

VILNIAUS GEDIMINO TECHNIKOS UNIVERSITETAS

V. Mokšin, A. H. Marcinkevičius, M. Jurevičius

ŠIUOLAIKINIAI SKAITMENINIO VALDYMO APDIRBIMO CENTRAI IR JŲ PROGRAMAVIMAS

II dalis. Programavimas

Vadovėlis

Vilnius „Technika“ 2012

V. Mokšin, A. H. Marcinkevičius, M. Jurevičius. Šiuolaikiniai skaitmeninio valdymo apdirbimo centrai ir jų programavimas. II dalis. Programavimas: vadovėlis. Vilnius: Technika, 2012. 596 p.

Vadovėlio II dalyje pateikti kompiuterinio skaitmeninio valdymo (*Computer Numerical Control, CNC*) tekinimo ir frezavimo staklių bei apdirbimo centrų programavimo ISO/EIA kodais principai ir metodika. Apžvelgti pagrindiniai G ir M kodai, naudojami „Fanuc“ ir „HAAS“ firmų ir panašiose valdymo sistemose, paaiškintas jų veikimas, pateikti valdymo programų pavyzdžiai. Apžvelgti vidiniai ciklai, naudojami šiose valdymo sistemose, pateikti programų su paprogramėmis ir makrokintamaisiais rengimo principai, apžvelgti papildomiems staklių ir centrų įtaisams bei įrenginiams (strypo tiekimo įrenginio, palečių keitiklio, tekinimo centrų įrankių pavaros it t. t.) programuoti naudojami kodai, pateikti programų pavyzdžiai. Trumpai apžvelgta vizualinio programavimo programinė įranga *Visual Quick Code*, naudojama „HAAS“ firmos tekinimo ir frezavimo staklių bei apdirbimo centrų programoms rengti.

Knyga skirta Vilniaus Gedimino technikos universiteto pirmosios pakopos *mechanikos ir gamybos inžinerijos* studijų kryptių, *mašinų projektavimo* ir *pramonės technologijos* specializacijų nuolatinių ir iššestinių neakivaizdinių studijų studentams, studijuojantiems *kompiuterinio technologijos projektavimo, kompiuterizuoto technologijų valdymo, CAD/CAM* ir *CAD/CAM/CAE* modulius. Ši knyga taip pat gali būti naudinga *pramonės technologijos* specializacijos studentams, atliekantiems kompleksinį *technologinių procesų projektavimo CAD/CAM* sistemose projektą, tos pačios specializacijos studentams, rengiantiems bakalauro baigiamąjį darbą, bei metalo apdirbimo įmonių CNC technologinių įrengimų programuotojams ir operatoriams.

Leidinį rekomendavo VGTU Mechanikos fakulteto studijų komitetas

Recenzavo: prof. habil. dr. Bronislovas Spruogis, Vilniaus Gedimino technikos universitetas
inž. Viktor Perfilov, UAB „Abplanalp Engineering“
lekt. Jevgenija Filonova, Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija

Leidynys parengtas ir išleistas už Europos struktūrinių fondų lėšas, jomis finansuojant VGTU Mechanikos fakulteto projektą „Pirmosios pakopos inžinerinių studijų programų atnaujinimas gerinant studijų kokybę, didinant tarptautiškumą ir diegiant inovatyvius mokymo (-si) metodus“ pagal Lietuvos 2007–2013 m. Žmogiškųjų išteklių veiksmų programos 2 prioriteto „Mokymasis visą gyvenimą“ VP1-2.2-ŠMM-07-K priemonę „Studijų kokybės gerinimas, tarptautiškumo didinimas“. Projekto kodas Nr. VP1-2.2-ŠMM-07-K-01-051, finansavimo ir administravimo sutartis Nr. VP1-2.2-ŠMM-07-051.

VGTU leidyklos „Technika“ 1263-S mokomosios
metodinės literatūros knyga
<http://leidykla.vgtu.lt>

ISBN 978-9955-28-752-0 (2 dalis)
eISBN 978-609-457-117-6
doi:10.3846/1263-S

© Vadim Mokšin, 2012
© Andrejus Henrikas Marcinkevičius, 2012
© Mindaugas Jurevičius, 2012
© VGTU leidykla TECHNIKA, 2012

TURINYS

Pratarmė	6
1 skyrius. Bendrosios žinios. Programavimo kalba ir metodai	7
Kontroliniai klausimai	11
2 skyrius. Staklių koordinačių erdvė ir įrankių padėties joje nustatymas	12
2.1. Dekarto koordinačių sistema, naudojama CNC staklėms	12
2.2. Staklių, detalės ir įrankio koordinačių sistemos	16
2.3. Absoliučiosios, prieaugio ir polinės koordinatės	24
Kontroliniai klausimai	30
3 skyrius. Valdymo programos sandara ir kodai	33
3.1. Programos sandara	33
3.2. G kodai	42
3.2.1. Bendrosios žinios	42
3.2.2. G kodai, naudojami tekinimo ir frezavimo staklėse bei apdirbimo centruose	43
3.2.3. Modaliniai ir nmodaliniai G kodai	50
3.2.4. Konfliktiniai ir nekonfliktiniai G kodai	52
3.2.5. G kodų išdėstymas programos eilutėse	52
3.2.6. G kodų grupavimas	53
3.3. M kodai	56
3.3.1. Bendrosios žinios	56
3.3.2. M kodai, naudojami tekinimo ir frezavimo staklėse bei apdirbimo centruose	57
3.3.3. M kodų išdėstymas programos eilutėse	62
3.3.4. Programos M kodai	64
3.3.5. Staklių M kodai	68
Kontroliniai klausimai	77
4 skyrius. Įrankių judesiai ir jų valdymas	79
4.1. Greitasis pozicionavimas	79
4.2. Tiesinė interpoliacija	86
4.3. Apskritiminė interpoliacija	100
Kontroliniai klausimai	124
5 skyrius. Pauzė, arba uždelsimas	129
Kontroliniai klausimai	135

6 skyrius. Darbo plokštumos ir jų pasirinkimas	136
Kontroliniai klausimai	143
7 skyrius. Metrinės ir colinės sistemų vienetai	145
Kontroliniai klausimai	148
8 skyrius. Grįžimas į staklių koordinačių sistemos pradžią – nulį	149
Kontroliniai klausimai	165
9 skyrius. Detalės koordinačių sistemos ir įrankių kompensacijos.	166
9.1. Detalės koordinačių sistema	166
9.1.1. Detalės koordinačių sistemos kompensacijos	166
9.1.2. Lokalinė detalės koordinačių sistema	181
9.2. Įrankių kompensacijos	184
9.2.1. Įrankių ilgių kompensacijos	184
9.2.2. Spindulių kompensacija	210
9.2.3. Įrankių dilimo kompensacijos	252
9.3. Kompensacijų nustatymas iš programos	255
9.4. Įrankio pozicijos registracija	259
Kontroliniai klausimai	270
10 skyrius. Papildomi CNC staklių įrenginiai ir valdymo sistemos funkcijos	273
10.1. Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai	273
10.1.1. Automatinis nuožulnų nuėmimas ir kampų suapvalinimas	273
10.1.2. Koordinačių plokštumos pasukimas	275
10.1.3. Mastelis	281
10.1.4. Veidrodinis koordinačių atspindėjimas	291
10.1.5. Palečių keitiklis	296
10.1.6. Programiškai valdomos darbo zonos durelės	302
10.1.7. Vidinis įrankių aušinimas	303
10.2. Tekinimo staklės	304
10.2.1. Hidraulinis arba pneumatinis griebtuvas	304
10.2.2. Hidraulinis arkliukas	307
10.2.3. Strypo tiekimo įrenginys	310
10.2.4. Detalių gaudyklė	318
10.2.5. Programiškai valdomos darbo zonos durelės	319
10.2.6. Pagalbinis griebtuvas	319
10.2.7. Įrankių pavara	322
10.2.8. Sriegio tekinimas	329
10.2.9. Automatinis nuožulnų nuėmimas ir kampų suapvalinimas	331
10.2.10. Didelio slėgio TAS siurblys	335
Kontroliniai klausimai	335
11 skyrius. Vidiniai ciklai	338
11.1. Bendrosios žinios	338
11.2. Vidiniai frezavimo staklių ir apdirbimo centrų ciklai	341

11.2.1. Bendras ciklų formatas ir jų parametrai	341
11.2.2. „Fanuc“ firmos valdymo sistemose naudojami vidiniai ciklai.	350
11.2.3. „HAAS“ firmos valdymo sistemose naudojami vidiniai ciklai	369
11.3. Vidiniai tekinimo staklių ciklai.	391
11.3.1. Bendrosios žinios	391
11.3.2. „Fanuc“ firmos valdymo sistemose naudojami vidiniai ciklai.	391
11.3.3. „HAAS“ firmos valdymo sistemose naudojami vidiniai ciklai	445
Kontroliniai klausimai	462
12 skyrius. Paprogramės	465
12.1. Bendrosios žinios apie paprogrames ir jų taikymą	465
12.2. Paprogramių naudojimo ypatumai „HAAS“ firmos valdymo sistemose.	479
12.3. Programų su paprogramėmis pavyzdžiai	482
Kontroliniai klausimai	496
13 skyrius. Programų ruošimas taikant vizualinio programavimo programinę įrangą.	498
Bendrosios žinios	498
Kontroliniai klausimai	506
14 skyrius. Makroprogramavimas	507
14.1. Bendrosios žinios	507
14.2. Lokalieji kintamieji	509
14.3. Globalieji kintamieji	512
14.4. Sisteminiai kintamieji	513
14.5. Veiksmai, atliekami su makrokintamaisiais	528
14.6. Programų su makrokintamaisiais pavyzdžiai	537
Kontroliniai klausimai	547
Priedai	548
1 priedas. Veržlės apdirbimo programa ir „HAAS“ firmos CNC vertikaliojo apdirbimo centro VF-2 derinimo lapas	548
2 priedas. Dangtelio apdirbimo programa ir „HAAS“ firmos CNC tekinimo centro SL-20 derinimo lapas	553
3 priedas. Hidraulinio modulio apdirbimo programa ir „HAAS“ firmos CNC horizontaliojo apdirbimo centro HS-1R derinimo lapas	561
Santrumpos	568
Trumpas sąvokų žodynas	569
Dalykinė rodyklė	584
Literatūra	593

PRATARMĖ

Šiuolaikinė metalo apdirbimo įmonė – smulki dirbtuvė ar stambi gamykla – sunkiai įsivaizduojama be kompiuterinio programinio valdymo (*Computer Numerical Control* – CNC) staklių, kurių technologinių galimybių išnaudojimas priklauso nuo programuotojo, o ne stakles prižiūrinčio darbininko, įgūdžių. Tokie CNC įrengimai leidžia vienu metu gauti įrankio poslinkius pagal tris ir daugiau koordinatinių ašių, jais galima gauti sudėtingas įrankių judesių trajektorijas, kurios sunkiai programuojamos prie staklių valdymo pulto, todėl programoms parengti naudojami kompiuteriai ir speciali programinė įranga (*Computer Aided Manufacturing* (CAM)). Dėl šios priežasties, taip pat įmonėms nuolat didinant gamybos automatizavimo lygmenį ir mažinant darbininkų skaičių, CNC staklių valdymo programos vis dažniau rengiamos inžinieriaus technologo arba netgi konstruktoriaus darbo vietoje pagal kompiuteriu sudarytą detalės erdvinį modelį, dažniausiai be tarpinės konstruktorinės ir technologinės dokumentacijos.

Siekdamos įgyvendinti tokią koncepciją įmonės kelia reikalavimus inžinieriams technologams ir konstruktoriams, tai yra kiekvienas šiuolaikinis technologas turi turėti darbo prie CNC staklių įgūdžių ir gebėti rengti CNC staklių valdymo programas. Todėl 2007 m. keičiantis Vilniaus Gedimino technikos universiteto (VGTU) studijų programoms, naujose Mechanikos fakulteto studijų programose atsirado vietos ir CNC įrengimų programavimui. Busimieji inžinieriai technologai ir mašinų projektuotojai pradėjo studijuoti *kompiuterinio technologijų projektavimo* ir *kompiuterinio technologijų valdymo* modulius. Dėstyti ir studijuoti šiuos dalykus būtų neįmanoma be praktinės bazės, kurią dėl aukštos CNC įrengimų kainos vargu ar pavyktų įrengti fakulteto lėšomis. Tuomet į pagalbą atėjo fakulteto gamybiniai partneriai, kurie padėjo šią bazę sukurti. VGTU Mechanikos fakulteto Mašinų gamybos katedrai bendradarbiaujant su UAB „Abplanalp Engineering“, Mechanikos fakulteto Mašinų ir technologijų laboratorijoje buvo įkurta CNC staklių klasė, kurioje prie JAV firmos „HAAS Automation Inc.“ CNC tekinimo ir frezavimo staklių mokomi įvairių Lietuvos metalo apdirbimo įmonių CNC staklių operatoriai, atlieka pratimus ir laboratorinius darbus Mašinų gamybos katedros studentai.

Dėstant tokioje klasėje sparčiai gilėjo ne tik studentų ir operatorių, bet ir dėstytojų praktinės žinios, didėjo neįkainojama dėstyto patirtis, visa tai įsiliejo į šią knygą. Todėl naudodamiesi proga norėtumėm nuoširdžiai padėkoti firmos „HAAS Automation Inc.“ įgalioto atstovo UAB „Abplanalp Engineering“ generaliniam direktoriui Valentinui Aleksejevui už suteiktą galimybę naudotis puikiais firmos „HAAS Automation Inc.“ tekinimo staklėmis ir apdirbimo centrais. Taip pat esame labai dėkingi UAB „Abplanalp Engineering“ technikos direktoriui Viktorui Perfilovui ir serviso inžinieriui Ričardui Skarbutovičiui už konsultacijas ir vertingas pastabas rašant šią knygą.

BENDROSIOS ŽINIOS. PROGRAMAVIMO KALBA IR METODAI

Sudarius mechaninio detalės apdirbimo kelią, parinkus įrankius, įtaisus ir pjovimo režimus pereinama prie technologinio (-ių) įrengimo (-ų) valdymo programų sudarymo. Programuojantis operatorius arba technologas suplanuoja staklių veiksmų eiliškumą ir užrašo jį kompiuterinio skaitmeninio valdymo (*Computer Numerical Control*, toliau – CNC) staklių valdymo sistemai suprantama forma, kuri vadinama valdymo programa. Lygiai taip pat, kaip ir apdirbant įprastinėmis rankinio valdymo staklėmis, norint apdirbti ruošinį, CNC įrengimas turi atlikti ne tik pagrindinius judesius (pjovimo ir pastūmos), bet ir pagalbinus judesius (pavyzdžiui, įrankio priartinimo) ir veiksmus (pavyzdžiui, įjungti TAS siurblių). Šie judesiai ir veiksmai yra labai panašūs ir įprastinėse, ir programinio valdymo staklėse, tik įprastinėse rankinio valdymo staklėse daugiau judesių ir veiksmų atlieka pats operatorius, o programinio valdymo – pačios staklės tai atlieka pagal parengtą programą. Panagrinėkime pavyzdį. Dirbdamas rankinio valdymo tekinimo staklėmis ir norėdamas aptekinti veleną, tekintojas, įtvirtinęs ruošinį griebtuve (ir parėmęs arkliuko centru, jei reikia), o įrankius – peilių įtvare, įjungia stakles ir atlieka tokias pakopas:

1. Rankenėle nustato reikiamus ruošinio sukčius.
2. Rankenėle nustato pasirinktą įrankio pastumą.
3. Svirtimi įjungia suklio (pagrindinį) elektros variklį, paleidžia ruošinį suktis.
4. Sukdamas skersinės ir išilginės pastūmos smagratukus arba svirtimi įjungęs greitąją suporto eigą, nukreipia peilio viršūnę kuo arčiau ruošinio dešiniojo galo (t. y. esančio arčiau arkliuko).
5. Lėtai sukdamasis skersinės ir išilginės pastūmos smagratukus peilio viršūnę prisiliečia prie besisukančio ruošinio paviršiaus, nustatydamas atraminį tašką pjovimo gyliui nustatyti.
6. Sukdamas išilginės suporto pastūmos smagratuką nukreipia peilio viršūnę už ruošinio dešiniojo galo.
7. Sukdamas skersinės suporto pastūmos smagratuką pagal skersinės pastūmos limbą nustato reikiamą pjovimo gylį.
8. Įjungia TAS siurblių jungiklius.
9. Svirtimi įjungia pasirinktą suporto išilginę pastumą ir stebi, kaip įrankis juda išilgai detalės ašies.

10. Pasiiekus peilio viršūnei reikiamą tašką, svirtimi išjungia pastūmą.
11. Sukdamas skersinės pastūmos smagratuką arba svirtimi įjungęs greitąją suporto eigą, atitraukia peilio viršūnę nuo ruošinio.
12. Išjungia TAS siurblių.
13. Svirtimi išjungia pagrindinį (suklio) variklį.

Panašios pakopos atliekamos ir dirbant kitokiomis staklėmis. Tokios pakopos būdingos ir programinėms staklėms, tik jos vykdomos be operatoriaus. Be to, atraminis taškas, kuris nustatomas 5 punkte, dirbant programinėmis staklėmis (jis vadinamas detalės arba programos nuliu), yra nustatomas derinant stakles, o ne vykdant programą. Derinama dažniausiai iš karto įtvirtinus ruošinį įtaise, t. y. prieš paleidžiant programą, įrankiai jau turi būti „priderinti“ prie ruošinio (nustatytos jų kompensacijos ir detalės koordinacių sistemos pradžia). Taigi norint taip pat aptekinti CNC tekini- mo staklėmis, reikia paruošti ir paleisti staklių programinio valdymo įrenginyje tokią (arba panašią) programą:

```

011111
(programa velenui tekinti);
G28 (staklių valdomos ašys grįžta į staklių nulį);
S2000 M03 (nustatomi suklio sūkliai (mūsų atveju tai 2000 sūk./min), į priekį paleidžiamas
suktis suklys);
T1 (pasirenkamas reikiamas įrankis revolverinėje galvutėje (mūsų atveju tai išorinio tekinimo
peilis, kuris yra lizde Nr. 1) ir jo kompensacijos);
G00 X54.0 Z2.0 (įrankio viršūnė pagreitintai priartinama prie taško arti ruošinio dešiniojo galo
išlaikant saugų atstumą (2 mm) nuo ruošinio paviršiaus);
G01 X50.0 F0.2 M08 (įrankio viršūnė nustatytos pastūmos F greičiu (0,2 mm/sūk.)
pozicionuojama taške, kurio X koordinatė priklauso nuo reikiamo skersmens (sakykime, reikia
gauti veleną, kurio galutinis skersmuo yra 50 mm), įjungiamas TAS siurblys);
G01 Z-120.0 F0.12 (ruošinys tekinamas pastūma F (0,12 mm/sūk.) iki taško, kurio koordinatė
Z priklauso nuo tekinamo paviršiaus ilgio (mūsų atveju – 120 mm nuo galo));
G00 X80.0 (peilis pagreitintai atitraukiamas nuo apdirbto paviršiaus prie taško, kurio X
koordinatė yra 80 mm);
G28 M09 (valdomos ašys gražinamos į staklių nulį, išjungiamas TAS siurblys);
M30 (programos pabaiga, sugrįžtama į pradžią);

```

Taigi operatorius valdymo įrenginio vaizduoklyje surenka tokią programą, sude- rina įrankį, uždaro staklių darbo zonos dureles, paleidžia pirmiau pateiktą programą (mygtuku *Cycle Start*) ir, staklėms veikiant, gali „eiti parūkyti“, kol darbas bus baigtas pagal programą (t. y. pasieks paskutinę eilutę M30) ir pasigirs garso ir (arba) šviesos signalas, po kurio galima atidaryti staklių dureles, išimti detalę ir pakeisti ją nauju ruošiniu, jeigu reikia. Programa išliks valdymo įrenginio atmintyje, todėl ją galėsime naudoti ir ateityje, be to, atitinkamai tvirtindami ruošinį, įrankio galėsime toliau nede- rinti kiekvieną kartą keisdami detales. Automatizuotoje gamyboje, kur naudojami pro-

graminiu būdu valdomi ruošinių pakrovimo robotai, palečių keitikliai, transportavimo įrenginiai, automatizuoti įrankių ir detalių sandėliai, vieną kartą suderinus įrankius, stakles, transportavimo įrenginius, visas baras gali dirbti be operatorių.

Programos CNC staklėms rašomos dažniausiai EIA-274D, EIA/ISO arba tiesiog G&M kodais. Tai standartinė programavimo kalba, kurią sukūrė JAV organizacija „Electronic Industries Alliance“ (EIA) ir „International Standardization Organization“ (ISO). Be to, kuriant kalbą dalyvavo ir kompanija „Fanuc“ (Japonija). Todėl ši kalba dažnai siejama su „Fanuc“ firmos, kuri yra viena didžiausių CNC valdymo ir kontrolės sistemų gamintojų, vardu. Dauguma CNC sistemų gamintojų šią kalbą vartoja tiesiogiai. Kai kurie gamintojai siūlo savo „vedlio“ tipo (*Wizard Type*) vaizdines programavimo sąsajas (pavyzdžiui, „Mazak“ *Mazatrol*, „Hurco“ *Ultimax* ir pan.), kuriomis programuojant galima visiškai apsieiti be minėtų G ir M kodų, tačiau kartu dažniausiai paliekama programavimo G&M kodais galimybė. Kai kurie gamintojai (pavyzdžiui, „HAAS“) naudoja G&M kodus kaip pagrindinę kalbą, tačiau turi vaizdinių sąsajų standartinėms operacijoms programuoti. Toliau bus nagrinėjama tik G&M kodų kalba. Pažymėtina, kad kaip ir kiekviena programavimo kalba, ši buvo tobulinama ir senesnės staklių valdymo sistemos, nors ir pagamintos tų pačių firmų, gali nesuprasti kai kurių naujesnių kodų. Be to, standartas reglamentuoja tik pagrindinius kodus, todėl kai kurie skirtingų valdymo sistemų gamintojų kodai gali ir nesutapti, skirtingų staklių modelių (nors ir tos pačios firmos) naudojamų kodų rinkinys taip pat gali skirtis. Todėl prieš pradėdant dirbti programinėmis staklėmis visada reikia susipažinti su staklių *operatoriaus vadovu*.

Programuojant G&M kodais programos sudaromos G ir M kodais, pirmieji iš kurių valdo staklių vykdymo junginių poslinkius, o antrieji – įvairias staklių funkcijas (pavyzdžiui, paleidžia sukli, įjungia TAS siurbli ir pan.). Naudojami ir kiti kodai: T (įrankių), S (suklio sūkių), F (pastūmos) ir pan. Šie kodai bus apžvelgti kituose skyriuose.

Rengti valdymo programas galima keliais būdais:

1. Rinkti programinio valdymo įrenginio vaizduoklyje naudojantis valdymo pulto klaviatūra.
2. Rengti programinio valdymo įrenginio vaizduoklyje naudojant gamintojų siūlomus vaizdinio rengimo („vedlio“ tipo) redaktorius.
3. Rinkti programas asmeniniu kompiuteriu naudojant teksto redaktorius, pavyzdžiui, *Notepad* (paleidžiamas operacinės sistemos *Microsoft Windows XP* terpėje *Start/All programs/Accessories/Notepad*).
4. Generuoti programas asmeniniu kompiuteriu naudojant CAM (*Computer Aided Manufacturing*) sistemas, pavyzdžiui, *MasterCam*, *EdgeCam* ir kitokias.

Pirmasis būdas tinka nesudėtingoms programoms rengti, pavyzdžiui, dviejų ašių tekinimo staklėms, trijų ašių frezavimo staklėms, kai jose vienu metu valdomos dvi ašys, o trečioji valdoma periodiškai (vadinamasis 2,5 ašių apdirbimas). Yra du šio būdo trūkumai:

1. Palyginti su darbu asmeniniu kompiuteriu, gana nepatogu rengti ir redaguoti programas (daugumoje valdymo sistemų nėra grafinės vartotojo sąsajos, tik

tekstinė, be to, nėra tokių patogių kompiuterinių įvesties įtaisų kaip pelė, todėl naršyti tarp programos eilučių, žymėti, keisti ir naikinti jų elementus, pasiekti tam tikrus sistemos redagavimo režimus yra palyginti nepaprasta). Nepaisant to, CNC sistemų gamintojai deda visas pastangas, kad padarytų programų rengimo ir redagavimo procesą kuo patogesnę operatoriui, todėl galima kalbėti tik apie daugiau arba mažiau patogesnes sistemas.

2. Reikia atlikti skaičiavimus nustatant įrankių judesių trajektorijų taškų koordinates, ypač kai judesiai yra įstriži arba kreiviniai, todėl galima padaryti klaidų, kurios paskui brangiai kainuoja (įrengimų remontas, naujų įrankių pirkimas). Šiai problemai išspręsti gamintojai įdeda specialius kalkuliatorius, kuriuos galima iškviešti į valdymo įrenginio vaizduoklį.

Antrasis būdas yra pranašesnis, kai reikia rengti programas tipinėms detalėms (pavyzdžiui, laiptuotiems velenams, turintiems n laiptelių, kurių skersmuo keičiasi nuo d_1 iki d_n , o ilgis – nuo l_1 iki l_n , detalėms, kurios turi n skylių, išdėstytų tam tikru spinduliu r nuo centro pagal apskritimą). Tokiu atveju dialogo metu iš pradžių pasirinkus detalės tipą ir nurodžius minėtus parametrus (kurie yra patogūs ir nuskaitomi tiesiog iš detalės brėžinio) galima gauti valdymo programą. Šio metodo galimybės yra dažniausiai ribotos ir labai priklauso nuo gamintojo (tiksliau, nuo jo siūlomo „vedlio“). Kai kurioms detalėms programos galima parengti tokiu būdu, kai kurioms – ne. Kai kurie gamintojai (pavyzdžiui, „Mazak“, „Mori Seiki“) pažengę labai toli ir jų siūlomais vaizdinio programų rengimo redaktorais galima kurti net ir sudėtingas programas.

Reikia paminėti, kad abu – pirmą ir antrą – metodus dažniausiai galima taikyti ir staklių darbo metu, t. y. kai jomis apdirbama detalė pagal vieną programą, galima rengti valdymo programą kitai detalei apdirbti.

Trečiasis būdas labai panašus į pirmąjį, tik šiuo atveju programos rengiamos G ir M kodais kompiuteriu, mėgaujantis visais grafinės vartotojo sąsajos (pavyzdžiui, tokios kaip *Microsoft Windows*) privalumais. Galima naudoti standartinę *Microsoft Windows* teksto redaktorių *Notepad* arba specialias programas (pavyzdžiui, firmos „Pathtrace Engineering Systems“ *Editor*). Parengta programa užrašoma į USB atmintuką (šiuo metu tai pagrindinis informacijos nešiklis) arba diskelį kaip `***.txt` failas ir pernešama į staklių valdymo įrenginį. Be to, programa gali būti paleidžiama ir kompiuteryje, prijungtame prie programinio valdymo sistemos (DNC, žr. I dalį 4.2 posk.). Kai kurie gamintojai leidžia instaliuoti asmeniniame kompiuteryje savo vaizdinio programų rengimo redaktorių (jeigu staklių valdymo įrenginio ir kompiuterio operacinės sistemos yra suderinamos) ir naudoti jas staklėse bei kompiuteryje.

Efektyviausias visais atvejais yra paskutinis metodas. Dirbant juo CAD (pavyzdžiui, *SolidWorks*, *Pro/Engineer*) aplinkoje sudarytas 3D detalės modelis atidaromas CAM terpėje (galima gauti modelius net iš 2D brėžinių, sudarytų 2D sistema *AutoCad*), orientuojamas pagal staklių ašis, uždedamas ruošinys, atskiriems detalės elementams (pavyzdžiui, grioveliams, skylėms) paskiriamos technologinės pakopos, įrankiai, pjovimo režimai, paskui sugeneruojama valdymo programa G ir M kodais atitinkamam

programiniam įrengimui. Modelius kurti galima taip pat ir CAM terpėje, tačiau CAD sistemos dažniausiai turi galingesnius braižymo įrankius. Be to, modelis dažnai jau būna sudarytas konstruktoriaus ir technologui lieka tik pasinaudoti juo. Taikant CAM sistemas galima gauti įvairias programas – nuo pačių paprasčiausių (kai naudojamos tik dvi ašys) iki sudėtingų programų daugiaašiams įrengimams, kai reikia vienu metu valdyti daug ašių (tris arba daugiau) sudėtingos konfigūracijos detalėms apdirbti. Šių programų praktiškai neįmanoma parengti tiesiogiai valdymo skydelyje dėl sudėtingų trajektorijų ir sudėtingo šių trajektorijų taškų koordinatinių skaičiavimo. CAM sistemose sudarytos programos taip pat perkeliamos į CNC įrenginių informacijos nešikliu, operatoriui lieka tik įtvirtinti ruošinį įtaise ir priderinti programoje naudojamus įrankius prie programuotojo pasirinkto taško – detalės koordinatinių sistemos pradžios. CAM sistemose yra tobulos 3D simuliacijos programos, kurios atvaizduoja įrankio ir detalės judesius, ruošinį ir netgi staklių elementus, taip padėdamos išvengti galimų susidūrimų. Tarp CAM sistemų galima paminėti sistemas *EdgeCam*, *MasterCam*, *DelCam*, *Keller* ir kt.

Programų rengimas CAM sistemomis šiame vadovėlyje nenagrinėjamas. Bus nagrinėjamas tik programavimas 1 ir 3 metodais, apžvelgiami G ir M kodai, naudojami „HAAS“ (ir iš dalies „Fanuc“ sistemose) tekinimo ir frezavimo staklėse, taip pat trumpai apžvelgsime „HAAS“ firmos staklių vaizdinio programų rengimo redaktorių VQC (*Visual Quick Code*), kuriuo ribotai galima realizuoti 2-ąjį programavimo metodą.

Taigi dabar žinome, kad valdymo programa reikalinga valdyti staklių junginių su įtvirtintais juose įrankiais ir ruošiniais poslinkius (be abejo, tai yra ne viskas, programa valdomi taip pat ir kiti staklių veiksmi ir tai, kokia yra judėjimo trajektorija ir daug kitų režimų). Šie poslinkiai vyksta tam tikroje koordinatinių sistemoje, nuo vieno taško su žinomomis koordinatėmis iki kito taško, kurio koordinatės taip pat nurodomos programoje. Išmokti valdyti staklių ir detalės koordinatinių erdvę, nustatyti įrankio trajektorijos taškų koordinates joje ir prognozuoti įrankio judesio pasekmes yra programuotojo žinių pagrindas. Apie tai bus kalbama kitame skyriuje.

Kontroliniai klausimai

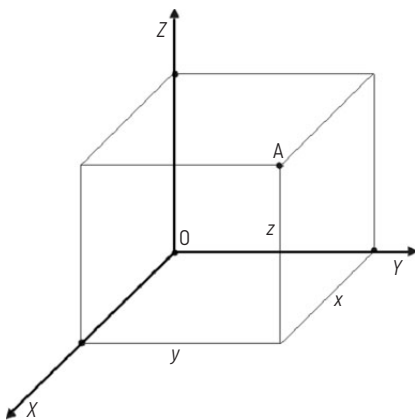
1. Kokia pagrindinė kalba vartojama CNC programinio valdymo staklių programoms rengti?
2. Kaip galima parengti valdymo programą CNC įrengimui?
3. Kokie yra kiekvieno programų rengimo metodo privalumai ir trūkumai?

STAKLIŲ KOORDINAČIŲ ERDVĖ IR ĮRANKIŲ PADĖTIES JOJE NUSTATYMAS

2.1. Dekarto koordinatinių sistema, naudojama CNC staklėms

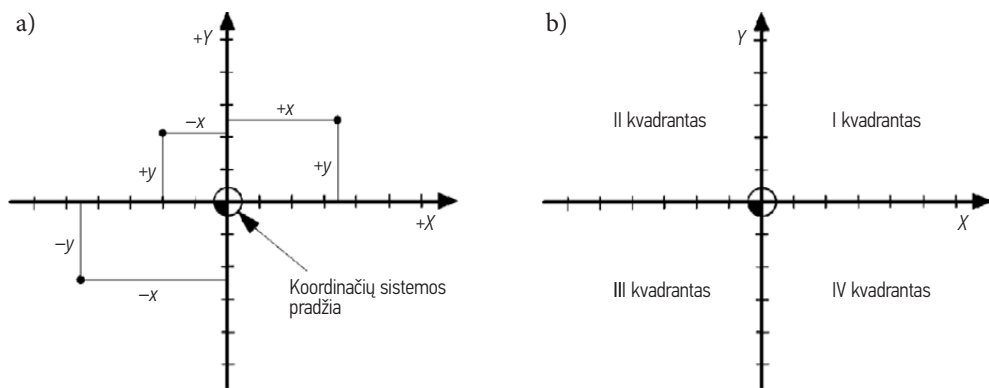
Kaip jau buvo minėta, CNC staklių valdymo programoje programuojamos įrankių (tiksliau, jų atraminių taškų, pavyzdžiui, viršūnių) judėjimo trajektorijos nuo vieno taško iki kito apdirbant ruošinį ir atliekant pagalbinus judesius. Norint apibrėžti šių taškų padėtį staklių darbo zonos erdvėje, reikia turėti koordinatinių sistemą. Ši sistema vadinama stačiakampė Dekarto koordinatinių sistema, pavadinta prancūzų filosofo ir matematiko Rene Dekarto (1596–1650) vardu. Šią koordinatinių sistemą sudaro trys tarpusavyje statmenos ašys X , Y , Z , susikertančios viename taške O , vadinamame koordinatinių pradžia (2.1 pav.). Joje kiekvieno taško (pavyzdžiui, A) padėtis gali būti apibrėžta atstumais nuo taško iki koordinatinių pradžios O , išmatuotais lygiagrečiai su kiekviena ašimi, tai yra x , y ir z . Tai ir yra taško A koordinatės erdvėje XYZ .

Paprasčiausia koordinatinių sistema, naudojama programuojant įrankių judesius, yra dvi tarpusavyje statmenos ašys, kurios sudaro plokštumą, panašią į popieriaus lapą. Šiose sistemose ašių poromis XY , XZ ir YZ sudarytos koordinatinių plokštumos. Vieną iš šių plokštumų galima pritaikyti vertikaliųjų frezavimo staklių stalui (žiūrint į jį iš viršaus), kuris gali judėti dviem tarpusavyje statmenomis kryptimis, tai



2.1 pav. Erdvinė Dekarto koordinatinių sistema

yra X ir Y ašies kryptimis (2.2 pav., a). Ašių susikirtimo taškas yra koordinatinių sistemos pradžia. Šio taško funkcija yra dvejopa. Pirmiausia jis atskiria teigiamą ašies dalį nuo neigiamos, be to, nuo jo vyksta koordinatinių reikšmių atskaita. Nustačius atstumus nuo koordinatinių sistemos pradžios iki bet kurio taško plokštumoje ašių X ir Y kryptimis ir šių atstumų ženklus (turint vien tik koordinates be ženklų, vienareikšmiškai apibrėžti taško padėtis nepavyksta), galima apibrėžti taško padėtį plokštumoje. Tai parodyta 2.2 pav., a.



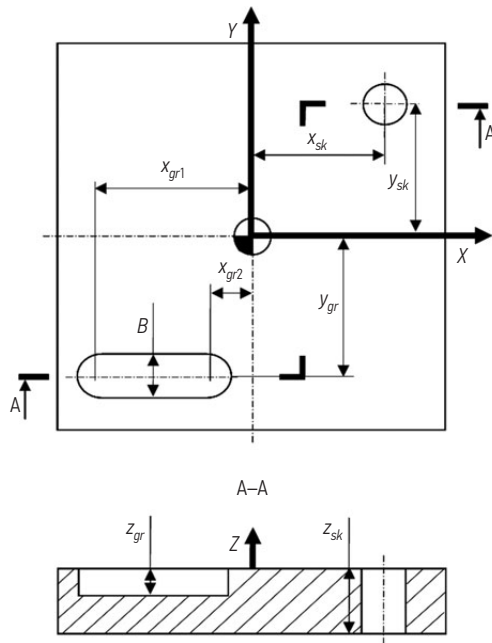
2.2 pav. Plokščioji Dekarto koordinatinių sistema (a) ir jos kvadrantai (b)

Žiūrint į susikertančias ašis galima išskirti keturias sritis, kuriose koordinatinių reikšmių ženklai yra pastovūs (2.2 pav., b). Šios sritys vadinamos *kvadrantais*. Kvadrantai žymimi prieš laikrodžio rodyklę romėniškais skaitmenimis, pradedant nuo X ašies teigiamosios krypties taip, kaip parodyta 2.2 pav., b. Taigi kvadrantas nusako jame esančio taško koordinatės ženklą. Plokščiosios koordinatinių sistemos, parodytos 2.2 pav., taškų, išdėstytų plokštumoje XY , koordinatinių ženklai pateikti 2.1 lentelėje.

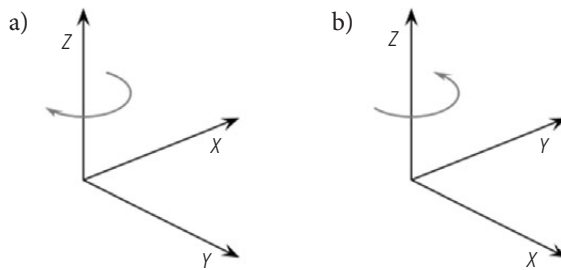
2.1 lentelė. Taško koordinatinių ženklo priklausomybė nuo kvadranto

Taško padėtis	Koordinatės ženklas	
	X ašis	Y ašis
I kvadrantas	+	+
II kvadrantas	-	+
III kvadrantas	-	-
IV kvadrantas	+	-

Turint dviejų ašių (plokščiąją) koordinatinių sistemą galima apibrėžti, pavyzdžiui, pritvirtintos prie frezavimo staklių stalo detalės skylių ašių padėtis, griovelio plotį, pradžią ir pabaigą (2.3 pav.), tačiau to apdirbimui nepakanka, nes visi šie elementai turi tam tikrą gylį. Norint apibrėžti gylį (pavyzdžiui, griovelio z_{gr} ir skylės z_{sk} , 2.3 pav., pjūvis A–A) reikia įvesti papildomą vertikaliąją ašį (Z). Tokioje stačiakampėje erdvinėje Dekarto koordinatinių sistemoje ir dirbama paprasčiausiomis vertikaliosiomis ir horizontaliosiomis frezavimo staklėmis. Jų ašys parodytos 2.5 pav., a ir b. Horizontaliosiose staklėse dažniausiai dar yra pasukamas stalas, t. y. sukimo ašis B , kaip ir parodyta 2.5 pav., b. Tekinamas ruošinys sukasi apie savo ašį, todėl pakanka apibrėžti peilio viršūnės poslinkį pagal dvi koordinatinių ašis X ir Z , kaip parodyta 2.5 pav., c, t. y. čia programuojami peilio poslinkiai plokščiojoje koordinatinių sistemoje.



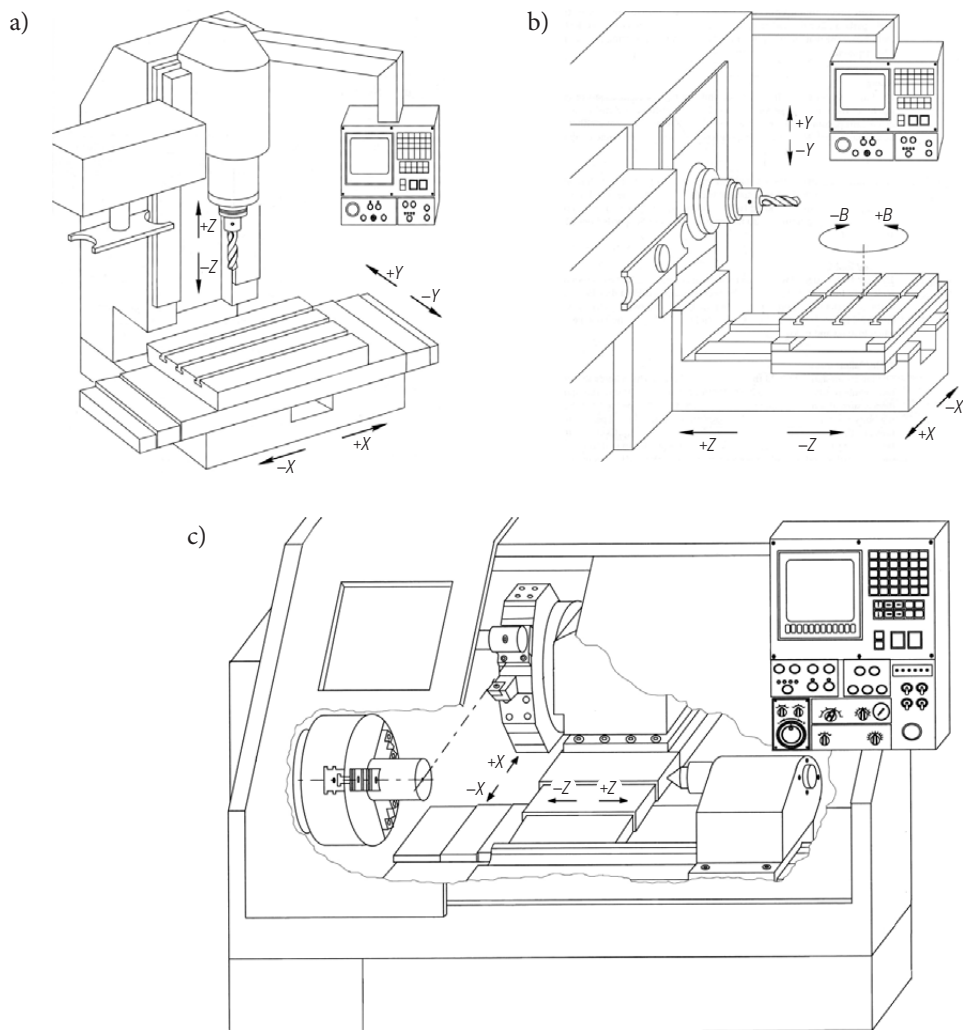
2.3 pav. Apdirbamų detalės paviršių koordinatės



2.4 pav. Dekarto koordinatinių sistema: a – kairinė; b – dešininė

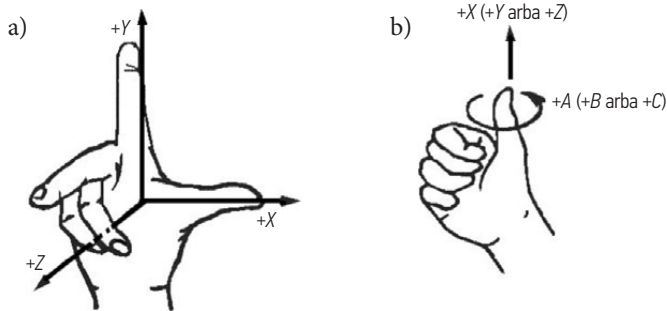
Frezavimo ir gręžimo darbams atlikti kai kurių gamintojų tekinimo centruose galima valdyti ir Y ašį. Tokie įrengimai parodyti I knygos dalyje (4.5 posk.). Taip pat derėtų priminti, kad kai kuriose programinėse frezavimo ir tekinimo staklėse gali būti ir daugiau valdomų ašių, t. y. sukimosi ašių, jų konstrukcijos parodytos I knygos dalyje.

Nepaisant to, kokios ir kokio gamintojo yra staklės, kiek jos turi valdomų ašių, ašių kryptys gali būti nesunkiai nustatomos. Taip yra todėl, kad programinio valdymo staklėse nustatyta *bendra* koordinatinių sistema. Ši sistema vadinama *dešinine Dekarto koordinatinių sistema* (2.4 pav., b).



2.5 pav. Vertikaliojo (a), horizontaliojo (b) apdirbimo centrų ir tekinimo (c) staklių valdomos ašys (Quesada 2005)

Dešinės koordinatės sistemos teigiamos koordinatės ašies kryptys nustatomos pagal dešinės rankos taisyklę (kairinės – panašiai, tik pagal kairiosios rankos taisyklę). Pagal ją dešinės rankos nykštys rodo teigiamą abscisų (X) ašies kryptį, smilius – teigiamą ordinačių (Y) ašies kryptį, o vidurinis pirštas – aplinkinių (Z) ašies kryptį. Tai parodyta 2.6 pav., a. Teigiamoji sukimosi ašies kryptis nustatoma pagal kitą dešinės rankos taisyklę. Pagal ją dešinės rankos nykštį nustačius teigiamą tam tikros ašies kryptimi, kaip nustatyta anksčiau, kiti sulenkinti pirštai parodys teigiamą sukimosi kryptį (2.6 pav., b). Šią taisyklę galima patikrinti 2.5 pav. parodytų staklių koordinatės sistemose.



2.6 pav. Dešinėsios rankos taisyklė: a – linijinių ašių kryptims nustatyti; b – sukimosi ašių kryptims nustatyti

Taigi dabar žinome pagrindinę taisyklę staklių ašių kryptims nustatyti, tačiau kol kas lieka neaišku, kur yra koordinacių sistemos pradžia. Čia susiduriame su keliomis pradžiomis, kurias ir panagrinėsime kitame poskyryje.

2.2. Staklių, detalės ir įrankio koordinacių sistemos

Koordinacių sistemos, pavaizduotos 2.5 pav., vadinamos staklių koordinacių sistemomis. Kiekvienas CNC įrengimas dirba savo koordinacių sistemoje ir turi savo koordinacių pradžių (nulį), nuo kurios atskaitomi jo valdomų dalių poslinkiai. Operatoriui dirbti staklių koordinacių sistemoje būtų nepatogu. Jam geriau sukurti koordinacių sistemą (tokia parodyta 2.3 pav.), kurios pradžia sutaptų su tam tikru apdirbamo ruošinio tašku, o paskui susieti šias koordinacių sistemas derinant stakles apdirbimui. Be to, apdirbant CNC staklėmis kartais svarbi ir vadinamoji įrankio koordinacių sistema. Staklių ir detalės (programos) koordinacių sistemos ir jų susiejimas yra labai svarbūs. Su šiomis sąvokomis susiduriama rengiant valdymo programas ir derinant stakles darbui pagal sudarytas valdymo programas, t. y. jas išmanyti svarbu ir programuotojui, kuris sudaro valdymo programas, ir operatoriui, kuris tik derina stakles apdirbimui. Nuo koordinacių sistemų susiejimo tiesiogiai priklauso tinkamas programinio valdymo staklių darbas. Taigi apžvelgsime jas atskirai.

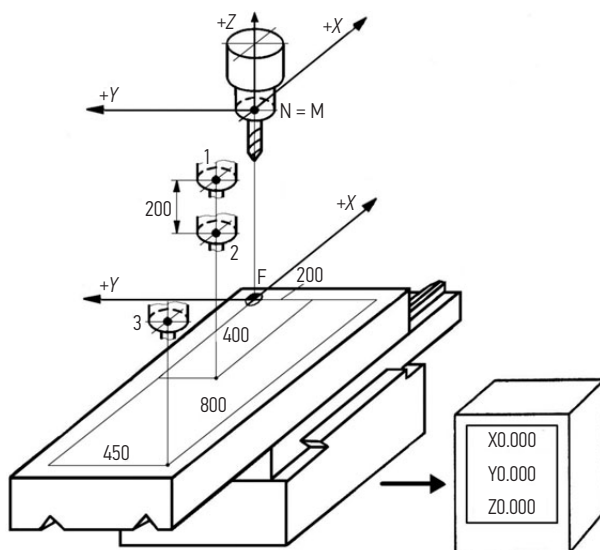
Staklių koordinacių sistema

Nepaisant to, kad staklėms nustatyta bendra koordinacių sistema – dešininė Dekarto koordinacių sistema, įvairios paskirties programinių staklių ir kitų įrengimų koordinacių sistemos išdėstytos skirtingai, kaip galima matyti iš 2.5 pav. Taip pat skirtingai išdėstomos ir šių sistemų koordinacių pradžios (pavyzdžiui, vertikaliosiose frezavimo staklėse tai taškas M, 2.7 pav.). Staklių koordinacių sistema yra pagrindinė sistema, kurioje nustatomi ribiniai, pradiniai ir visi kiti staklių valdomų dalių poslinkiai. Jų padėtis minėtoje sistemoje apibūdinama bazinių (atraminių) taškų padėtimi. Šie baziniai taškai nustatyti gamintojų ir priklauso nuo programinių staklių tipo ir

valdomų dalių konstrukcijos ypatumų. Frezavimo staklių suklio galvutėje toks taškas yra suklio ašies ir jo galo susikirtimo taškas, tekinimo staklėse – revolverinės galvutės ašies ir bazavimo plokštumos susikirtimo taškas, kryžminiame stale – jo įstrižainių susikirtimo taškas. Baziniu tašku taip pat gali būti staklių stalo skylės centras ir pan. Bazinis taškas nežymimas, nebūtinai jis turi būti paviršiuje, jis gali būti ir virtualus. Paprastai operatoriui nereikia gerai išmanyti jo išdėstymo, tik apytikriai.

Kaip numatyta standartuose, teigiamoji staklių Z ašies kryptis yra grąžto ištraukimo iš ruošinio kryptis, Z ašis visada sutampa su besisukančio staklių elemento – suklio – ašimi. Likusių ašių kryptys nustatomos pagal dešinėsios rankos taisyklę (2.6 pav., a), tam vidurinis dešinėsios rankos pirštas ištiesiamas teigiama Z ašies kryptimi. X ašis statmena Z ašiai ir lygiagreti su ruošinio pastatymo plokštuma. Jeigu tokiam apibrėžimui tinka dvi ašys (kaip frezavimo staklėse, pavaizduotose 2.5 pav., a ir b), X ašis yra ta, išilgai kurios yra galimas didžiausias staklių valdomos dalies, pavyzdžiui, stalo, poslinkis. Sutapdinus nykštį su teigiamąja X ašies kryptimi, Y ašies padėtis nustatoma vienareikšmiškai pagal dešinėsios rankos taisyklę (2.6 pav., a, 2.5 pav.).

Panagrinėsime vertikaliojo apdirbimo centro (2.5 pav., a) koordinatų sistemą. Staklių koordinatų sistemos pradžia paprastai sutapdinama su junginio, ant kurio tvirtinamas įrankis, baziniu tašku, kai šis junginys yra tokioje padėtyje, iš kurios jo darbo judesiai vyktų neigiamąja Z ašies kryptimi, t. y. bazinis taškas sutaps su staklių koordinatų sistemos pradžia tik tada, kai pasieks tašką M (2.7 pav.), kuris vadinamas *staklių nuli* arba *pradine padėtimi* (*Home Position*). Be to, bazinis įrankio junginio taškas turi būti tam tikru būdu orientuotas ruošinio pastatymo junginio (stalo) bazinio taško atžvilgiu.



2.7 pav. Vertikaliųjų frezavimo staklių koordinatų sistema

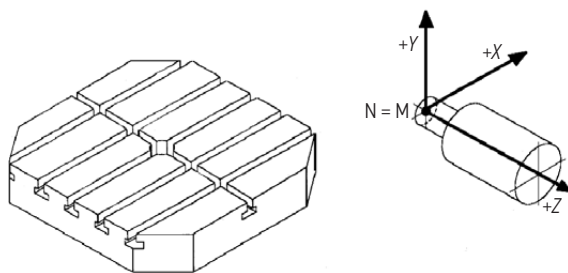
Ši orientacija priklauso nuo frezavimo staklių gamintojo ir netgi modelio. Galima tik teigti, kad šios padėties staklių stalas ir įrankių junginys (o tiksliau, šių junginių baziniai taškai) yra labiausiai nutolę vienas nuo kito pagal Z ašį. Kai bazinis įrankio junginio taškas yra staklių pradinėje padėtyje, operatorius valdymo pulto vaizduoklyje režimu, vaizduojančiu koordinates staklių koordinačių sistemoje, ties kiekviena ašimi matys „0.000“. Būtent į šią poziciją turi būti grąžinamos valdomos staklių dalys, kai staklės įjungiamos prieš pradėdant darbą.

Panagrinėsime atskirus atvejus. Pavyzdžiui, vertikaliuosiose frezavimo staklėse stalo bazinis taškas F yra dešiniajame viršutiniame stalo krašte, kai žiūrima iš operatoriaus pozicijos į stalą (2.7 pav.). Bazinis suklio galvutės taškas yra suklio ašies ir galo plokštumos susikirtimo taškas N . Staklių konstrukcijoje numatyta, kad taško F padėtis N taško atžvilgiu gali keistis nuo 0 iki 800 mm pagal ašį X ir nuo 0 iki 450 mm pagal ašį Y . Tai reiškia, kad staklių darbo zona plokštumoje XY apribota matmenimis 800×450 mm. Visos vertikaliųjų frezavimo staklių ašys X , Y ir Z bus nulio padėtyje tada, kai taškas N sutaps su tašku M , ir atsidurs virš taško F aukščiausioje padėtyje pagal Z ašį. Ašis Z bus staklių nulyje tada, kai taško N Z koordinatė sutaps su taško M Z koordinate, t. y., kai taškas N yra labiausiai nutolęs nuo stalo plokštumos. Ašis X bus staklių nulyje tada, kai taško N X koordinatė sutaps su taško F X koordinate. Ašis Y bus staklių nulyje, kai taško N Y koordinatė bus lygi taško F Y koordinatei. Staklių nulio padėtis yra nustatyta gamintojo, fiksuota ir nekeičiama. Taško M padėtis yra tokia, kad taško F darbiniai poslinkiai vyktų tik teigiamosiomis ašių X ir Y kryptimis, o įrankio poslinkiai – neigiamąja Z ašies kryptimi. Yra vienas frezavimo staklėms būdingas bruožas. Iš tikrųjų taško F poslinkiai taško N atžvilgiu yra nesvarbūs apdirbant. Svarbesnis yra įrankio poslinkis stalo atžvilgiu, kitaip tariant, taško N poslinkis taško F atžvilgiu. Todėl programuojant apdirbimą frezavimo staklėms laikoma, kad įrankis (tiksliau, jo bazinis taškas) juda stalo atžvilgiu, nors iš tikrųjų plokštumoje XY ir lygiagrečioje su ja juda stalas, suklys su įrankiu juda tik ašies Z kryptimi. Reikia paminėti, kad taip yra ne visose frezavimo staklėse ir centruose (yra tokių staklių, kuriose suklio galvutė, o ne stalas juda X , Y ir Z ašimis (portalinės staklės, žr. I dalies 4.33 pav.)), tačiau bet kuriuo atveju laikoma, kad įrankis juda detalės atžvilgiu, taip ir programuojama, o valdymo sistema pati pakeičia įrankio poslinkį XY ir lygiagrečiose su ja plokštumose priešingo ženklo stalo poslinkiu. Todėl pateiktame 2.7 pav. pavyzdyje, kai suklio junginio bazinis taškas N sutampa su tašku M ir yra virš taško F XY plokštumoje, operatoriaus valdymo pulto vaizduoklyje staklių koordinačių sistemoje (*Machine coordinates*) matysime: $X0.000$; $Y0.000$; $Z0.000$ (žr. 2.7 pav.). Jeigu rankinio valdymo režimu pastumsime įrankį (tiksliau, stalą, bet laikome, kad įrankį) pagal X ir Y ašis į tašką 1, vaizduoklyje režimu, vaizduojančiu staklių koordinates, matysime: $X-400.000$; $Y-200.000$; $Z0.000$ (o ne $X400.000$; $Y200.000$; $Z0.000$, kaip turi būti iš tikrųjų). Nuleidus sukli 200 mm pagal ašį Z , t. y. kai bazinis taškas atsidurs taške 2 (2.7 pav.), vaizduoklyje matysime: $X-400.000$; $Y-200.000$; $Z-200.000$. Kai suklio bazinis taškas sutaps su tašku 3, ribojančiu darbo zoną pagal X ir Y ašis, vaizduoklyje matysime taško N koordinates staklių sistemoje: $X-800.000$; $Y-450.000$; $Z-200.000$.

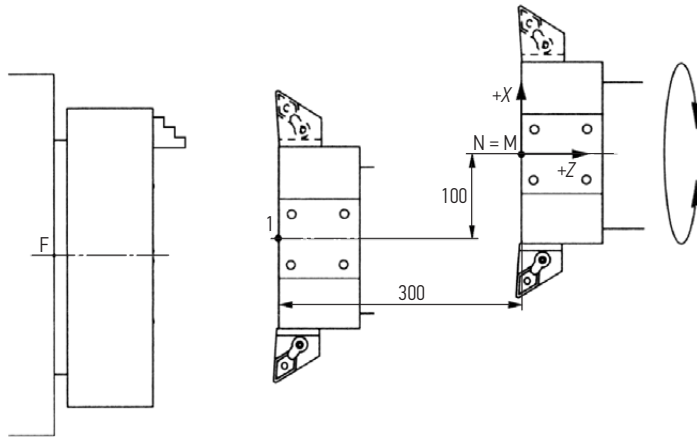
Bazinis stalo taškas F dažniausiai yra dešiniajame viršutiniame staklių stalo kampe, tačiau ne visada. Kai kurių gamintojų frezavimo staklėse šis taškas yra kairiajame labiausiai nutolusiame nuo operatoriaus stalo taške. Tokiu atveju esmė nesikeičia, visi pateikti anksčiau teiginiai galioja, keičiasi tik X koordinatės ženklas iš „-“ į „+“. Pasi-taiko ir kitų išdėstymo atvejų, pavyzdžiui, apatiniame dešiniajame kampe arba netgi stalo viduryje.

Horizontaliojo apdirbimo centro koordinatinės ašys ir valdomų dalių baziniai taškai parodyti 2.8 pav. Įrankio junginio (suklio galvutės) bazinis taškas yra ten pat, kur ir vertikalojo apdirbimo centro – suklio ašies ir galo plokštumos susikirtime. Ašys pasiekia staklių nulį dažniausiai tada, kai taškas N labiausiai nutolęs nuo stalo pagal Y ir Z ašis. Skirtingų gamintojų horizontaliųjų apdirbimo centrų poslinkiai pagal ašis X , Y ir Z gali būti gaunami skirtingais junginiais (stalo arba suklio), tačiau bet kuriuo atveju programuojami taip, lyg judėtų įrankis, o ne stalas. Iš 2.8 pav. matome, kad visi įrankio darbiniai poslinkiai iš nulio pozicijos staklių koordinatinių sistemoje vyks neigiamosiomis ašiu X , Y ir Z kryptimis.

Tekinimo staklių poslinkiai valdomi dviejų ašių koordinatinių sistemoje (aišku, čia kalbama apie pačias paprasčiausias dviejų ašių tekinimo stakles). Dažniausiai jose yra dvi ašys – X ir Z , kaip parodyta 2.5 pav., c. Čia Z ašis taip pat lygiagreti su suklio ašimi, tik suklyje tvirtinamas ruošinys, o ne įrankis. Grąžto ištraukimo iš detalės kryptis yra teigiamoji Z ašies kryptis, o X ašies (ir Y , jei staklėse yra ši ašis (žr. I dalies 4.44, 4.50, 4.54 pav.)) kryptis nustatoma pagal dešinėsios rankos taisyklę. Tekinimo staklių su revolverine galvute koordinatinių sistemos pradžia yra taškas M, kuris labiausiai nutolęs nuo suklio junginio bazinio taško – jo ašies ir galinės plokštumos susikirtimo taško (taškas F, 2.9 pav.) pagal abi ašis – X ir Z . Mus domina įrankio poslinkis tokioje koordinatinių sistemoje. Įrankio junginys čia yra revolverinė galvutė, kurios bazinis taškas yra galvutės ašies ir galinės plokštumos susikirtimo taškas (taškas N, 2.9 pav.). Taigi staklių ašys pasieks nulį tada, kai įrankio junginio bazinis taškas N sutaps su tašku M ir nuo šio taško M vyks koordinatinių atskaita staklių koordinatinių sistemoje. Darbo judesiai iš šios padėties vyks neigiamosiomis X ir Z ašių kryptimis, todėl, perstūmus galvutę (tiksliau, jos bazinį tašką N) iš taško M į tašką 1, nutolusį nuo taško M 300 mm pagal ašį Z ir 100 mm X ašies kryptimi, operatorius staklių valdymo įrenginio



2.8 pav. Horizontaliojo apdirbimo centro koordinatinių sistema



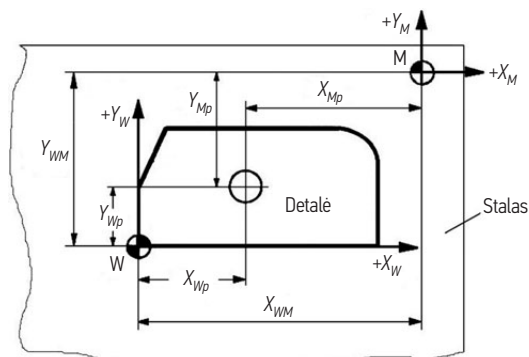
2.9 pav. Dviejų ašų tekinimo staklių koordinatinių sistema ir baziniai junginių taškai

vaizduoklyje matys koordinatės $X-100.000$; $Z-300.000$ staklių koordinatinių sistemos režimu. Čia tiesiogiai atskaitomi įrankio junginio judesiai, koordinatės neperskaičiuojamos, nes juda įrankio junginys, o ne stalas, kaip kad frezavimo staklėse.

Staklių be revolverinės galvutės, su peilių įtvaru (žr. I dalį, 4.63 pav.) koordinatinių sistema yra panaši, tik X ašis nukreipta į kitą pusę. Staklių nulis čia taip pat yra toliausiai nuo suklio galo, tačiau prieš centrų liniją, o ne už, kaip staklių su revolverine galvute. Įrankio junginio bazinis taškas yra taškas ant įtvaro sukimosi ašies. Tokiu būdu darbinis poslinkis iš staklių nulio vyksta taip pat neigiamąja X ašies kryptimi, kaip ir staklių su revolverine galvute.

Savo nulis, arba atskaitos pradžia, yra taip pat ir kitose tekinimo bei frezavimo staklių ašyse (sukimo), palečių keitikliuose, strypo tiekimo įrenginiuose ir kt. Nuo šių pozicijų atskaitomi visi staklių ir jų papildomų įrenginių poslinkiai. Į nulio padėtį turi būti nukreipiamos visos staklių ašys įjungus stakles prieš pradėdant darbą.

Turint staklių koordinatinių sistemą galima apibrėžti reikiamas detalės koordinatės joje ir užprogramuoti reikiamus įrankių poslinkius apdirbant. Toks metodas turi trūkumų. Tegul mums reikia apdirbti detalę, pavaizduotą 2.10 pav., vertikaliuoju apdirbimo centru (paveiksle rodomas vaizdas iš viršaus), o tiksliau, išgręžti joje skylę. Tam reikia skylės centro koordinatės X ir Y nustatyti staklių nulio – taško M atžvilgiu. Tai padaryti sudėtinga, nors ir galima. Norint nustatyti skylės centro X ir Y koordinatės staklių koordinatinių sistemoje reikia, įtvirtinus detalę spaustuvoje ant staklių stalo išmatuoti atstumus nuo taško M iki apatinio detalės krašto (X_{WM} ir Y_{WM} , 2.10 pav.). Matuojama, aišku, ne liniuote, o atskaitant bazinio taško poslinkius staklių koordinatinių sistemoje. Taško M padėtis staklių valdymo sistemai yra „žinoma“. Įjungus stakles jų ašys turi būti grąžinamos į nulį, be to, CNC įrengimo ašys taip pat bet kada gali būti nukreiptos į nulį specialiais mygtukais. Staklių suklio galvutės bazinio taško koordinatės nuo nulio vaizduojamos valdymo pulto vaizduoklyje. Lieka tik rankinio valdymo



2.10 pav. Detalės, apdirbamos ant vertikaliajo apdirbimo centro stalo, koordinatės

režimu, įtvirtinus suklyje žinomo skersmens įrankį, prisiliesti juo prie kairiojo ir apatinio detalės šonų. Pridėję prie vaizduoklyje nustatytų prisilietimo metu atitinkamų X ir Y koordinačių įrankio spindulį, gausime atstumus X_{WM} ir Y_{WM} (2.10 pav.). Programuojant pagal detalės brėžinį, kuriame nurodomi atstumai nuo detalės krašto iki skylės centro, prie atstumų X_{WM} ir Y_{WM} (jie yra neigiami) pridedami atstumai X_{Wp} ir Y_{Wp} . Dabar jau žinome skylės centro staklių koordinačių sistemoje X_{Mp} ir Y_{Mp} . Nustatyti jas buvo sudėtinga, gali atsirasti painiavos koordinatėse. Be to, įsivaizduokime, jei apdirbame vieną ruošinį ir pakeičiame jį nauju, o jo padėtis stalo atžvilgiu pasikeis, arba norime apdirbti kitas detales pagal kitas programas ir vėliau vėl grįžti prie detalės, pavaizduotos 2.10 pav., apdirbimo. Tokiu atveju turėtume iš naujo pakartoti visus minėtus veiksmus ir keisti programoje skylės centro koordinatės X_{Mp} ir Y_{Mp} . Situacija būtų dar sudėtingesnė, jei būtų apdirbamas ne vienas detalės elementas, o keli, pavyzdžiui, gręžiamos kelios skylės ir frezuojamas kontūras. Taisyti programos nereikėtų ir taškų koordinatės būtų galima nustatyti kur kas paprasčiau, jeigu įrankio judesiai programoje būtų užprogramuoti ne staklių, o *detalės koordinačių sistemoje* (jos pradžia gali būti W , 2.10 pav.).

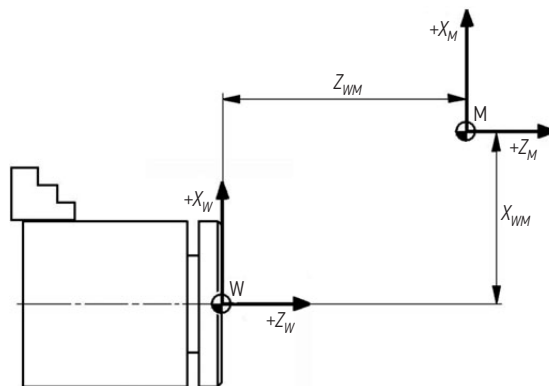
Detalės koordinačių sistema

Detalės arba programos koordinačių sistema yra sistema, kurioje operatorius arba programuotojas programuoja įrankių (tiksliau, jų bazinių taškų) poslinkius. Jos ašys yra lygiagrečios su staklių koordinačių sistemos ašimis, skiriasi tik pradžios padėtis. Sistemos pradžių pasirenka pats staklių operatorius arba programuotojas (jeigu jis pats nedirba prie staklių, turi pažymėti ją technologiniame eskize, kad operatorius galėtų suderinti stakles pasirinktai sistemai) ir sudaro valdymo programą, kurioje programuoja judesius tarp visų apdirbti reikalingų taškų. 2.10 pav. detalės koordinačių sistema yra koordinačių sistema X_W-Y_W , jos pradžia (dar vadinama detalės nulis) yra taške W . Sakykime, detalėje reikia išgręžti skylę, kaip ir ankstesniame pavyzdyje, tačiau tai reikia padaryti detalės (X_W-Y_W), o ne staklių (X_M-Y_M) koordinačių sistemoje. Tam

programuotojas programoje turi nurodyti skylės centro koordinatės ne nuo taško M , bet nuo taško W (2.10 pav., X_{Wp} , Y_{Wp}), kas yra gerokai patogiau. Tokiu atveju turint detalės brėžinį su matmenimis, nurodytais nuo konstrukcinės bazės (mūsų atveju tai X_{Wp} , Y_{Wp}), operatoriui arba programuotojui nebereikia nustatyti atstumų X_{Mp} ir Y_{Mp} , kurie yra sunkiai nustatomi (iš pradžių reikia nustatyti atstumus X_{WM} ir Y_{WM} , paskui pridėti prie jų X_{Wp} , Y_{Wp} atitinkamai). Be to, pakeitus ruošinio vietą ant staklių stalo arba net stakles, operatoriui nereikia peržiūrėti ir keisti programoje nurodytų koordinatinių, jam reikia tik iš naujo „parodyti“ staklėms detalės (programos) nulį W derinant stakles, kad visos programoje nurodomos koordinatės būtų pririštos prie šio taško. „Parodoma“ detalės koordinatinių sistemos pradžia prisiliečiant įrankiu prie taško W pagal ašis X ir Y ir įrašant nustatytus atstumus (t. y. X_{WM} ir Y_{WM}) į specialią lentelę. Tokių pradžių vienai programai galima sukurti ne vieną, o daug ir paskui persijungti iš vienos į kitą programoje.

Atstumai nuo staklių nulio iki detalės (programos) nulio vadinami detalės kompensacijomis (*Work Offsets*). Kiekvienai koordinatinių sistemai nustatytos kompensacijų reikšmės pagal kiekvieną ašį saugomos staklių programinio valdymo įrenginio atmintyje kompensacijų registre ir pradeda veikti aktyvuojant atitinkamą koordinatinių sistemą tam tikru kodu. Šie kodai bus apžvelgti toliau.

Detalės koordinatinių sistemos pradžios pasirinkimas priklauso nuo įvairių veiksnių, pagrindiniai iš kurių yra konstrukcinių bazių išdėstymas, detalės forma ir kiti. Prizmės formos detalėms, apdirbamoms frezavimo staklėmis, kaip detalės nulius pasirenkamas dažniausiai vienas iš kampų (kaip ir 2.10 pav.). Cilindro formos detalėms, apdirbamoms tomis pačiomis staklėmis, parenkamas ašies ir viršutinės plokštumos susikirtimo taškas. Sukimosi kūnų formos detalėms, apdirbamoms tekimo staklėmis, kaip detalės nulius pasirenkamas ašies ir galo plokštumos susikirtimo taškas (2.11 pav.). Sunku būtų rasti dar patogesnę tašką detalės taškų koordinatėms atskaičiuoti. Dar ne kartą grįšime prie detalės koordinatinių sistemos šioje knygoje.



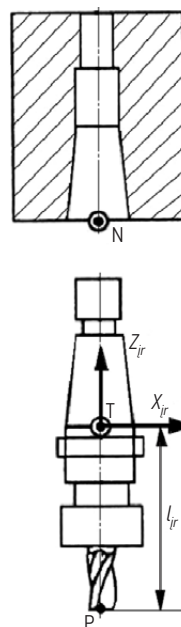
2.11 pav. Detalės, apdirbamos tekimo staklių griebtuve, koordinatinių sistema

Iš 2.10 ir 2.11 pav. matoma, kad ašys detalės koordinacių sistemoje, palyginti su staklių koordinacių sistema, išdėstytos taip pat, tik staklių koordinacių sistema lygia-grečiau perkeliama į kitą operatoriui patogesnę vietą.

Programuojant įrankių trajektorijas detalės koordinacių sistemoje frezavimo staklėmis, galioja tos pačios stalo ir įrankio koordinacių perskaičiavimo taisyklės, kaip ir staklių koordinacių sistemos. Norint gauti įrankio (grąžto) judesį XY plokštumoje nuo koordinacių pradžios W (X_0, Y_0) iki detalės, pavaizduotos 2.10 pav., skylės centro reikėtų nurodyti poslinkį neigiamosiomis X ir Y ašių kryptimis, nes šiomis ašimis juda ne įrankis, o stalo su detale. Žiūrint į eskizą norėtųsi nurodyti poslinkį teigiamąja minėtų ašių kryptimi. Tam, kad nebūtų painiavos rengiant programas frezavimo staklėmis, sutarta, kad įrankis juda ruošinio atžvilgiu, nors iš tikrųjų gali būti atvirkščiai. Tas atitinkamai koreguojama pačiu CNC įrenginiu. Jeigu pastūmos judesiu atlikti reikia perstumti junginį su įrankiu, judesys atliekamas su nurodytu valdymo programoje ženklu. Jeigu reikia perstumti junginį su ruošiniu, ženklas CNC įrenginiu keičiamas į priešingą. Operatoriui tai netgi nerodoma, valdymo įrenginio vaizduoklyje atvaizduojamos jau transformuotos koordinatės, panašiai kaip ir staklių koordinacių sistemoje (2.7 pav.). Tai vykdoma pagal nustatytuosius parametrus. Pažymėtina, kad iš tikrųjų dirbama staklių, o ne detalės (programos) koordinacių sistemoje. CNC įrenginys, vykdamas programą, perskaičiuoja programoje nurodytas koordinatas detalės koordinacių sistemoje įvertinant lentelėje saugomas kompensacijas. Jeigu programuotojas nurodo programoje skylės centro koordinatas X_{Wp} ir Y_{Wp} (2.10 pav.), jos, vykdamas programą, bus perskaičiuotos į staklių koordinatas X_{Mp} ir Y_{Mp} pritaikius detalės kompensacijas X_{WM} ir Y_{WM} , kurios saugomos staklių kompensacijų lentelėje, ir įrankis judės staklių koordinacių sistemoje, tačiau operatoriui šis perskaičiavimas nebus parodytas. Staklių darbo metu operatorius vaizduoklyje gali matyti, kaip, judant įrankiui, keičiasi koordinatės ir staklių, ir detalės koordinacių sistemos.

Įrankio koordinacių sistema

Įrankio koordinacių sistema naudojama jo viršūnės padėčiai laikiklio atžvilgiu aprašyti. Šito dažniausiai reikia, kai įrankis derinamas ne ant staklių, o specialiame stende. Dirbant programinėmis frezavimo staklėmis patogiausia valdyti ne įrankio junginio bazinio taško (taškas N, 2.7 pav.) judesius, o paties įrankio bazinio taško (dažniausiai tai jo ašies ir pjovimo briaunos susikirtimo taškas, taškas P, 2.12 pav.) judesius. Tokiu atveju nereikia įvertinti programoje įrankio išsikišimo



2.12 pav. Įrankio koordinacių sistema

iš laikiklio ilgio l_{jr} (2.12 pav.). Norint tai įgyvendinti, įrankis derinamas, t. y. įrankis nukreipiamas iš dėtuvės į sukli (frezavimo staklių) ir savo galu priliečiamas prie detalės Z ašies nulinio. Panašiai yra ir tekinimo staklėse, kur reikia peilio (arba grąžto ir t. t.) viršūne prisiliesti prie detalės nulinio X ir Z ašių kryptimis. Tokiu būdu nustatyti atstumai tarp staklių ir detalės nulių, įvertinant įrankio išsikišimą, išsaugomi specialioje staklių valdymo sistemos lentelėje (vadinamosios ilgių kompensacijos, jos bus nagrinėjamos atskirai), kurios duomenis valdymo sistema naudoja darbo metu. Skirtingų įrankių išsikišimų ilgiai yra skirtingi, todėl derinamas kiekvienas įrankis, naudojamas apdirbimo programoje. Pakeitus atšipusį arba sulūžusį įrankį laikiklyje be specialių priemonių neįmanoma pasiekti naudoto įrankio išsikišimo iš laikiklio ilgio, todėl įrankį reikia derinti iš naujo.

Automatizuotoje gamyboje įrankiai dažniausiai teikiami prie staklių ir keičiami automatiškai, nedalyvaujant operatoriui. Tokie įrankiai būna jau suderinti stenduose, jų išsikišimo ilgiai tiksliai nustatyti įrankio koordinatinių sistemoje $X_{jr}Z_{jr}$ (2.12 pav.), kurios ašys yra lygiagrečios ir sutampa pagal kryptį su atitinkamomis staklių koordinatinių sistemos ašimis. Įrankio koordinatinių sistemos pradžia nustatoma įrankių stendo baziniame taške T , kuris visada sutapdintas su staklių įrankio junginio baziniu tašku N (2.7, 2.12 pav.). Tokioje sistemoje įrankis statomas pagal aukštį ir, jeigu reikia, pagal kitas ašis. Jis gali pakeisti ankstesnį įrankį papildomai nederinant, tokiu atveju nereikia stabdyti staklių.

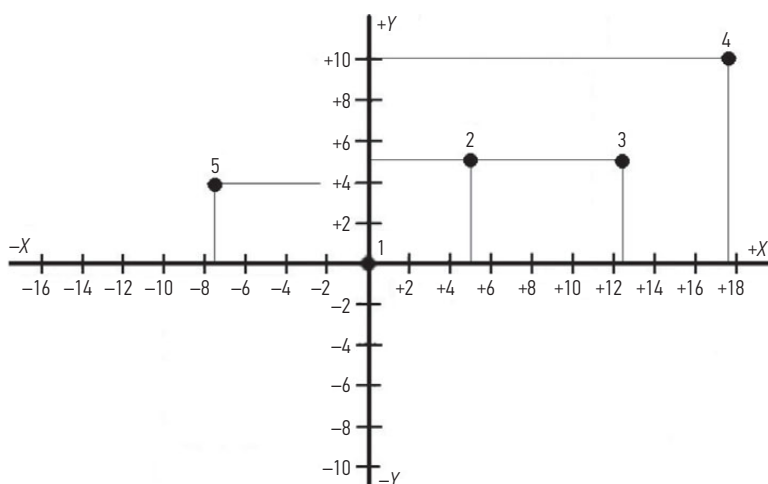
Įrankio derinimo standai sėkmingai naudojami ir neautomatizuotoje gamyboje.

2.3. Absoliučiosios, prieaugio ir polinės koordinatės

Dirbant CNC staklėms pagal programą įrankis (tiksliau, bazinis jo pjovimo briaunos taškas; toliau, kalbant apie įrankio judesį, bus vartojamas žodis *įrankis*, turint omenyje bazinį jo tašką) juda pagal užprogramuotą trajektoriją staklių darbo zonos erdvėje. Pagrindinė programuotojo užduotis – nustatyti trajektorijos taškų koordinates detalės koordinatinių sistemoje ir teisingai užprogramuoti nuoseklų įrankio judesį iš vieno taško į kitą suprantama staklių valdymo sistemai forma (t. y. parengti programą). Be judesių, programoje nurodomos ir kitos komandos, be kurių negalima apdirbti detalių, pavyzdžiui, įjungti suklio suktis, tiekti TAS ir pan. Priklausomai nuo apdirbamos detalės geometrijos formos, galima užprogramuoti įrankio judesį tarp atskirų taškų pagal tiesę, pagal apskritimo lanką, taip pat pagreitintai. Pavyzdžiui, norint išgręžti skylę detalėje, pavaizduotoje 2.10 pav., reikia pagreitintai pozicijuoti besisukantį grąžtą virš skylės centro kuo arčiau detalės, suteikti jam tiesiaieigį pastūmos judesį Z ašies kryptimi tol, kol pasieks skylės dugną, ir pagreitintai ištraukti įrankį iš skylės. Judesių tipai ir programavimo komandos bus apžvelgti specialiame skyriuje, čia pa-nagrinėsime koordinatinių režimus, t. y. kaip staklių valdymo sistemai galima nurodyti programoje taškų koordinates. Režimą pasirenka programuotojas arba operatorius tos

pačios valdymo programos kodais. Taškų koordinatės gali būti nurodomos nuo taško, kurio padėtis erdvėje yra pastovi (t. y. detalės nulis W , parodyto 2.10 ar 2.11 pav.). Tada bus programuojama *absoliučiosiomis* koordinatėmis. Kiekvieno naujo trajektorijos taško koordinatės programoje gali būti nurodomos nuo paskutinio taško, kuriame buvo įrankis. Tokiu būdu kiekvienas trajektorijos taškas tampa baziniu kito taško koordinatėms nurodyti. Tada bus pasirinktas *prieaugių* režimas ir programuojama bus *prieaugio* koordinatėmis arba trumpiau – *prieaugiais*. Seno tipo (NC) staklės buvo programuojamos tik prieaugiais, tačiau naujo tipo (CNC) technologines mašinas galima programuoti abiem būdais. Programuotojas programos pradžioje nurodo atitinkamą kodą (pavyzdžiui, frezavimo staklėse kodai G90 ir G91, kurie dar bus ne kartą aptarti toliau) ir, priklausomai nuo jo, visos esančios po šio kodo programoje nurodytos koordinatės staklių valdymo sistemos bus suprantamos kaip absoliučiosios arba prieaugio. Pasirinkti koordinatinių pateikimo būdą vienoje programoje galima ne vieną, o daug kartų. Dažniausiai pasirenkamas absoliučiąjį koordinatinių režimą, tačiau kartais privalomų turi ir antrasis pateikimo būdas. Tam tikrais atvejais (pavyzdžiui, naudojant kai kuriuos vidinius ciklus arba paprogrames) be prieaugių režimo negalima apsieiti. Tai bus aptarta 11 ir 12 skyriuose.

Panagrinėsime pavyzdį, kol kas nesigilindami, kaip pasirenkami absoliučiąjį koordinatinių ir prieaugių režimai staklėse. 2.13 pav. parodytas taškų masyvas XY koordinatinių sistemoje. Tegul šie taškai yra skylių, kurias reikia išgręžti detalėje, įtvirtintoje ant vertikaliųjų frezavimo staklių stalo, centrai. Įrankis yra virš taško 1, kuris taip pat yra detalės nulis (jo koordinatės yra $X0 Y0$ detalės koordinatinių sistemoje). „Apeisime“ visus skylių centrus (1–5) nustatydami koordinates dviem būdais ir grąžinsime įrankį į pradinį tašką 1. Taškų koordinatės pateiktos 2.2 lentelėje.



2.13 pav. Taškų išdėstymas plokščiojoje koordinatinių sistemoje XY

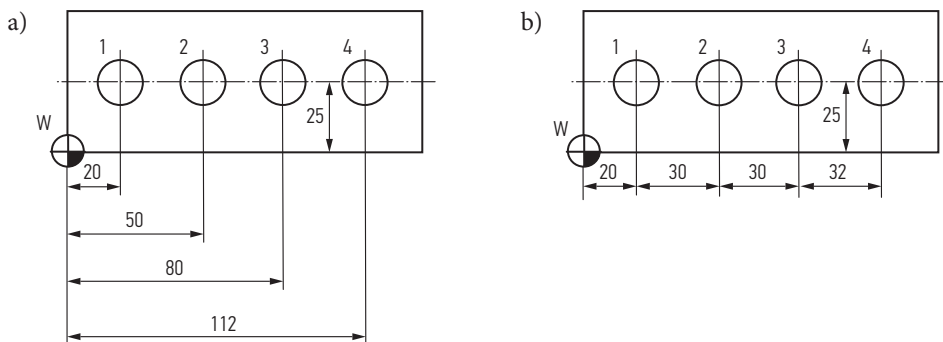
2.2 lentelė. Taškų (2.13 pav.) koordinatės plokščiojoje koordinatinių sistemoje XY

Taškas	Absoliučiosios koordinatės		Prieaugio koordinatės	
	X	Y	X	Y
1	0	0	0	0
2	+5,0	+5,0	+5,0	+5,0
3	+12,5	+5,0	+7,5	0,0
4	+17,5	+10	+5,0	+5,0
5	-7,5	+4,0	-25	-6,0
1	0	0	+7,5	-4,0
		Suma	0,0	0,0

Iš 2.2 lentelės ir 2.13 pav. matyti, kad norint užprogramuoti įrankio trajektoriją prieaugio koordinatėse, nustatant kito taško koordinatę reikia atimti iš jo absoliučiosios koordinatės prieš tai aplankyto taško absoliučiąją koordinatę. Be to, reikia teisingai nurodyti ženklą, kuris priklauso nuo judesio krypties. Pavyzdžiui, mūsų atveju taško 2 absoliučioji X koordinatė yra $X+5$, o taško 3 – $X+12,5$. Įrankis, judėdamas iš taško 2 į tašką 3, turi nueiti atstumą $12,5 - 5 = 7,5$ mm X ašies kryptimi. Judesys vyks teigiamąja X ašies kryptimi, todėl reikia parašyti $X+7,5$. Y ašies kryptimi judesys nebus atliktas, nes abiejų taškų Y koordinatės yra tos pačios ($Y+5$). Įrankis, judantis iš taško 4 iki taško 5, nukreipiamas į II kvadrantą neigiamąja X ašies kryptimi, taško 5 prieaugio X koordinatė bus nustatyta taip: $X_5 - X_4 = -7,5 - 17,5 = -25$. Įrankis judės neigiamąja X ašies kryptimi, todėl ženklas išlieka $X-25,0$. Be to, matome, kad reikia atlikti judesį ir Y ašies kryptimi, pagal šią ašį taško 5 prieaugio koordinatė bus nustatyta taip: $Y_5 - Y_4 = 4 - 10 = -6$. Judesys įvyks neigiamąja Y ašies kryptimi, todėl koordinatės ženklas yra neigiamas $Y-6,0$.

Programuojant prieaugio koordinatėmis svarbu grąžinti įrankį į pradinį tašką 1 programos pabaigoje, nepadarius to, pakeitus detalę nauja ir paleidus programą nuo pradžios, įrankis pradės judėti prieaugiais nuo taško 5, o ne 1 ir detalė bus apdirbama neteisingai. Programuojant absoliučiosiomis koordinatėmis to neįvyks, nes taškų koordinatės nustatomos nuo fiksuoto nulio, mūsų pavyzdžiu tai taškas 1. Patikrinti rezultatus, kai įrankis grįžta į pradinę poziciją, galima sudėjus visų taškų X ir Y koordinatės atskirai, kaip tai padaryta 2.2 lentelėje. Suma turi būti lygi 0.

Galima teigti, kad programuojant prieaugio koordinatėmis mūsų atveju (2.13 pav.) yra didesnė tikimybė padaryti klaidų, negu programuojant absoliučiosiomis koordinatėmis, nes reikia atlikti papildomus skaičiavimus. Taškų absoliučiosios koordinatės yra tiesiog „nuskaitomos“ iš paveikslėlio, o koordinatinių ženklai nesudėtingai nustatomi pagal koordinatinių sistemos kvadrantus (2.2 pav., b). Tačiau kai kuriems operatoriams ir programuotojams labiau patinka dirbti prieaugiais. Prieaugių režimas turi būti pasirinktas tam tikrais atvejais programuojant vidinius ciklus ir paprogrames.



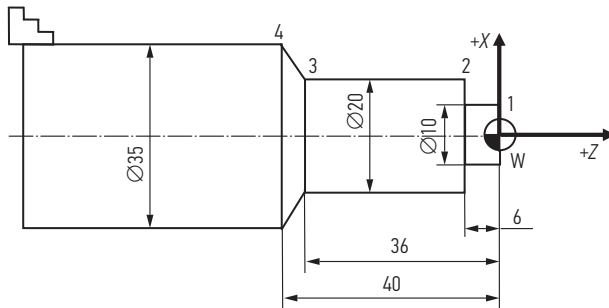
2.14 pav. Detalės eskizas su skirtingai nurodytais matmenimis

Be to, priklausomai nuo apdirbamos detalės brėžinio (tiksliau, priklausomai nuo to, kur pasirinkta konstrukcinė bazė ir nurodyti matmenys), šis režimas gali būti labai naudingas. Pavyzdžiui, reikia išgręžti skylės detalėje, parodytoje 2.14 pav. Turint jos eskizą, pateiktą 2.14 pav., a, patogiau dirbti su absoliučiosiomis koordinatėmis, o turint eskizą, pavaizduotą 2.14 pav., b, geriau naudoti prieaugio koordinatas. Visų keturių skylių centrų absoliučiosios ir prieaugio koordinatės pateiktos 2.3 lentelėje.

2.3 lentelė. Skylių centrų (2.14 pav.) koordinatės plokščiojoje koordinatinių sistemoje XY

Skylių Nr.	Absoliučiosios koordinatės		Prieaugio koordinatės (1-os skylės koordinatė nurodyta nuo taško W – detalės nulio)	
	X	Y	X	Y
1	+20,0	+25,0	+20,0	+25,0
2	+50,0	+25,0	+30,0	0,0
3	+80,0	+25,0	+30,0	0,0
4	+112,0	+25,0	+32,0	0,0

Reikėtų paminėti, kad tekinimo staklių detalės koordinatinių sistema turi vieną keis-tenybę. Joje taškų X ašies koordinatės yra dvigubinamos, t. y. išreiškiamos skersme-niui, o ne spinduliui. Tokios koordinatės nustatytos beveik visose tekinimo staklių valdymo sistemose pagal nustatytuosius parametrus. Keičiant sistemos nustatymus galima pereiti prie spinduliui išreikštų koordinatinių, tačiau šis metodas nėra populiarus tekinimo staklių programavimo praktikoje. Taip yra todėl, kad tekintų detalių brėži-niuose dažniausiai nurodomi skersmenys, o detalės koordinatinių sistemos pradžia yra ant detalės ašies. Pavyzdžiui, pavaizduotam 2.15 pav. a atvejui taškų 1–4 absoliučiosios koordinatės detalės koordinatinių sistemoje bus ne +5, +10, +10 ir +17,5, kaip matoma



2.15 pav. Tekinamos detalės koordinatinių sistema

iš eskizo, o +10, +20, +20 ir +35. Taškų Z koordinatės jokių būdu nedvigubinamos ir yra tokios kaip yra: 0, -6, -36 ir -40 atitinkamai.

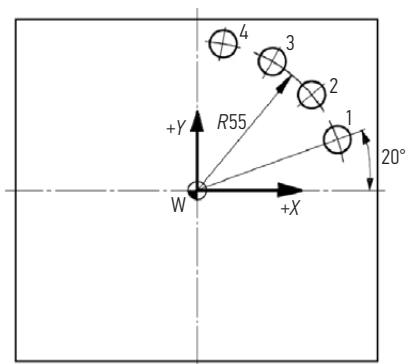
Lygiai taip pat dvigubinamos taškų X koordinatės ir priaugių režimu, pavyzdžiui, taško 2 X priaugio koordinatė, judant iš taško 1, bus +10; 3 taško - 0; 4 taško - +15.

Polinės koordinatės

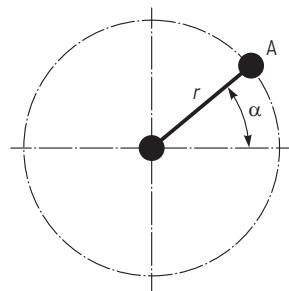
Polinės koordinatės mažiau naudojamos rengiant programinių staklių valdymo programas, tačiau operatorius kartais susiduria su jomis arba atskirais jų elementais naudodamas standartinius staklių ciklus, be to, kai kuriose valdymo sistemose galima nurodyti įrankių trajektorijos taškus polinėse koordinatėse. Polinių koordinatinių režimas frezavimo staklėse dažniausiai naudojamas tada, kai reikia apdirbti išdėstytas pagal apskritimą skylės (apskritiminį skylių masyvą arba jo dalį). Vienas iš tokių parodytas 2.16 pav.

Taško A polinė koordinatė nurodyta spinduliu arba atstumu nuo sukimosi centro r ir pasukimo kampu α , kaip parodyta 2.17 pav. Kampas nurodomas pagal tokią taisyklę: X ašies teigiamoji kryptis (jeigu dirbama XY plokštumoje) arba rodyklės 3 val. padėtis laikrodžio ciferblate yra nulinė, spindulio sukimo prieš laikrodžio rodyklę kryptis yra teigiamoji. Koordinatinės plokštumos kvadrantuose (2.2 pav., b) kampo reikšmės pasiskirsto taip: I kvadrantas – nuo 0° iki 90° (arba nuo -270° iki -360°), II kvadrantas – nuo 90° iki 180° (arba nuo -180° iki -270°), III kvadrantas – nuo 180° iki 270° (arba nuo -90° iki -180°), IV kvadrantas – nuo 270° iki 360° (arba nuo 0° iki -90°).

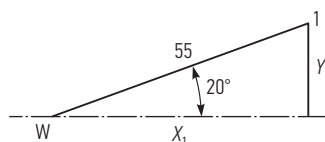
Tokioje koordinatinių sistemoje labai patogiu nurodyti skylių, išdėstytų pagal apskritimą arba jo lanką, centrų padėtį tiesiog iš brėžinio, išvengiant koordinatinių perskaičiavimo. Atvejui, pavaizduotam 2.16 pav., 1-os skylės centro X ir Y koordinatės detalės koordinatinių sistemoje reikėtų nustatyti iš trikampio (2.18 pav.) pagal trigonometrijos formules, panašiai ir kitoms skylėms (parodyta schema tik 1-os skylės koordinatėms nustatyti).



2.16 pav. Apdirbama detalė su skylėmis, išdėstytomis apskritimo lanku



2.17 pav. Taško A polinės koordinatės



$$X_1 = 55 \cos 20^\circ = 51,683;$$

$$Y_1 = 55 \sin 20^\circ = 18,811.$$

2.18 pav. 1-os skylės centro koordinatžių perskaičiavimo schema (2.16 pav.)

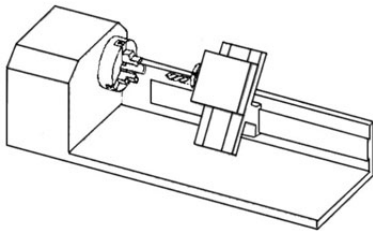
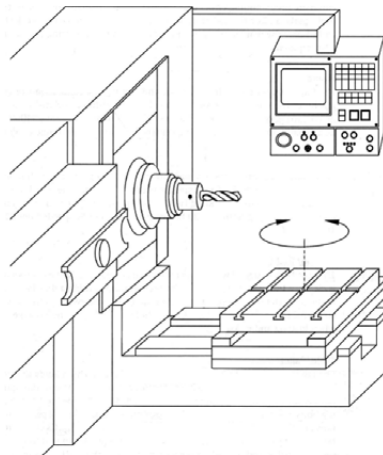
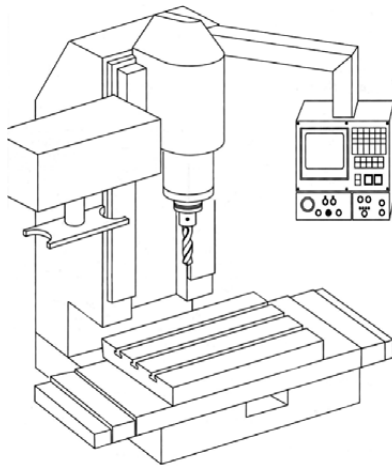
Dabar pateiksime skylių 1–4 centrų (2.16 pav.) polinės koordinatės sukimosi centru W (detalės nulio) atžvilgiu. Polines koordinatės galima nurodyti absoliučiasis ir prieaugio, priklausomai nuo koordinatžių režimo. Dviem būdais užrašytos koordinatės pateiktos 2.4 lentelėje.

2.4 lentelė. Polinės skylių centrų (2.16 pav.) koordinatės

Skylių Nr.	Absoliučiosios polinės koordinatės		Prieaugio polinės koordinatės (1-os skylės koordinatė nurodyta nuo taško W – detalės nulio)	
	spindulys	kampas	spindulys	kampas
1	+55,0	+20,0	+55,0	+20,0
2	+55,0	+40,0	0,0	+20,0
3	+55,0	+60,0	0,0	+20,0
4	+55,0	+80,0	0,0	+20,0

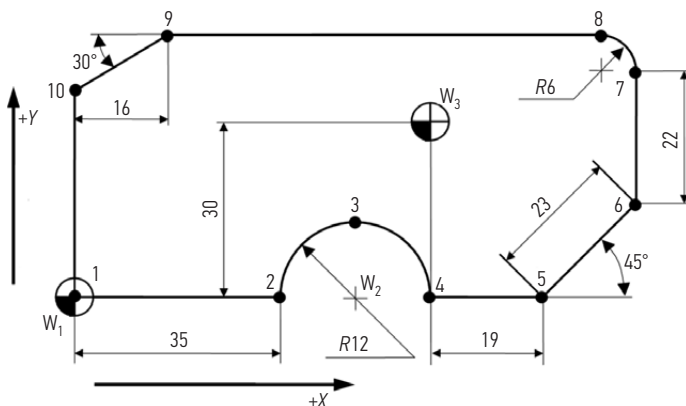
Kontroliniai klausimai

1. Kas vadinama kvadrantu? Kiek kvadrantų galima išskirti plokščiojoje Dekarto koordinacių sistemoje, kaip numeruojami kvadrantai ir kaip pasiskirsto koordinacių ženklai kvadrantuose?
2. Parodykite toliau pateiktame paveiksle, kaip išdėstytos vertikaliųjų ir horizontaliųjų frezavimo bei tekinimo staklių koordinacių linijinės ašys. Kokia taisyklė taikoma ašių kryptims nustatyti staklėse?



3. Kas yra staklių koordinacių sistema? Kur yra jos pradžia vertikaliuosiose, horizontaliose frezavimo ir tekinimo staklėse? Parodykite pirmiau pateiktuose paveiksluose.
4. Kam reikalinga detalės koordinacių sistema? Kaip išdėstomos jos koordinacių ašys, kuo ir kaip pasirenkama jos pradžia frezavimo ir tekinimo staklėse?
5. Kaip susiejamos staklių ir detalės koordinacių sistemos?
6. Kas yra absoliučiosios, prieaugio ir polinės taško koordinatės?
7. Nustatykite taškų 1–10, pateiktų tolesniam paveiksle (tegu jame parodyta detalė ant vertikaliųjų frezavimo staklių stalo), absoliučiąsias koordinates (nuo koordinacių sistemos pradžios W_1 , W_2 ir W_3), prieaugio koordinates (kai įrankis yra pradi-

nės padėties koordinačių pradžioje W_1 , W_2 ir W_3 ir juda nuo koordinačių pradžios į tašką 1, o toliau – nuo taško 1 iki 10) ir absoliučiasias polines koordinates (kai teigiamoji X ašies kryptis yra nulinė pozicija kampui nustatyti, spindulio sukimasis prieš laikrodžio rodyklę nuo X ašies laikomas teigiamąja kryptimi, sukimosi centras (polius) yra koordinačių pradžioje W_1 , W_2 ir W_3 , judama nuo koordinačių pradžios į tašką 1, o toliau – nuo taško 1 iki 10). Koordinates pateikite lentelėse.



Absoliučiosios koordinatės						
Taškas	Detalės koordinačių sistema					
	W_1		W_2		W_3	
	X	Y	X	Y	X	Y
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
1						

Prieaugiai						
Taškas	Detalės koordinatinių sistema					
	W_1		W_2		W_3	
	X	Y	X	Y	X	Y
1						
	X			Y		
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
1						
Absoliučiosios polinės koordinatės						
Taškas	Detalės koordinatinių sistema					
	W_1		W_2		W_3	
	spindulys	kampas	spindulys	kampas	spindulys	kampas
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						
8						
9						
10						
1						

VALDYMO PROGRAMOS SANDARA IR KODAI

3.1. Programos sandara

Kaip ne kartą buvo minėta, valdymo programa yra sudaryta iš nuosekliai išdėstytų staklių komandų, kurias CNC programinio valdymo įrenginys turi įvykdyti, kad apdirbtų ruošinį ir gautų reikiamos formos bei matmenų detalę. Programa turi būti užrašyta suprantama staklių valdymo sistemai kalba, pavyzdžiui, 1 skyriuje pateikta programa O11111. Dažniausiai programoms rengti vartojama G&M kodų (žr. 1 sk.) programavimo kalba. Skirtingų staklių gamintojų programų formatai gali skirtis, ypač tų gamintojų, kurie plėtoja vizualinio programavimo sistemas (pavyzdžiui, Japonų firmos „Mazak“ sistema *Mazatrol*), tačiau daugumoje programinio valdymo sistemų palaikomi G&M kodai arba naudojami kaip antraeilė programavimo kalba. G&M kodų kalba taip pat nėra visiškai standartizuota, kai kurių gamintojų valdymo sistemos gali nesuprasti kai kurių G arba M kodų, suprantamų kitoms sistemoms, tačiau pagrindiniai kodai išlieka tie patys. Ta pati išlieka ir loginė programos struktūra, ir formatas. Taigi paversime juos suprantamais ne tik staklėms, bet ir skaitytojams.

CNC įrengimų programuotojai turi savo terminiją, savo santrumpas ir posakius. Dauguma jų susiję su programos sandara. Yra keturi pagrindiniai terminai, vartojami programuojant G&M kodais CNC įrengimus:

Ženklas → Žodis → Eilutė → Programa

Kiekvienas iš šių keturių terminų dažnai vartojamas, todėl reikia juos išsamiai paaiškinti.

Ženklas

Ženklas yra trumpiausias programos vienetas. Programose naudojami trijų tipų ženklai: *skaitmenys*, *raidės* (kreipiniai arba adresai) ir *simboliai*. Iš ženklų sudaromi programos žodžiai.

Skaitmenys (nuo 0 iki 9) naudojami skaičiams sudaryti. Programose naudojami įvairūs skaičiai – sveikieji, tikrieji, teigiamieji ir neigiamieji (pavyzdžiui, koordinatės).

26 anglų kalbos abėcėlės raidės yra staklių valdymo pulte ir gali būti vartojamos programoms rašyti. Tačiau iš tikrųjų vartojamos raidės G ir M, kuriomis prasideda

atitinkami kodai (specialūs žodžiai), raidės S (suklio sūkiai), F (pastūma), T (įrankis), P (pauzės trukmė), X, Y, Z, A, B, C (atitinkamos ašys), N (programos eilutės numeris), H (įrankio ilgio kompensacija frezavimo staklėse), D (įrankio skersmens kompensacija frezavimo staklėse) ir kai kurios kitos raidės. Visos 26 raidės naudojamos tik programos komentarams užrašyti. Programoms ruošti paprastai vartojamos didžiosios raidės (išskyrus programos komentarus, kurių PV įrenginys nevykdo), tačiau kai kuriose valdymo sistemose galima vartoti ir mažąsias raides. Galima pateikti tokią bendrą taisyklę:

► **Programuotojau, jei abejoji, vartok tik didžiąsias raides**

Papildomai, be raidžių ir skaitmenų, naudojami kai kurie simboliai. Dažniausiai tai dešimtainės trupmenos taškas, minuso ženklas, skliaustai, procento ženklas ir kt.

Žodis

Programų žodžiai yra raidžių ir skaičių derinys, kuris sudaro atskirą programinio valdymo įrenginio komandą. Paprastai kiekvienas žodis prasideda iš didžiosios raidės ir po jos eina skaičius. Žodžiais programoje aprašomi įrankių numeriai (pavyzdžiui, T01), įrankio trajektorijos taškų koordinatės (pavyzdžiui, X152.325 – taško X koordinatė), pastūma (pavyzdžiui, F0.1 – pastūma 0,1 mm/sūk.), suklio sūkiai (pavyzdžiui, S2600 – suklio sūkiai 2600 sūk./min), G kodai (pavyzdžiui, G01 – tiesinės interpoliacijos judesys), M kodai (pavyzdžiui, M08 – TAS siurbliui įjungti) ir t. t. Žodžiai programoje paprastai atskiriami tarpais, tačiau tai daroma tik tam, kad programą skaityti būtų patogiau. Staklių valdymo sistema gali suprasti žodžius, įvestus be tarpų. Žodžiams atskirti valdymo pulto klaviatūroje yra mygtukas *Space*, atliekantis tokią pat funkciją, kaip ir asmeninio kompiuterio klaviatūroje esantis ilgiausias mygtukas.

Eilutė

Eilutė (eilutės dar vadinamos *blokais*) sudaryta iš vieno arba kelių žodžių, kurie savo ruožtu sudaryti iš kelių ženklų. Taigi jeigu kiekvienas žodis reiškia atskirą komandą, tai eilutė – ne kas kita kaip sudėtinė komanda arba komandų, atliekamų kartu, serija. Renkant programą kiekviena eilutė turi būti atskirta nuo kitų eilučių. Programuojant nuo staklių valdymo pulto naudojamas specialus mygtukas *End-of-Block* arba tiesiog *EOB*, kuriuo uždedamas ženklas „ ; “ eilutės pabaigoje. Kai programuojama kompiuteriu eilutė atskiriama paspaudus mygtuką *Enter*. Programos eilutė, sudaryta iš penkių tarpais atskirtų žodžių, pateikta toliau:

G90 G54 G00 X50.0 Y-50.0 (komanda frezavimo staklių įrankio atraminį tašką pagreitintai nukreipti į tašką, kurio absoliučiosios koordinatės (G90) X50,0 Y-50,0 detalės koordinacių sistemoje (G54));

Skliaustuose pateikti komentarai, kurių staklių valdymo sistema nevykdo, tiesiog

praleidžia. Komentaruose gali būti užrašytas bet koks tekstas operatoriaus dėmesiui atkreipti, komentarų gali ir nebūti, tai yra eilutė galėjo atrodyti ir taip:

G90 G54 G00 X50.0 Y-50.0;

Eilutės atliekamas veiksmas būtų lygiai tas pats. Komentaruose galima vartoti tik *lotyniškos abėcėlės raidės*, nosinių rašyti negalima, tačiau mes, be abejo, vartosime jas, kitaip ši knyga tiesiog nebūtų išleista. Naudosime komentarus beveik kiekvienoje knygoje pateiktos programos arba jos fragmento eilutėje norėdami paaiškinti eilutėje atliekamą veiksmą. Ne visose CNC sistemose galima naudoti tokius ilgus komentarus, kokius naudojome ir naudosime mes, tačiau mes nekreipsime į tai dėmesio ir netrumpinsime jų vardan aiškumo.

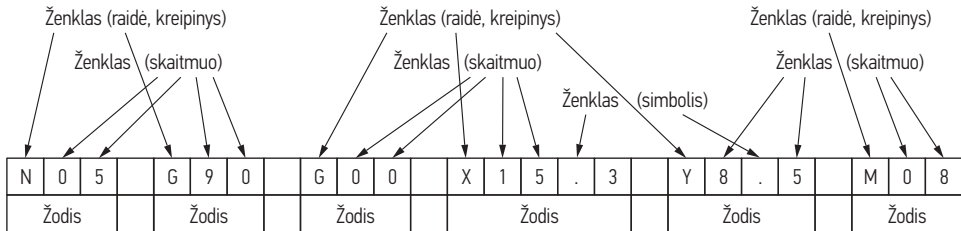
Programa

Programa sudaryta iš atskirų eilučių, išdėstytų viena po kitos logine tvarka. Programos sandara gali šiek tiek skirtis priklausomai nuo programinio valdymo sistemos, tačiau loginė seka niekada nesikeičia. Pavyzdžiui, pakeitus įrankį įjungiamas sukty sukly, paskui atliekamas greitis įrankio judesys detalės paviršiaus link, įjungiamas TAS siurblys, atliekami darbiniai judesiai ir t. t. Programa pradėdama pavadinimu ir baigiama pabaigos kodu. Tarp pradžios ir pabaigos išdėstomos eilutės, gali būti ir programuotojo komentarų. Tokia programa pateikta, pavyzdžiui, 1-ame skyriuje. Jai priskirtas originalus vardas O11111, kuriuo ji saugoma valdymo įrenginio atmintyje.

Programavimo formatas

Pirmiau buvo kalbama apie programos žodžius ir jų sudedamąsias dalis – ženklus, tačiau mažai buvo pasakyta apie tvarką, kuria jie sudaromi. CNC sistemose naudojamas formatas, kai žodis yra vienos raidės ir vieno arba kelių skaitmenų derinys. Šis derinys gali būti papildytas ženklu arba ženkla (pavyzdžiui, minuso ženklas, taškas ir pan.). Tokiu būdu sudaromi žodžiai, kuriuose raidė yra kreipinys (adresai), po jo eina skaičius su simboliais arba be jų. Kreipiniu kreipiamasi į specialų registrą programinio valdymo įrenginio atmintyje. Kreipinys turi būti užrašomas pirmas, tad anksčiau nagrinėtame pavyzdyje užrašyta būtų X50.0, o ne 50.0X. Antras žodžio variantas yra neteisingas, staklių valdymo sistema tokios komandos nevykdys. Atskirti raides nuo skaičių tarpais žodyje neleidžiama (pavyzdžiui, X 50.0), galima atskirti tik žodžius, tačiau ir tai nebūtina (juos dažniausiai atskirs pati valdymo sistema po įvedimo surinkus ir paspaudus klavišą *Enter*).

Skaičius žodyje, esantis po raidės, parodo numerį arba skaitinę vertę, jo reikšmės gali labai skirtis. Jis gali reikšti eilutės numerį, kai yra po raidės N (sveikasis skaičius); kodo numerį – po raidžių G arba M (sveikasis skaičius); įrankio numerį – po raidės T (sveikasis skaičius); kompensacijų registro numerį – po raidės H (sveikasis skaičius); pastumą, mm/min arba mm/sūk. – po raidės F (nebūtinai sveikasis skaičius); suklio sūkių, sūk./min arba pjovimo greitį – po raidės S (dažniausiai sveikasis skaičius) ir pan.

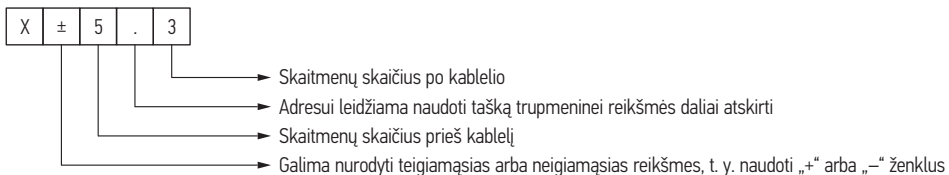


3.1 pav. Programos eilutė: N05 – eilutės (bloko) numeris; G90 – G kodas (specialus žodis), kuris reiškia, kad visos po jo esančios koordinatės yra absoliučiosios; G00 – G kodas, kuris reiškia įrankio greitojo pozicionavimo režimą; X15.3, Y8.5 – taško, į kurį įrankiui nurodoma atvykti, X ir Y absoliučiosios koordinatės; M08 – M kodas (specialus žodis), kuris įjungia tepimo ir aušinimo skysčio siurbį

3.1 pav. parodyta programos eilutė, kuri duoda įrankiui komandą pagreitintai atvykti į reikiamą poziciją.

Valdymo sistema tuo pačiu metu vykdo tik vieną eilutę ir niekada nevykdo jos dalimis, todėl žodžių išdėstymo tvarka eilutėje paprastai neturi reikšmės.

Reikia paminėti, kad skaitmenų skaičius žodyje gali būti skirtingas, priklausomai nuo valdymo sistemos gamintojo. Skirtingas gali būti ir skaitmenų skaičius po kablelio. Tai daugiausia susiję su koordinacių reikšmių pateikimu. Gamintojai dažnai nurodo kreipinių formatą tokia sutrumpinta forma:



Jeigu nenurodytas kablelis (tiksliau, trupmeninei skaičiaus daliai atskirti valdymo programose naudojamas *taškas*, o ne kablelis), tai valdymo sistema supranta skaičių kaip sveikąjį arba kaip mažiausių dydžio matavimo vienetų skaičių, priklausomai nuo sistemos nustatymų. Tokiu būdu įvestas žodis X20 gali būti sistemos interpretuotas kaip X koordinatė 20 mm, arba X koordinatė 20 μm (X0,020), jeigu sistema leidžia tris skaičius po kablelio koordinatėms programuoti. Todėl jeigu žodyje galima naudoti trupmeninius skaičius, geriausia nurodyti tašką, net jeigu įvedamas skaičius yra sveikasis, pavyzdžiui, vietoje X20 geriau įvesti X20.0 arba tiesiog X20., taip bus išvengta klaidų. Jeigu prieš skaičių nenurodomas pliuso ženklas, tai suprantama kaip teigiamoji reikšmė pagal nustatytuosius parametrus.

Galima pateikti daugiau valdymo sistemų gamintojų vartojamų santrumpų pavyzdžių:

G2 Du skaitmenys daugiausia, negalima naudoti kablelio ir kitų simbolių.

N5 Penki skaitmenys daugiausia, negalima naudoti kablelio ir kitų simbolių.

F3.2 Penki skaitmenys pastūmai nurodyti (trys prieš kabelį, du – po), taškas leidžiamas, kiti simboliai – ne.

Toliau pateikiami pagrindiniai šiuolaikinėse CNC sistemose (naudojančiose G&M kodus) naudojami adresai – kreipiniai. Jie pateikti 3.1 lentelėje. Frezavimo ir tekinimo staklėms jie šiek tiek kitokie, tačiau daug yra vienodų.

3.1 lentelė. Adresai, naudojami frezavimo ir tekinimo staklių programose

Frezavimo staklės		Tekinimo staklės	
Adresas	Aprašas	Adresas	Aprašas
A	Sukimosi ašies (apie X ašį) kampinės koordinatės adresas	A	Sriegimo peilio viršūnės kampo adresas sriegimo cikle, kampo reikšmei tiesiogiai nurodyti
B	Sukimosi ašies (apie Y ašį) kampinės koordinatės adresas	–	–
C	Adresas nuožulnos dydžiui tiesiogiai nurodyti	C	Sukimosi ašies (apie Z ašį) kampinės koordinatės adresas (tekinimo staklėse turi būti ši funkcija), taip pat adresas nuožulnos dydžiui tiesiogiai nurodyti
D	Kreipimasis į nurodytą po adreso D įrankio skersmens kompensacijų lentelės eilutės, kurioje saugomas įrankio (frezos) skersmuo (spindulys), numerį	D	Peilio atitraukimo dydis arba peilio eigos pjovimo gylis vidiniuose cikluose, pirmos eigos gylis sriegimo cikle
E	Nurodo kontūro frezavimo tikslumą – didžiausią kampų suapvalinimo spindulio reikšmę	E	Pastūma sriegimo cikluose
F	Pastūma (vnt./sūk.) arba (vnt./min), priklausomai nuo pasirinkto režimo	F	Pastūma (vnt./sūk.) arba (vnt./min), priklausomai nuo pasirinkto režimo
G	G kodai (paruošimo komandos)	G	G kodai (paruošimo komandos)
H	Kreipimasis į nurodytą po adreso H ilgių kompensacijų lentelės eilutės, kurioje saugoma įrankio ilgio kompensacijos reikšmė, numerį	–	–
I	Naudojamas programuojant apskritiminį įrankio judesį, jo trajektorijos centrui pagal X ašį apibrėžti. Taip pat dažnai naudojamas vidiniuose staklių cikluose poslinkiams apibrėžti dažniausiai pagal X ašį, kitiems vidinių ciklų parametrams nurodyti	I	Naudojamas programuojant apskritiminį įrankio judesį, jo trajektorijos centrui pagal X ašį apibrėžti. Taip pat dažnai naudojamas vidiniuose staklių cikluose poslinkiams, kūgiškumui ir apdirbimo užlaidoms apibrėžti pagal X ašį

3.1 lentelės tęsinys

Frezavimo staklės		Tekinimo staklės	
Adresas	Aprašas	Adresas	Aprašas
J	Naudojamas programuojant apskritiminį įrankio judesį, jo trajektorijos centrui pagal Y ašį apibrėžti. Taip pat dažnai naudojamas vidiniuose staklių cikluose poslinkiams apibrėžti dažniausiai pagal Y ašį, kitiems vidinių ciklų parametrms nurodyti	J	Naudojamas kai kuriuose vidiniuose cikluose
K	Naudojamas programuojant apskritiminį įrankio judesį, jo trajektorijos centrui pagal Z ašį apibrėžti. Taip pat kai kada naudojamas vidiniuose kai kurių staklių cikluose poslinkiams apibrėžti dažniausiai pagal Z ašį, kitiems vidinių ciklų parametrms nurodyti	K	Naudojamas programuojant apskritiminį įrankio judesį, jo trajektorijos centrui pagal Z ašį apibrėžti. Taip pat dažnai naudojamas vidiniuose staklių cikluose poslinkiams, kūgiškumui ir apdirbimo užlaidoms apibrėžti pagal Z ašį, sriegio profilio aukščiui nurodyti sriegimo cikluose
L	Naudojamas ciklų ir paprogramių atlikimų skaičiui nurodyti	L	Naudojamas ciklų ir paprogramių atlikimų skaičiui nurodyti
M	M kodai (staklių funkcijos)	M	M kodai (staklių funkcijos)
N	Programos eilutės numerio adresas	N	Programos eilutės numerio adresas
O	Programos pavadinimo adresas (keturi arba penki skaičiai po jo – programos vardui)	O	Programos pavadinimo adresas (keturi arba penki skaičiai po jo – programos vardui)
P	Adresas naudojamas paprogramės numeriui programoje nurodyti iškviečiant ją iš programos, pauzės trukmei programuoti (taip pat ir vidinių ciklų), mastelio koeficientui programuoti, koordinatų pradžios numeriui programuoti, kompensacijų reikšmėms iš programos perduoti, be to, naudojamas kreipimuisi į programos eilutę, nuo kurios tęsti toliau programos vykdymą	P	Adresas naudojamas paprogramės numeriui programoje nurodyti iškviečiant ją iš programos, pauzės trukmei programuoti (taip pat ir vidinių ciklų), kompensacijų reikšmėms iš programos perduoti, be to, naudojamas kreipimuisi į programos eilutę, nuo kurios tęsti toliau programos vykdymą, arba pirmos eilutės, kurioje nurodoma kontūro geometrija, numeriui nurodyti (vidiniuose cikluose)

3.1 lentelės pabaiga

Frezavimo staklės		Tekinimo staklės	
Adresas	Aprašas	Adresas	Aprašas
Q	Poslinkių pagal staklių koordinačių ašis prieaugiui nurodyti staklių vidiniuose cikluose, grąžto pertraukiamos eigos dydžiui nurodyti staklių gręžimo ir kapojimo cikluose	Q	Paskutinės eilutės, kurioje nurodoma kontūro geometrija, numeriui nurodyti (vidiniuose cikluose), sriegio vijos pradžios kampui nurodyti kai kurių staklių sriegimo cikluose, grąžto pertraukiamos eigos dydžiui nurodyti gręžimo ir kapojimo cikluose
R	Naudojamas programuojant apskritiminį įrankio judesį, jo spinduliui programuoti, taip pat naudojamas vidiniuose staklių cikluose įrankio atitraukimo pozicijai nurodyti ir posūkio kampui nurodyti koordinačių ašių pasukimo režimu	R	Naudojamas programuojant apskritiminį įrankio judesį, jo spinduliui programuoti, tai pat naudojamas kai kurių staklių vidiniuose cikluose įrankio atitraukimo pozicijai bei spinduliui nurodyti
S	Suklio sūkiams programuoti	S	Suklio sūkiams arba pjovimo greičiui programuoti priklausomai nuo pasirinkto režimo
T	Įrankio numeriui nurodyti	T	Įrankio numeriui nurodyti
U	–	U	Prieaugio X ašies koordinatei nurodyti, užlaidai X ašies kryptimi nurodyti vidiniuose cikluose, pauzės trukmei užprogramuoti kai kuriuose staklių modeliuose
W	–	W	Prieaugio Z ašies koordinatei nurodyti, užlaidai Z ašies kryptimi nurodyti vidiniuose cikluose
X	Įrankio trajektorijos taško X koordinatei nurodyti	X	Įrankio trajektorijos taško absoliučiajai X koordinatei nurodyti, pauzės trukmei užprogramuoti kai kuriuose staklių modeliuose
Y	Įrankio trajektorijos taško Y koordinatei nurodyti	Y	Įrankio trajektorijos taško Y koordinatei nurodyti (jeigu galima)
Z	Įrankio trajektorijos taško Z koordinatei nurodyti	Z	Įrankio trajektorijos taško absoliučiajai Z koordinatei nurodyti

Pastabos:

1. Lentelėje pateikti adresai, naudojami firmų „HAAS“, „Fanuc“ ir panašiose valdymo sistemose, neskirstant modeliais.
2. Lentelėje nenurodyti adresai, kurie naudojami papildomais CNC staklių įrenginiais (pavyzdžiui, strypo tiekimo įtaisais, palečių keitiklis ir pan.). Jie bus apžvelgti atskirai 10 sk.

Kaip matyti iš 3.1 lentelės, kai kurie adresai (kreipiniai) turi skirtingą prasmę tekinimo ir frezavimo staklėse. Situaciją gelbsti tai, kad daugelis iš šių adresų programuojant naudojami gana retai. Kaip dažnai būna programavimo praktikoje, vieną ir tą patį uždavinį galima išspręsti daugiau arba mažiau efektyviai, t. y. parašyti trumpesnę arba ilgesnę programą. Pavyzdžiui, gręžiant skylių masyvą programoje paprogrames galima naudoti arba ne. Programuoti apskritiminius įrankių judesius šiuolaikiniams įrengimams taip pat galima naudojant skirtingus adresus. Todėl rengiant valdymo programas pakanka žinoti pagrindinius adresus, be kurių neįmanoma apsieiti, o kiti yra papildomi. Tačiau reikia žinoti, kad kuo didesnė programuotojo „žodžių atsarga“ ir tobulesni įgūdžiai, tuo greičiau rengiamos programos, tuo jos yra lankstesnės, taip pat didesnis programuotojo arba operatoriaus-programuotojo darbo našumas.

3.2 lentelėje pateikti būdingi simboliai, kurie naudojami firmos „HAAS“ (JAV) programinio valdymo įrenginiuose.

3.2 lentelė. Simboliai, naudojami programinių įrengimų valdymo programose

Simbolis	Pavadinimas	Aprašas
.	Dešimtainės trupmenos taškas	Atskirti trupmeninę skaičiaus dalį
+	Pliuso ženklas	Nurodyti, kad reikšmė yra teigiamoji, arba pridėti reikšmę makroprogramose
-	Minuso ženklas	Nurodyti, kad reikšmė yra neigiamoji, arba atimti reikšmę makroprogramose
*	Daugybos ženklas	Dauginti reikšmes makroprogramose
/	Įžambusis brūkšnyš arba dalybos ženklas	Atskirti eilutes, kurių valdymo sistema neturi vykdyti, kai eilučių praleidimo režimas yra aktyvus. Dalybos operacija makroprogramose
()	Lenktiniai skliaustai	Programų komentarams, pranešimams ir informacijai užrašyti. Valdymo sistema neskaito programos fragmentų, esančių lenktiniuose skliaustuose, ir nevykdo jų
%	Procento ženklas	Programos failo pradžia ir pabaiga
,	Kablelis	Naudojamas tik su komentarais (kai kada gali būti naudojamas ir programoje nurodant nuožulnos arba spindulio dydį)
[]	Laužtiniai skliaustai	Argumentai makroprogramose
;	Kabliataškis	Eilutės pabaigos simbolis (<i>End-of-block</i> , <i>EOB</i>). Atskiria vieną programos eilutę nuo kitos eilutės (naudojamas rengiant programas operatoriaus valdymo pultu)
#	Grotelės	Kintamieji makroprogramose
=	Lygybės ženklas	Lygybė makroprogramose

Vienas iš labiausiai paplitusių simbolių programose yra minuso ženklas. Jau žinome, kad programuojant koordinačių erdvėje (nurodant programoje įrankių trajektorijos koordinates), koordinatės gali būti teigiamos arba neigiamos. Programos rengimo patogumui visuose programinio valdymo įrenginiuose galima nenaudoti pliuso ženklo teigiamosioms reikšmėms nurodyti (nurodžius pliuso ženklą klaidos nebus). Taigi jeigu ženklas nenurodytas, reikšmė laikoma *teigiamąja*, pavyzdžiui, programoje galima nurodyti:

$X+25.8$ arba $X25.8$.

Abu šie užrašai yra teisingi ir programinio valdymo sistema bus traktuojami vienodai – užprogramuoto taško X koordinatė yra *plius* 25,8.

Kitaip yra su neigiamosiomis reikšmėmis. Minuso ženklas būtina turi būti nurodomas, kitaip įrenginys supras reikšmę kaip teigiamąją, tai yra:

$X-25.8$ nėra tas pats kaip $X25.8$.

Kitas dažniausiai naudojamas ženklas yra dešimtainės trupmenos taškas. Naudoti vietoje jo kablelio negalima, teisingas iš dviejų yra pirmasis užrašymas:

Y15.6 (teisingai),

Y15,6 (neteisingai).

Komentarai gali būti įvairiose programos vietose, tik su sąlyga, kad jie bus pateikti lenktiniuose skliaustuose. Kai jau buvo minėta, programinio valdymo įrenginys tiesiog jų nevykdo. Komentarai gali būti užrašyti ir didžiosiomis, ir mažosiomis raidėmis. Dažniausiai tai yra informacija, reikalinga tik programuotojui ir operatoriui, kuris peržiūri programą prieš ją paleisdamas. Dažnai programuotojas programos pradžioje sudaro programos antraštę, panašią į pateiktą toliau (joje turi būti vartojamos tik *lotyniškos abėcėlės* raidės):

052648

(Programą sudarė Vardas Pavardė);

(Programa paskutinį kartą redaguota 2008-07-03 15:00);

(Staklės: HAAS VF-1);

(Vienetai: mm);

(Ruošinio medžiaga: plienas);

(Ruošinio matmenys: 50X20X40);

(Detalės nulis X0, Y0 – kairysis labiausiai nutolęs kampas, Z0 – viršutinė plokštuma);

(ir kita naudinga informacija, po kurios prasideda programos eilutės);

Atidaręs programą ir perskaitęs komentarus, operatorius lengviau suderins stakles arba redaguos programą. Komentarai gali eiti ir po programos eilučių. Pavyzdžiui, labai dažnai komentaras įterpiamas po įrankio kvietimo komandos. Taip operatorius sužinos, kokį įrankį dėti į įrankių dėtuvės lizdą Nr. 1.

T01 M06 (Pirštinė freza, skersmuo – 6 mm, iškišimas iš laikiklio – ne mažiau kaip 45 mm);

Čia reiktų dar kartą paminėti, kad programos eilutės ilgis dažniausiai yra ribojamas, todėl komentaras turi būti labai lakoniškas.

3.2. G kodai

3.2.1. Bendrosios žinios

Staklių valdymo programos žodžiai, prasidedantys adresu (kreipiniu) G, vadinamos *paruošimo* komandomis arba tiesiog *G kodais*. Po raidės G eina tam tikri nustatyti dviejų arba trijų skaičių deriniai. Šios komandos turi vieną tikslą – paruošti valdymo sistemą tam tikram komandų vykdymo režimui arba pakeisti aktyvų režimą. Režimai, kurie įjungiami arba keičiami G kodais, yra tiesiogiai arba netiesiogiai susiję su ašių poslinkiais. Pavyzdžiui, kodas G00 nustato greitojo įrankio pozicionavimo režimą, kodas G81 nustato frezavimo staklių gręžimo vidinio ciklo režimą. Kodai G20 ir G21 tiesiogiai nesusiję su poslinkiais, jie tik nurodo programinio valdymo sistemai, kad koordinatės programoje nurodomos coliais arba milimetrais. Galima teigti, kad G kodas nurodo valdymo sistemai suprasti po jo esančias komandas specifiskai, būdingai tik šiam G kodui. G kodų veikimą galima paaiškinti tokiu pavyzdžiu. Pavyzdžiui, reikia, kad įrankis (grąžto ašis) atsidurtų taške, kurio koordinatės yra X50 Y50 detalės koordinatinių sistemoje, Tam programoje galima užrašyti tokią eilutę:

N01 X50.0 Y50.0;

Vykdamas šią eilutę staklių valdymo sistemai kils daug neaiškumų. Ji pavyzdžiui, nesupras, absoliučiosios tai koordinatės ar prieaugiai, kokioje koordinatinių sistemoje (staklių ar detalės, taip pat kurioje iš galimų detalės koordinatinių sistemų) nurodytos koordinatės, pagreitintai ar pastūmos greičiu vykdyti judesį, colinėje ar metrinėje sistemoje nurodytos koordinatės. Taigi akivaizdu, kad eilutėje pateikta informacija yra nepakankama, norint įvykdyti poslinkį į tašką X50 Y50. Aiški yra tokia eilutė:

N01 G21 G90 G54 G00 X50.0 Y50.0;

Tokioje eilutėje nurodyta, kad vienetai yra milimetrai (metrinė sistema pasirenkama kodu G21), pasirinktas absoliučiuųjų koordinatinių režimas (G90) ir detalės koordinatinių sistema (G54), nurodyta, kad poslinkis bus įvykdytas didžiausiu įmanomu greičiu greitojo pozicionavimo režimas G00).

G kodų yra pakankamai daug. Dauguma jų yra vienodi įvairių gamintojų valdymo sistemoms (pavyzdžiui, greitojo pozicionavimo, tiesinės, apskritiminės interpoliacijos, absoliučiuųjų koordinatinių ir prieaugių režimas ir pan.). Tačiau, kai kurie gali skirtis (pavyzdžiui, koordinatinių sistemos pasukimo, mastelio, papildomų koordinatinių sistemų, kai kurie vidiniai ciklai). Kai kurie G kodai gali būti nenaudojami tam tikrame staklių modelyje priklausomai nuo modifikacijos arba įrangos. Be to, įsigijus papildo-

mą staklių įrangą (pavyzdžiui, strypo tiekimo įrenginį tekinimo staklėms), jos valdymo kodai gali būti labai specifiniai, daugiau priklausantys nuo gamintojo. Todėl šioje vietoje galima pateikti tokią taisyklę:

► **Programuotojau, prieš rengdamas programą naujoms arba nežinomoms staklėms, būtinai peržiūrėk staklių operatoriaus vadovą**

Be to, G kodai, naudojami tekinimo ir frezavimo staklėse, be abejo, skiriasi, nors yra ir daug bendrų. Susipažinsime su jais.

3.2.2. G kodai, naudojami tekinimo ir frezavimo staklėse bei apdirbimo centruose

G kodai, naudojami šiuolaikiniuose „HAAS“ firmos (JAV) tekinimo ir frezavimo staklėse bei apdirbimo centruose, pateikti 3.3 lentelėje. Panašūs kodai naudojami staklėse su firmos „Fanuc“ (Japonija) arba panašiomis valdymo sistemomis. Kai kurie kodai gali netikti konkrečioms staklėms, todėl prieš naudojant juos programose, reikia sutikrinti su pateiktais staklių operatoriaus vadove. Kai kurie kodai gali būti panaudoti staklių valdymo programose tik tuo atveju, jeigu staklės yra užsakytos su papildomomis parinktimis. 3.3 lentelėje pateikti kodai sugrupuoti pagal staklių tipus (tekinimo ar frezavimo), kad būtų galima palyginti jų funkcijas šiuose įrengimuose.

3.3 lentelė. G kodai, naudojami „HAAS“ firmos (JAV) tekinimo ir frezavimo staklių bei apdirbimo centrų valdymo programose

Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai		Tekinimo staklės	
G kodas	Aprašas	G kodas	Aprašas
G00	Greitojo pozicionavimo judesys	G00	Greitojo pozicionavimo judesys
G01	Tiesinės interpoliacijos judesys	G01	Tiesinės interpoliacijos judesys
G02	Apskritiminės interpoliacijos judesys pagal laikrodžio rodyklę	G02	Apskritiminės interpoliacijos judesys pagal laikrodžio rodyklę
G03	Apskritiminės interpoliacijos judesys prieš laikrodžio rodyklę	G03	Apskritiminės interpoliacijos judesys prieš laikrodžio rodyklę
G04	Uždelsimas (pauzė)	G04	Uždelsimas (pauzė)
		G05	Suklio tikslios apskritiminės pastūmos režimas staklėms su valdoma C ašimi
G09	Tiksliojo sustabdymo pagal ašis režimas (nemodalinis)	G09	Tiksliojo sustabdymo pagal ašis režimas (nemodalinis)
G10	Kompensacijų nustatymas valdymo programa	G10	Kompensacijų nustatymas valdymo programa

3.3 lentelės tęsinys

Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai		Tekinimo staklės	
G kodas	Aprašas	G kodas	Aprašas
G12	Apvalių kišenių frezavimo pagal laikrodžio rodyklę ciklas		
G13	Apvalių kišenių frezavimo prieš laikrodžio rodyklę ciklas		
		G14	Pagalbinio suklio režimas
		G15	Pagalbinio suklio režimo atšaukimas
G17	Plokštumos XY pasirinkimas	G17	Plokštumos XY pasirinkimas
G18	Plokštumos XZ pasirinkimas	G18	Plokštumos ZX pasirinkimas
G19	Plokštumos YZ pasirinkimas	G19	Plokštumos YZ pasirinkimas
G20	Anglišių vienetų režimas (coliai)	G20	Anglišių vienetų režimas (coliai)
G21	Metrinų vienetų režimas (mm)	G21	Metrinų vienetų režimas (mm)
G28	Gražinti staklių įrankio ir ruošinio junginius į staklių nulį	G28	Gražinti revolverinę galvutę į staklių nulį
G29	Grižti iš staklių nulio	G29	Grižti iš staklių nulio
G31	Praleidimo funkcija	G31	Praleidimo funkcija
		G32	Sriegimo tekinimo peiliu režimas
G35	Automatinis įrankio skersmens matavimas		
G36	Automatinis detalės koordinačių sistemos pradžios nustatymas		
G37	Automatinis įrankių ilgio kompensacijų nustatymas		
G40	Atšaukti frezos spindulio (skersmens) kompensavimo režimą	G40	Atšaukti peilio viršūnės suapvalinimo spindulio kompensavimo režimą
G41	Taikyti frezos spindulio (skersmens) kompensaciją kairėje nuo užprogramuotos trajektorijos	G41	Taikyti peilio viršūnės spindulio kompensaciją kairėje nuo užprogramuotos trajektorijos
G42	Taikyti frezos spindulio (skersmens) kompensaciją dešinėje nuo užprogramuotos trajektorijos	G42	Taikyti peilio viršūnės spindulio kompensaciją dešinėje nuo užprogramuotos trajektorijos
G43	Taikyti įrankio ilgio kompensaciją – teigiamąjį dydį		

3.3 lentelės tęsinys

Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai		Tekinimo staklės	
G kodas	Aprašas	G kodas	Aprašas
G44	Taikyti įrankio ilgio kompensaciją – neigiamąjį dydį		
G47	Teksto graviravimo režimas		
G49	Atšaukti įrankio ilgio kompensaciją		
G50	Mastelio funkcijos atšaukimas	G50	Įrankio pozicijos registracija/ Suklio sūkių apribojimo režimas
G51	Mastelio funkcija		
G52	Lokalinė koordinacijų sistema	G52	Lokalinė koordinacijų sistema
G53	Pereiti į staklių koordinacijų sistemą	G53	Pereiti į staklių koordinacijų sistemą
G54	Detalės koordinacijų sistemos Nr. 1 pradžia	G54	Detalės koordinacijų sistemos Nr. 1 pradžia
G55	Detalės koordinacijų sistemos Nr. 2 pradžia	G55	Detalės koordinacijų sistemos Nr. 2 pradžia
G56	Detalės koordinacijų sistemos Nr. 3 pradžia	G56	Detalės koordinacijų sistemos Nr. 3 pradžia
G57	Detalės koordinacijų sistemos Nr. 4 pradžia	G57	Detalės koordinacijų sistemos Nr. 4 pradžia
G58	Detalės koordinacijų sistemos Nr. 5 pradžia	G58	Detalės koordinacijų sistemos Nr. 5 pradžia
G59	Detalės koordinacijų sistemos Nr. 6 pradžia	G59	Detalės koordinacijų sistemos Nr. 6 pradžia
G60	Pozicionavimas viena ašies kryptimi		
G61	Tikslojo sustabdymo pagal ašis režimas (modalinis)	G61	Tikslojo sustabdymo pagal ašis režimas (modalinis)
G64	Tikslojo sustabdymo pagal ašis režimo G61 atšaukimas	G64	Tikslojo sustabdymo pagal ašis režimo G61 atšaukimas
G65	Makroprogramos iškvietimas	G65	Makroprogramos iškvietimas
G68	Koordinacijų plokštumos pasukimo režimas		
G69	Koordinacijų plokštumos pasukimo režimo atšaukimas		

3.3 lentelės tęsinys

Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai		Tekinimo staklės	
G kodas	Aprašas	G kodas	Aprašas
G70	Apskritimu išdėstytų skylių apdirbimo režimas	G70	Glotniojo fasoninio tekimo vidinis ciklas
G71	Apskritimo lanku išdėstytų skylių apdirbimo režimas	G71	Rupiojo fasoninio tekimo Z ašies kryptimi vidinis ciklas
G72	Linijoje išdėstytų skylių apdirbimo režimas	G72	Rupiojo fasoninio tekimo X ašies kryptimi vidinis ciklas
G73	Didelio našumo gręžimo ir kapojimo vidinis ciklas	G73	Rupiojo kopijuojamojo fasoninio tekimo X ir Z ašių kryptimi vidinis ciklas
G74	Kairinio sriegio sriegimo ciklas	G74	Griovelių galiniame paviršiuje/ gręžimo ir kapojimo vidinis ciklas
		G75	Griovelių išoriniame/vidiniame cilindriniam paviršiuje tekimo vidinis ciklas
G76	Glotniojo ištekimo ciklas	G76	Sriegimo peiliu vidinis ciklas
G77	Atbulinio ištekimo ciklas	G77	Nuopjovų frezavimo ciklas staklėmis su įrankių pavara
G80	Vidinio ciklo režimo atšaukimas	G80	Vidinio ciklo režimo atšaukimas
G81	Paprastas vidinis gręžimo ciklas	G81	Vidinis ašinių skylių gręžimo ciklas
G82	Vidinis gręžimo su pauze ciklas	G82	Vidinis ašinių skylių gręžimo su pauze ciklas
G83	Vidinis gręžimo ir kapojimo ciklas	G83	Vidinis gręžimo ir kapojimo ciklas
G84	Dešiniojo sriegio sriegimo ciklas	G84	Dešiniojo sriegio sriegimo sriegikliu ciklas (ašinės skylės)
G85	Vidinis ištekimo su atbuline pastūma ciklas	G85	Vidinis ištekimo su atbuline pastūma ciklas
G86	Vidinis ištekimo be atbulinės pastūmos ciklas	G86	Vidinis ištekimo be atbulinės pastūmos ciklas
G87	Vidinis ištekimo ir rankinio įrankio ištraukimo ciklas	G87	Vidinis ištekimo ir rankinio įrankio ištraukimo ciklas
G88	Vidinis ištekimo ir rankinio įrankio ištraukimo ciklas su pauze	G88	Vidinis ištekimo ir rankinio įrankio ištraukimo ciklas su pauze
G89	Vidinis ištekimo su atbuline pastūma ciklas su pauze	G89	Vidinis ištekimo su atbuline pastūma ir pauze ciklas

3.3 lentelės tęsinys

Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai		Tekinimo staklės	
G kodas	Aprašas	G kodas	Aprašas
G90	Absoliučiąjį koordinacijų režimas	G90	Išilginio tekinimo /ištekinimo ciklas
G91	Prieaugio koordinacijų režimas		
G92	Įrankio pozicijos registracija	G92	Pagrindinis sriegimo peiliu ciklas
G93	Pastūma programuojama įrankio eigomis/min		
G94	Pastūma programuojama vienetais/min	G94	Galo tekinimo ciklas
G95	Pastūma programuojama vienetais/sūk.	G95	Vidinis dešinio sriegio sriegimo sriegikliu Z ašies kryptimi ciklas staklėms su įrankių pavara
		G96	Pastovaus pjovimo greičio režimas
		G97	Pastovaus pjovimo greičio režimo atšaukimas
G98	Grįžti į pradinę Z poziciją atlikus vidinį ciklą	G98	Pastūma programuojama vienetais/min
G99	Grįžti į atitraukimo R poziciją atlikus vidinį ciklą	G99	Pastūma programuojama vienetais/sūk.
G100	Atšaukti veidrodinio koordinacijų atspindėjimo režimą	G100	Atšaukti veidrodinio koordinacijų atspindėjimo režimą
G101	Įjungti veidrodinio koordinacijų atspindėjimo režimą	G101	Įjungti veidrodinio koordinacijų atspindėjimo režimą
G102	Išvesti einamąsias įrankio koordinatas per RS-232 valdymo sistemos prievadą	G102	Išvesti einamąsias įrankio koordinatas per RS-232 valdymo sistemos prievadą
G103	Programuojama, kiek valdymo programos eilučių sistema turi apdoroti į priekį	G103	Programuojama, kiek valdymo programos eilučių sistema turi apdoroti į priekį
		G105	Strypo tiekimo įrenginio režimas
G107	Cilindrinį koordinacijų režimas		
		G110	Papildomos detalės koordinacijų sistemos Nr. 7 pradžia
G110–G129	Papildomų detalės koordinacijų sistemų (Nr. 7–26) pradžios	G111	Papildomos detalės koordinacijų sistemos Nr. 8 pradžia

3.3 lentelės tęsinys

Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai		Tekinimo staklės	
G kodas	Aprašas	G kodas	Aprašas
		G112	Dekarto XY koordinačių transformavimo į polines XC režimas staklėse su įrankių pavara ir valdomąja C ašimi
		G113	Atšaukti Dekarto XY koordinačių transformavimo į polines XC koordinates režimą
		G114–G129	Papildomų detalės koordinačių sistemų (Nr. 9–24) pradžios
G136	Automatinis detalės koordinačių sistemos pradžios nustatymas		
G141	Erdvinė įrankio matmens kompensacija		
G143	Įrankio ilgio kompensacija penkių ašių apdirbimo centruose		
G150	Kišenių frezavimo ciklas		
G153	Penkių ašių didelio našumo gręžimo ir kapojimo vidinis ciklas		
G154	Papildomų detalės koordinačių sistemų P1–P99 pradžios	G154	Papildomų detalės koordinačių sistemų P1–P99 pradžios
G155	Penkių ašių kairinių sriegių sriegimo vidinis ciklas		
		G159–G161	Detalių keitimo manipulatoriaus valdymo kodai (SL-20APL modelis)
G161	Penkių ašių gręžimo vidinis ciklas		
G162	Penkių ašių gręžimo su pauze vidinis ciklas		
G163	Penkių ašių gręžimo ir kapojimo vidinis ciklas		
G164	Penkių ašių dešinių sriegių sriegimo vidinis ciklas		
G165	Penkių ašių skylių ištekimo vidinis ciklas		

3.3 lentelės pabaiga

Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai		Tekinimo staklės	
G kodas	Aprašas	G kodas	Aprašas
G166	Penkių ašių skylių ištekimo vidinis ciklas		
G169	Penkių ašių skylių ištekimo vidinis ciklas su pauze		
G174	Penkių ašių „kieto“ kairinių sriegių sriegimo vidinis ciklas		
G184	Penkių ašių „kieto“ dešinių sriegių sriegimo vidinis ciklas	G184	Kairinio sriegio sriegimo sriegikliu ciklas (ašinės skylės)
		G186	Kairinio sriegio sriegimo sriegikliu Z ašies kryptimi vidinis ciklas staklėms su įrankių pavara
G187	Nustato apdirbimo tikslumą ir didžiausią kampų suapvalinimo spindulį	G187	Nustato apdirbimo tikslumą ir didžiausią kampų suapvalinimo spindulį
		G195	Radialinių skylių dešinio sriegio sriegimo sriegikliu vidinis ciklas staklėms su įrankių pavara
		G196	Radialinių skylių kairinio sriegio sriegimo sriegikliu vidinis ciklas staklėms su įrankių pavara
G188	Iškviečia programą iš palečių lentelės		
		G200	Revolverinės galvutės pasukimo įrankio greitojo pozicionavimo judesio metu režimas

Pastabos:

1. Lentelėje nurodyti ir adresai, kurie naudojami papildomais „HAAS“ firmos (JAV) CNC staklių įrenginiais ir įtaisais (pavyzdžiui, strypo tiekimo įrenginys, palečių keitiklis ir pan.), jie bus apžvelgti atskirai 10 sk.
2. Lentelėje išskirti pagrindiniai G kodai, kurie (arba nebent dauguma iš jų) naudojami „GE Fanuc“ arba „Fanuc“ firmos ir panašiose valdymo sistemose.
3. Lentelėje taip pat pateikti G kodai, kurie šiuolaikinėse CNC sistemose praktiškai jau nenaudojami, tačiau gamintojai vis dėl to pasilieka juos naujesnėms ir senesnėms sistemoms suderinti.
4. Kai kurie lentelėje pateikti kodai gali negalioji staklėms, kurias perkant, nebuvo papildomai užsakyta tam tikra įranga (pavyzdžiui, G05 tekimo staklėms be valdomos C ašies). Be to, kai kurie kodai gali būti naudojami tik esant tam tikriems valdymo sistemos nustatymams.

Kaip matyti iš 3.3 lentelės, pagrindiniai G kodai yra tokie patys daugumoje sistemų. Tačiau yra ir skirtingų, dėl to neįmanoma įvairias sistemas suderinti. Kita vertus, kiekvienas gamintojas siūlo ir savo kodus, kuriuos taikant galima labai palengvinti programavimą, padidinti apdirbimo našumą, tikslumą ir pan. Skirtingose valdymo sistemose nevienodai traktuojami kai kurie kodai, būtina pateikti skirtingus papildomus adresus prie G kodų. Dėl to padidėja avarijos rizika. Tai ir yra pagrindinės priežastys, dėl kurių visada verta, prieš pradėdant darbą, su nauju CNC įrengimu atidžiai perskaityti operatoriaus vadovą.

Skirtingai nuo M kodų (apie kuriuos bus kalbama toliau) vienoje valdymo programos eilutėje gali būti užrašomi keli G kodai, jei tik jie logiškai nekonfliktuoja vienas su kitu. Pavyzdžiui, perrašysime dar kartą eilutę, pateiktą 3.2.1 skirsnyje:

```
N15 G21 G90 G54 G00 X50.0 Y50.0;
```

Šioje eilutėje vienas po kito užrašyti net 4 G kodai ir čia nėra klaidos. Ši eilutė gali būti užrašyta ir taip:

```
N15 G21;
N20 G90;
N25 G54;
N30 G00;
N35 X50.0 Y50.0;
```

Abu variantai yra teisingi, tačiau pirmuoju atveju programa yra trumpesnė. Be to, jei programa valdymo įrenginyje bus paleista pavienių eilučių režimu (*Single block*), kad įrenginys atliktų vieną eilutę, kiekvieną kartą reikės spausti mygtuką *Cycle start*. Todėl pirmasis variantas yra, be abejo, praktiškesnis, nes nereikės bent keturių mygtuko paspaudimų.

Užrašant vienoje eilutėje skirtingus G kodus, taip pat G kodus su kitais, reikalingais šiems kodams vykdyti, adresais, reikia žinoti keletą taisyklių. Dauguma šių programavimo taisyklių remiasi G kodų *modalumu* arba *nemodalumu*. Atskleisime šias sąvokas kitame skirsnyje.

3.2.3. Modaliniai ir nedomaliniai G kodai

Pateiksime du frezavimo staklių valdymo programų fragmentus:

```
N15 G90 G00 G54 X-10.0 Y-10.0;      N15 G90 G00 G54 X-10.0 Y-10.0;
N20 Z2.0;                          N20 G90 G00 G54 Z2.0;
N25 G01 Z-5.0 F175.0;              N25 G90 G01 G54 Z-5.0 F175.0;
N30 X0.0 Y0.0;                     N30 G90 G01 G54 X0.0 Y0.0 F175.0;
N35 X55.2;                          N35 G90 G01 G54 X55.2 F175.0;
```

Abu šie programos fragmentai yra visiškai identiškai ir staklėmis bus vykdomi vienodai. Pradžioje panagrinėsime pavyzdį, pateiktą dešinėje pusėje. Programos eilutėje N15 nustatomas absoliučiąjį koordinatų režimas (G90), greitojo pozicionavimo re-

žimas (G00), nustatoma detalės koordinačių sistema Nr. 1 (G54). Toliau šioje eilutėje nurodomos taško, į kurį įrankį reikia pagreitintai pastūmti, koordinatės $X-10 Y-10$ nuo pasirinktos kodu G54 detalės koordinačių sistemos pradžios. Taško koordinatės bus traktuojamos kaip absoliučiosios, nes nurodytas G90. Toliau iš šio taško įrankis pagreitintai juda Z ašies kryptimi į tašką $Z2$, kai kitos koordinatės nesikeičia. Įrankis judės į tą tašką didžiausiu galimu greičiu, nes nurodytas greitojo pozicionavimo režimas kodu G00, taško koordinatės yra absoliučiosios (G90), detalės koordinačių sistema Nr. 1 (G54). Eilutėje N25 įrankiui nurodyta pakeisti Z koordinatę iš $Z2$ į $Z-5$ toje pačioje detalės koordinačių sistemoje Nr. 1 (G54), koordinatės nurodytos absoliučiosios (G90), kitos koordinatės (tai yra X ir Y) lieka tos pačios. Judesys bus jau ne pagreittintas, o pagal tiesę (G01) jo greitis (pastūma), nurodytas adresu F, yra 175 mm/min. N30 eilutėje įrankio absoliučiosios (G90) koordinatės detalės koordinačių sistemoje Nr. 1 (G54) pakeičiamos nuo $X-10 Y-10$ iki $X0 Y0$. Z koordinatė lieka ta pati – $Z-5$. Judesys yra tiesinis (G01), tačiau ne vienos, o dviejų (tai yra X ir Y) ašių kryptimis vienu metu, pastūma ta pati – 175 mm/min. Paskutinėje programos fragmento eilutėje N35 įrankis judės 175 mm/min greičiu tiesiai (G01) X ašies kryptimi į tašką, kurio absoliučiosios (G90) koordinatės detalės koordinačių sistemoje Nr. 1 (G54) yra $X55,2$. Lygiai tie patys judesiai bus atlikti ir vykdant kairėje pateiktą programos fragmentą.

Koks skirtumas yra tarp šių dviejų programos pateikimo formų? Žiūrint į abu fragmentus galima matyti, kad G kodai G90, G00, G01 G54 ir F adresas kiekviename fragmente nurodyti skirtingai. Nepaisant to, kad šiais kodais nustatomi režimai reikalingi ir kitose eilutėse (pavyzdžiui, greitojo pozicionavimo režimas reikalingas judesiams, programuojamiems N15 ir N20 eilutėse, tiesinės interpoliacijos režimas reikalingas judesiams, užprogramuotiems eilutėse N25–N35, absoliučiąjų koordinačių režimas (G90) ir koordinačių sistema G54 reikalingi visiems fragmente programuojamiems judesiams), kairiajame fragmente judesio kodai G00 ir G01 nurodomi tik po vieną kartą – eilutėse N15 ir N25, o koordinačių režimo kodai G90 ir G54 – tik eilutėje N15. Dešiniajame fragmente režimai programuojami kiekvienoje eilutėje, tačiau tai nėra būtina. Taip yra dėl to, kad kodais G90, G00, G01, G54 (ir daugumos kitų G kodų) nustatyti režimai lieka aktyvūs nuo eilutės, kurioje jie nurodyti pirmą kartą vykdymo programoje ir jais nustatyti režimai galios programoje tol, kol nebus atšaukti atšaukimo kodais arba priešingais kodais (pavyzdžiui, absoliučiąjų koordinačių režimo kodas G90 gali būti atšauktas prieaugių režimo kodu G91, greitojo pozicionavimo režimas G00 gali būti atšauktas tiesinės (G01) arba apskritiminės (G02/G03) interpoliacijos kodais). Naujas režimas galios nuo eilutės, kurioje nurodytas atšaukimo arba pakeitimo kodas. Tokie G kodai yra vadinami *modaliniais*. Jų nereikia kartoti kiekvienoje programos eilutėje, kaip tai padaryta dešiniajame programos fragmente. Galima teigti, kad pagal kairįjį fragmentą parengta programa bus vykdoma taip, kaip parodyta dešiniajame fragmente. Modalinių kodų tikslas – išvengti nereikalingų kodų kartojimosi programoje. Tai nereiškia, kad dešinysis programos fragmentas yra nefunkcionalus. Jis veiks be klaidų, bet yra neracionaliai užrašytas, užrašymui sugaišta daugiau laiko.

Taigi, apibendrinant tai, kas pateikta, galima teigti, kad *modalinis kodas lieka aktyvus programoje tol, kol jo veikimas nebus atšauktas kitu kodu (priešingu arba atšaukimo)*.

Nemodaliniai G kodai lieka aktyvūs tik eilutėse, kuriose jie užrašyti. Norint nustatyti nemodalinio G kodo režimą kitoje eilutėje, reikia pakartoti jį iš naujo. Mes dar grįšime prie modalinių ir nemodalinių G kodų skirsnyje, kuriame bus kalbama apie G kodų grupes, ten galutinai suskirstysime juos į modalinius ir nemodalinius. Kokie kodai yra modaliniai ir nemodaliniai, taip pat visada paaiškinama staklių operatoriaus vadove.

Reikia pažymėti, kad modalumu pasižymi ne tik G kodai, bet ir M kodai bei kai kurie adresai (jų modalumas yra savotiškas ir šiek tiek skiriasi nuo G kodų). Pavyzdžiui, užprogramuota pastūma 175 mm/min (F175.0 eilutėje N25) galioja ne tik judesiu, užprogramuotam eilutėje N25, bet ir judesiams, užprogramuotiems eilutėse N30–N35, todėl nėra tikslo kartoti jos šiose eilutėse (jeigu tik nereikia pakeisti pastūmos dydžio).

3.2.4. Konfliktiniai ir nekonfliktiniai G kodai

Jau minėta, kad G kodai vienoje eilutėje turi būti išdėstyti taip, kad tarp jų nebūtų konflikto. Pavyzdžiui, staklėse įrankis negali vienu metu judėti greitojo pozicionavimo ir pastūmos judesio greičiu. Taip pat negalima atlikti judesio į tašką, kurio koordinatės nurodomos absoliučiąjį koordinačių ir prieaugių režimu. Pateiksime pavyzdį:

```
N30 G01 G00 X120.75 Y155.36 F150.0;
```

Iš šios eilutės matyti, kad kodai G01 (tiesinė interpoliacija pastūmos greičiu) ir G00 (greitasis pozicionavimas) prieštarauja vienas kitam. Tokiose ir panašiose konfliktinėse situacijose dažniausiai bus vykdomas tik *paskutinis* G kodas. Šiame pavyzdyje – kodas G00 (greitasis pozicionavimas), įrankis judės į tašką, kurio koordinatės X120,75 Y155,36, pagreitinant, o tiesinės interpoliacijos kodas G01 ir pastūmos (150 mm/min) adresas F bus ignoruojami. Jeigu sukeisime konfliktinius kodus, t. y.

```
N30 G00 G01 X120.75 Y155.36 F150.0;
```

kodas G00 valdymo įrenginiu bus ignoruotas ir įrankis judės į tašką, kurio koordinatės X120,75 Y155,36, pagal tiesę 150 mm/min pastūmos greičiu.

Paminėtina, kad abi pateiktos eilutės su konfliktiniais kodais, priklausomai nuo valdymo sistemos, gali būti ir visai nevykdomos, t. y. programa bus priverstinai sustabdyta ir pasirodys klaidos pranešimas. Tokiu būdu valdymo sistemų gamintojai apsaugo programuotoją nuo klaidos.

3.2.5. G kodų išdėstymas programos eilutėse

G kodai dažniausiai užrašomi eilutės pradžioje, kaip tai buvo matyti pateiktuose programų fragmentuose. Tokia tvarka yra logiškai pagrįsta pačiu G kodų apibrėžimu – tai paruošimo komandos, nurodančios valdymo sistemai dirbti tam tikrais režimais.

Pavyzdžiui, nurodyti, kokiose koordinatėse – absoliučiosiose ar prieaugio – bus atliekamas poslinkis, logiška prieš programuojant šį poslinkį, t. y. prieš nurodant taško koordinatas, o ne po užprogramuoto poslinkio. Šios tvarkos ir laikosi dauguma programuotojų arba operatorių-programuotojų, tačiau staklių programinio valdymo įrenginys nuskaito ir vykdo programą ne atskiromis komandomis, bet eilutėmis, todėl G kodų ir kitų žodžių išdėstymas eilutėje nėra svarbus ir tarp žemiau pateiktų eilučių iš tikrųjų visiškai nėra jokio skirtumo:

```
N1 G91 G01 X50.0 Y50.0 F80.0;
N1 G91 X50.0 Y50.0 F80.0 G01;
N1 X50.0 Y50.0 F80.0 G01 G91;
N1 X50.0 G91 Y50.0 F80.0 G01;
```

Visos šios eilutės bus perskaitytos ir vykdomos vienodai, bet čia gali būti viena išimtis. Kai kuriose „Fanuc“ firmos valdymo sistemose galima maišyti absoliučiąsias ir prieaugio koordinatas toje pačioje eilutėje. Todėl vykdant pirmą ir antrą pavyzdžio eilutę, koordinatės bus suprastos kaip prieaugio (G91), vykdant trečią eilutę – kaip absoliučiosios (aišku, jeigu prieš šią eilutę programoje buvo užrašytas kodas G90), o ketvirtą – kombinuotai, t. y. *X* kaip absoliučiąją (jeigu prieš šią eilutę programoje buvo užrašytas kodas G90), o *Y* – kaip prieaugio. Kitose valdymo sistemose (pavyzdžiui, „HAAS“ firmos) šito nėra.

Norint išvengti painiavos, vis dėlto rekomenduojama laikytis (ypač turint mažai programavimo patirties) taisyklės, pagal kurią režimus nustatančios komandos (t. y. G kodai) turi būti išdėstytos programos eilutės pradžioje, t. y. taip, kaip pirmoje eilutėje pateiktame pavyzdyje. Taip labai sumažinama klaidos atsiradimo tikimybė, be to, gerokai paprasčiau skaityti ir tikrinti valdymo programas.

3.2.6. G kodų grupavimas

Programavimo patogumui „HAAS“, „Fanuc“ ir kitų firmų valdymo sistemose G kodai grupuojami. Tai daroma norint išvengti kodų konfliktų. Taisyklės čia yra tokios:

1. Du arba daugiau tos pačios grupės G kodai, užrašyti toje pačioje eilutėje, konfliktuoja vienas su kitu.
2. Kiekvieno modalinio grupės G kodo veikimas programoje gali būti atšauktas kitu šios grupės modaliniu G kodu.

Kiekvienai G kodų grupei priskiriamas dviženklis numeris. Grupės paprastai numeruojamos numeriais pradėdant nuo 00. Grupių skaičius ir numeriai dažniausiai priklauso nuo valdymo sistemos, pasitaiko tokių naujų sistemų, kuriose grupių skaičius yra didesnis negu 25. Grupės, naudojamos „HAAS“ firmos ir panašiose valdymo sistemose, pateiktos 3.4 lentelėje.

3.4 lentelė. „HAAS“ firmos valdymo sistemose naudojamų G kodų grupės

Grupė	Aprašas	G kodai, priklausantys grupei	Staklių tipas
00	Nemodaliniai G kodai	G04 G09 G10 G05 G12 G13 G28 G29 G31 G35 G36 G37 G47 G50 G51 G52 G53 G60 G65 G70 G71 G72 G73 G74 G75 G76 G77 G92 G100 G101 G102 G103 G107 G136 G150 G174 G184 G188 G195 G196 G200 G187	Frez./Tek. Tek. Frez. Frez./Tek. Frez. Tek. Frez./Tek. Frez. Frez./Tek. Tek. Frez. Frez./Tek. Frez. Tek. Frez./Tek.
01	Judesio kodai	G00 G01 G02 G03 G32 G90 G92 G94	Frez./Tek. Tek.
02	Plokštumos pasirinkimas	G17 G18 G19	Frez.
03	Koordinacių režimas	G90 G91	Frez.
04	Koordinacių transformavimas	G112 G113	Tek.
05	Pastūma	G93 G94 G95	Frez.
06	Vienetai	G20 G21	Frez./Tek.
07	Įrankio spindulio kompensacijos	G40 G41 G42 G141	Frez./Tek. Frez.
08	Įrankio ilgio kompensacija	G43 G44 G49 G143	Frez.
09	Vidiniai modaliniai ciklai	G73 G74 G76 G77 G80 G81 G82 G83 G84 G85 G86 G87 G88 G89 G95 G184 G186 G153 G155 G161 G162 G163 G164 G165 G166 G169	Frez. Frez./Tek. Frez./Tek. Tek. Frez. Frez.
10	Atitraukimo/pastūmos režimas	G98 G99	Frez./Tek.
11	Mastelis	G50 G51	Frez.
12	Koordinacių sistema	G52 G54 G55 G56 G57 G58 G59 G110–G129 G154	Frez. Frez./Tek. Frez./Tek.

3.4 lentelės pabaiga

Grupė	Aprašas	G kodai, priklausantys grupei	Staklių tipas
13	Pastovaus pjovimo greičio funkcija	G96 G97	Tek.
15	Tikslus sustojimas pagal koordinačių ašis	G61 G64	Frez./Tek.
16	Koordinačių sistemos pasukimas	G68 G69	Frez.
17	Pagalbinis suklys	G14 G15	Tek.

Kaip matyti iš 3.4 lentelės, 00 grupės G kodai yra nmodaliniai, tai yra jie lieka aktyvūs tik toje eilutėje, kurioje užrašyti. Todėl jeigu reikia, kad šie kodai būtų aktyvūs keliose viena po kitos einančiose eilutėse, jie turi būti užrašomi kiekvienoje iš jų. Pavyzdžiui, reikia padaryti tris pauzes: 3000, 5000 ir 2000 ms trukmės. Programos fragmentas atrodys taip:

G04 P3000;
G04 P5000 (teisingai);
G04 P2000;

bet ne taip:

G04 P3000;
P5000 (neteisingai, kodas G04 nmodalinis, juo nustatytas režimas negalioja kitoms eilutėms);
P2000;

Reikia pripažinti, kad pateiktame pavyzdyje geriausiai būtų padaryti 10 000 ms (3000 + 5000 + 2000) trukmės pauzė:

G04 P10000;

Kiti G kodai yra modaliniai, t. y. kiekvieno G kodo nustatytas režimas lieka aktyvus tol, kol nebus pakeistas (arba atšauktas, jei grupėje yra atšaukimo kodas) kitu tos pačios grupės G kodu. Pavyzdžiui, 03 grupės kodas G91, užrašytas programoje, atšaukia absoliučią koordinačių režimą (t. y. kodo G90 veikimą) ir nuo eilutės su šiuo kodu visos koordinatės bus suprantamos kaip prieaugio tol, kol programoje nepasitaikys priešingas kodas G90 (absoliučiosios koordinatės). Nurodžius programoje 01 grupės kodą G00 į taškus, kurių koordinatės nurodomos toliau programoje, įrankis judės pagreitintai. Taip bus tol, kol programoje nepasitaikys kitas 01 grupės kodas, pavyzdžiui, G01 – tiesinė interpoliacija. Nuo eilutės su G01 į taškus, kurių koordinatės nurodomos toliau programoje, įrankis judės jau ne pagreitintai, o pagal tiesę pastūmos greičiu. Vidiniai modaliniai ciklai (09) gali būti pakeisti ne tik savo grupės kodais, bet ir 01 grupės judesio kodais G00/G01/G02/G03, ir atvirkščiai, 01 grupės kodų režimai gali būti pakeisti 09 grupės kodų režimais.

3.3. M kodai

3.3.1. Bendrosios žinios

Norint atlikti staklėmis technologinę apdirbimo operaciją, nepakanka suteikti įrankiui judesius pagal nustatytas koordinates. Detalei apdirbti reikia ir kitų staklių veiksmų, pavyzdžiui, įjungti TAS siurblių prieš pradėdant pastūmos judesį, paleisti sukli sukčius nustatyta kryptimi ir pan. Adresai arba kreipiniai M su dviženkliais (kai kuriose sistemose naudojami ir triženkliai M kodai) skaičiumi staklių programoje įjungia įvairias staklių funkcijas. Dažnai šie žodžiai dar vadinami *M kodais* arba *įvairiomis funkcijomis*. Jos reikalingos tam, kad staklės galėtų dirbti automatiškai režimu paleidus valdymo programą. Šias funkcijas galima suskirstyti į dvi grupes:

1. Programinio valdymo įrengimo (staklių) funkcijos.
2. Valdymo programos funkcijos.

Pirmos grupės M kodais valdomi įvairių staklių dalių pagalbiniai ir papildomi judesiai, įvairi staklių įranga. Šie judesiai dažniausiai yra nesusiję su įrankių pastūmos judesiais pagal staklių valdomas ašis (jie valdomi judesio 01 grupės G kodais) ir dažniausiai yra tokie:

- Sukimosi judesio sukliui suteikimas (pagal arba prieš laikrodžio rodyklę) ir suklio sustabdymas.
- Įrankio suklyje pakeitimas kitu iš frezavimo staklių įrankių dėtuves.
- Palečių su detalėmis pakeitimas frezavimo staklėse.
- TAS tiekimas (paleisti arba nutraukti).
- Užblokuoti tekinimo staklių sukli stabdžiu.
- Paleisti/išjungti drožlių konvejerį.
- Suspausti/atleisti tekinimo staklių griebtuvo žiaunas.
- Atidaryti/uždaryti staklių dureles.
- Ištraukti/įtraukti tekinimo staklių arkliuko pinolę ir pan.

Šios funkcijos (ir atitinkamai naudojami M kodai) yra labai įvairios ir priklauso nuo staklių tipo, gamintojo, modelio ir komplektacijos. Pavyzdžiui, kiekvienos tekinimo ir frezavimo staklės turi tris suklio režimus, valdomus M kodais iš programos: sukimasis pagal laikrodžio rodyklę, prieš laikrodžio rodyklę ir sustojimas. Tekinimo staklėse su valdoma C ašimi ir įrankių pavara galima valdyti įrankio sukli, kuriam skirti atskiri M kodai, taip pat atsiranda papildomas kodas pagrindiniam sukliui užspausti/atleisti hidrauliniu stabdžiu. Kitas pavyzdys yra automatiškai atsidarančios/užsidarančios durelės, kurių atidarymas/uždarymas valdomas taip pat M kodais, jeigu staklėse yra ši funkcija. M kodais valdomas ir didelio slėgio TAS tiekimas/nutraukimas. Ši staklių komplektacija užsakoma atskirai ir valdoma atskirais M kodais. M kodais valdomas tekinimo centro pagalbinis suklys, jei tik staklėse jis yra.

Be minėtų funkcijų, tam tikri M kodai naudojami ir programai valdyti. Pavyzdžiui, norint sustabdyti arba pertraukti programos vykdymą tam tikroje jos vietoje, reikia užrašyti atitinkamą M kodą. M kodu iš pagrindinės programos iškviečiamos paprogramės, M kodu grįžtama iš paprogramių į pagrindinę programą ir t. t.

Dėl staklių funkcijų ir staklių įrangos įvairovės skirtingų gamintojų valdymo sistemose naudojami M kodai mažiau unifikuoti negu G kodai. Dažniausiai yra keli pagrindiniai M kodai, bendri beveik visoms valdymo sistemoms (suklio sukimasis pagal/prieš laikrodžio rodyklę, suklio sustabdymas, TAS tiekimas/nutraukimas, programos pabaiga/sustojimas ir pan.). Kiti M kodai gali labai skirtis. Mažiau skiriasi 2-osios grupės, t. y. programos M, kodai. Kitame skirsnyje apžvelgsime „HAAS“ ir „Fanuc“ firmų valdymo sistemose naudojamus M kodus, o šio pabaigoje dar pakartosime „auksinę“ programuotojo arba operatoriaus taisyklę:

► **Programuotojau, prieš rengdamas programą naujoms arba nežinomoms staklėms, būtinai peržiūrėk staklių operatoriaus vadovą**

Dažniausiai po raidės M eina dviženklis skaičius, tačiau kai kuriose valdymo sistemos naudojami dviženkliai ir triženkliai, pavyzdžiui, „Fanuc 16/18“, „HAAS“ ir kitose.

3.3.2. M kodai, naudojami tekimo ir frezavimo staklėse bei apdirbimo centruose

Dažniausiai naudojami staklėse su „HAAS“ firmos valdymo sistemomis M kodai pateikti 3.5 lentelėje. Čia pateiktas visas kodų sąrašas (naudojamų su papildomais įtaisais ir įranga) be papildomo paaiškinimo. Kai kurie kodai bus apžvelgti toliau, kai kurių kodų paaiškinimų šioje knygoje nebus, kai kurie nebus apžvelgti dėl to, kad naudojami staklių derinimo arba priežiūros metu.

3.5 lentelė. M kodai, naudojami „HAAS“ firmos tekimo ir frezavimo staklėms bei apdirbimo centrams programuoti

Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai		Tekimo staklės	
M kodas	Aprašas	M kodas	Aprašas
M00	Privalomas programos vykdymo sustabdymas negrįžtant į programos pradžią	M00	Privalomas programos vykdymo sustabdymas negrįžtant į programos pradžią
M01	Papildomas programos vykdymo sustabdymas	M01	Papildomas programos vykdymo sustabdymas
M02	Programos pabaiga negrįžtant į jos pradžią	M02	Programos pabaiga negrįžtant į jos pradžią
M03	Suklio sukimasis į priekį	M03	Suklio sukimasis į priekį
M04	Suklio sukimasis atgal	M04	Suklio sukimasis atgal
M05	Suklio sustabdymas	M05	Suklio sustabdymas
M06	Įrankio keitimas suklyje		

3.5 lentelės tęsinys

Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai		Tekinimo staklės	
M kodas	Aprašas	M kodas	Aprašas
M07	TAS „dušas“		
M08	Ijungia TAS tiekimą (ijungia TAS siurblių)	M08	Ijungia TAS tiekimą (ijungia TAS siurblių)
M09	Nutraukia TAS tiekimą (išjungia TAS siurblių)	M09	Nutraukia TAS tiekimą (išjungia TAS siurblių)
M10	Užblokuoja 4-ąją valdomą ašį (sukimo A) stabdžiu	M10	Suspaudžia griebtuvo žiaunas
M11	Atleidžia 4-osios valdomos ašies (sukimo A) stabdį	M11	Atleidžia griebtuvo žiaunas
M12	Užblokuoja 5-ąją valdomą ašį (sukimo B) stabdžiu	M12	Ijungia oro apipūtimo įtaisą
M13	Atleidžia 5-osios valdomos ašies (sukimo B) stabdį	M13	Išjungia oro apipūtimo įtaisą
		M14	Užspaudžia pagrindinio suklio stabdį
		M15	Atleidžia pagrindinio suklio stabdį
M16	Pakeičia įrankį suklyje (tas pats kaip ir M06)		
M17/ M18	Palečių keitiklio komandos naudojamos tik staklių priežiūros metu	M17	Revolverinė galvutė visada sukasi į priekį
		M18	Revolverinė galvutė visada sukasi atgal
M19	Suklio kampinė orientacija	M19	Suklio kampinė orientacija
		M21	Arkliukas į priekį
		M22	Arkliukas atgal
		M23	Sriegio nuožulną – pjauti
		M24	Sriegio nuožulną – nepjauti
M21– M28	Kodai papildomoms vartotojo re-lėms aktyvuoti	M21– M22 M25– M28	Kodai papildomoms vartotojo re-lėms aktyvuoti, jeigu nerezervuoti gamintojo
M30	Programos pabaiga ir grįžimas į pirmąją eilutę	M30	Programos pabaiga ir grįžimas į pirmąją eilutę
M31	Ijungia drožlių konvejerį	M31	Ijungia drožlių konvejerį

3.5 lentelės tęsinys

Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai		Tekinimo staklės	
M kodas	Aprašas	M kodas	Aprašas
M33	Sustabdo drožlių konvejerį	M33	Sustabdo drožlių konvejerį
M34	Programiškai valdomą TAS tūtą nuleidžia per vieną poziciją		
M35	Programiškai valdomą TAS tūtą pakelia per vieną poziciją		
M36	Atideda palečių keitimą iki mygtuko paspaudimo	M36	Pakelia detalių gaudyklę
		M37	Nuleidžia detalių gaudyklę
		M38	Apriboja suklio sūkių kitimą
M39	Pasuka šoninio tvirtinimo įrankių dėtuve nekeičiant įrankio	M39	Neriboja suklio sūkių kitimo
M41	Įjungia žemiausią pavarą	M41	Įjungia žemiausią pavarą
M42	Įjungia aukščiausią pavarą	M42	Įjungia aukščiausią pavarą
		M43	Atleidžia revolverinę galvutę
		M44	Užblokuoja revolverinę galvutę
M46	Jeigu paletė yra pakrauta, programa vykdoma iš nurodytos po M46 eilutės		
M48	Tikrina, ar yra programa palečių lentelėje		
M49	Suteikia paletei tam tikrą statusą		
M50	Keičia paletes		
M51–M58	Naudojami įvairioms vartotojo sąsajoms – relėms – valdyti	M51–M58	Naudojami įvairioms vartotojo sąsajoms – relėms – valdyti
M59	Įjungia išvesties relę	M59	Įjungia išvesties relę
M61–M68	Naudojami įvairioms vartotojo sąsajoms – relėms – valdyti	M61–M68	Naudojami įvairioms vartotojo sąsajoms – relėms – valdyti
M69	Išjungia išvesties relę	M69	Išjungia išvesties relę
M75	Nustato atskaitos tašką matavimams naudojant kodus G35 ir G136		
M76	Neatnaujina informacijos vaizduoklyje	M76	Neatnaujina informacijos vaizduoklyje

3.5 lentelės tęsinys

Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai		Tekinimo staklės	
M kodas	Aprašas	M kodas	Aprašas
M77	Atnaujina informaciją vaizduoklyje	M77	Atnaujina informaciją vaizduoklyje
M78	Skelbia pavojaus signalą, jei vykdamas kodus G31, G36 ir G37 gautas signalas iš matavimo liestuko	M78	Skelbia pavojaus signalą, jei vykdamas kodą G31 gautas signalas iš matavimo liestuko
M79	Skelbia pavojaus signalą, jei vykdamas kodus G31, G36 ir G37 negautas signalas iš matavimo liestuko	M79	Skelbia pavojaus signalą, jei vykdamas kodą G31 negautas signalas iš matavimo liestuko
M80	Atidaro staklių dureles		
M81	Uždaro staklių dureles		
M82	Atleidžia įrankį suklyje (naudojamas tik priežiūros metu)		
M83	Ijungia oro apipūtimo įtaisą		
M84	Išjungia oro apipūtimo įtaisą		
		M85	Atidaro staklių dureles
M86	Užspaudžia įrankį suklyje (naudojamas tik priežiūros metu)	M86	Uždaro staklių dureles
M88	Ijungia TAS tiekimą per suklij	M88	Ijungia TAS tiekimą dideliu slėgiu
M89	Išjungia TAS tiekimą per suklij	M89	Išjungia TAS tiekimą dideliu slėgiu
		M93/ M94	Naudojami darbui su „HAAS“ firmos strypo tiekimo įrenginiu
M95	„Miego“ režimas – ilgos trukmės pauzė	M95	„Miego“ režimas – ilgos trukmės pauzė
M96	Pereina prie nurodytos programos vietos, kai nėra signalo	M96	Pereina prie nurodytos programos vietos, kai nėra signalo
M97	Kreipimasis į lokalinę paprogramę	M97	Kreipimasis į lokalinę paprogramę
M98	Kreipimasis į paprogramę	M98	Kreipimasis į paprogramę
M99	Paprogramės pabaiga ir grįžimas į pagrindinę programą	M99	Paprogramės pabaiga ir grįžimas į pagrindinę programą
M101	TAS taupymo režimas vykdamas vidinius ciklus		

3.5 lentelės pabaiga

Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai		Tekinimo staklės	
M kodas	Aprašas	M kodas	Aprašas
M102	TAS taupymo režimas		
M103	Atšaukia TAS taupymo režimą		
		M104	Ištraukia įrankių liestuką
		M105	Įtraukia įrankių liestuką
M109	Duomenų įvedimas iš klaviatūros	M109	Duomenų įvedimas iš klaviatūros
		M119	Pagalbinio suklio kampinė orientacija
		M121–M128	Naudojami įvairioms vartotojo sąsajoms – relėms – valdyti
		M133	Naudojamas darbui su besisukančiais įrankiais – paleidžia jų suklių sukčius į priekį
		M134	Naudojamas darbui su besisukančiais įrankiais – paleidžia jų suklių sukčius atgal
		M135	Naudojamas darbui su besisukančiais įrankiais – sustabdo jų suklių
		M143	Pagalbinio suklio sukimas į priekį
		M144	Pagalbinio suklio sukimas atgal
		M145	Pagalbinio suklio sustabdymas
		M154	Sujungia suklių su C valdomos ašies varikliu
		M155	Atjungia suklių nuo C valdomos ašies variklio

Pastabos:

1. Lentelėje nurodyti ir kodai, naudojami papildomais CNC staklių įrenginiais ir įtaisais (pavyzdžiui, strypo tiekimo įrenginys, palečių keitiklis ir pan.), jie bus apžvelgti atskirai 10 sk.
2. Lentelėje išskirti M kodai, kurie naudojami „HAAS“ firmos valdymo sistemose, taip pat „Fanuc“ ir kitų firmų valdymo sistemose. Juos sąlygiškai galima pavadinti standartiniais.
3. Lentelėje pateikti kodai gali veikti arba neveikti tam tikrame staklių modelyje. Tai priklauso nuo staklių komplektacijos. Pavyzdžiui, ne visuose tekinimo staklių modeliuose yra arkliukai, strypo tiekimo įrenginiai, detalių gaudyklės, įrankių pavara ir pan. Tokiais atvejais užrašyti programoje atitinkami kodai nebus vykdomi ir gali pasirodyti klaidos pranešimai.

3.3.3. M kodų išdėstymas programos eilutėse

Skirtingai nuo G kodų programos eilutėje gali būti užrašytas tik vienas M kodas, tačiau kai kuriose valdymo sistemose galima užrašyti kelis M kodus vienoje eilutėje. M kodai gali būti užrašomi atskiromis eilutėmis arba kartu su kitomis komandomis. Skirtingai nuo G kodų, M kodams dažniausiai nereikalingi papildomi adresai (tačiau kai kuriems reikia papildomos informacijos, pavyzdžiui, paprogramės iškvietimo kodas M98 turi būti papildomas adresu P, po kurio nurodomas paprogramės vardas). Pavyzdžiui, programos pabaigos eilutė atrodo taip:

N145 M30;

Programai sutrumpinti M kodai dažniausiai išdėstomi eilutėse, kuriose programuojami įrankių judesiai (kartu su G kodais). Pavyzdžiui, yra patogu kartu su pagreitinu įrankio judesiu į pradinį apdirbimo tašką įjungti tepimo ir aušinimo skysčio siurblių bei pradėti tiekti jį į pjovimo zoną. Programos eilutė atrodytų taip:

N19 G00 X200.75 Y190.50 M08;

Šią eilutę galima užrašyti ir taip:

N19 G00 X200.75 Y190.50;

N20 M08;

Pastaruoju atveju galima teigti, kad iš pradžių įrankis atsidurs pozicijoje X200,75 Y190,5 ir tik paskui bus pradėta tiekti TAS į pjovimo zoną. Žiūrint į pirmą pavyzdį (užrašyta vienoje eilutėje) galima pagalvoti, kad viskas bus panašiai, nes M08 žodis užrašytas paskutinis, tačiau iš pradžių bus įjungtas TAS siurblys, o tik po to bus atliktas judesys. Taip yra todėl, kad valdymo sistema pati „protingai“ pakoreguoja M kodų įjungimą ir skirtingi M kodai gali būti vykdomi po arba prieš judesį. Pavyzdžiui, mūsų nagrinėjamame pavyzdyje yra visiškai nesvarbu, kada bus įjungtas TAS siurblys – prieš arba po judesio, nes judesys yra ne pjovimo, o greitojo pozicionavimo. Tai būtų labai svarbu, jeigu būtų pjovimo judesys (pavyzdžiui, G01, G02, G03). Įrankis, dirbdamas be TAS, greičiau sudiltų, be to, jis paprasčiausiai gali sulūžti. Todėl valdymo sistema pati koreguoja M kodų vykdymą ir, nepriklausomai nuo to, kokioje eilutės vietoje užrašytas M08 kodas, iš pradžių bus įjungtas TAS siurblys ir tik paskui atliktas judesys. Toliau pateiktos eilutės bus vykdomos vienodai:

N19 G01 X200.75 Y190.50 F100.0 M08;

N19 M08 G01 X200.75 Y190.50 F100.0;

Panagrinėsime kitą pavyzdį. Pavyzdžiui, judesys Z ašies kryptimi programuojamas vienoje eilutėje su programos sustabdymo kodu:

N55 G01 Z-22.15 F150.0 M00;

Šiuo atveju, atvirkščiai, programos vykdymas turėtų būti sustabdytas tik po to,

kai įrankis atsidurs taške Z–22,15 pastūmos greičiu 150 mm/min. Šią eilutę valdymo sistema taip ir vykdys, net jeigu eilutė būtų užrašyta taip:

N55 M00 G01 Z-22.15 F150.0;

Taip pat galima įsivaizduoti, kas atsitiktų, jeigu suklys nustotų suktis, sustabdytas kodu M05, o po to įvyktų įrankio pjoavimo judesys. Įrankis (geriausiu atveju) būtų sulaužytas, jeigu programuotojas suklystų ir užrašytų vietoje eilutės:

N120 G01 X162.00 Y58.0 F200.0 M05;

tokią eilutę:

N120 M05 G01 X162.00 Y58.0 F200.0;

Tačiau programuotojui nereikia galvoti apie tai, nes sistema jokių būdu neišjungs suklio prieš judesį, nesvarbu, kokioje eilutės vietoje būtų užrašytas M05 kodas.

Norint išvengti avarinių situacijų, M kodai pagal tai, kaip jie vykdomi būdami vienoje eilutėje su judesio komandomis, gamintojų yra padalyti į dvi grupes (3.6 lentelė):

- M kodai, kurie pradeda veikti eilutės pradžioje (prasidedant įrankio judesiui);
- M kodai, kurie pradeda veikti eilutės pabaigoje (kai judesys atliktas).

Reikia pažymėti, kad programavimo praktikoje dažniausiai programos pabaigos ir sustabdymo M kodai (M00/M01/M02/M30) išdėstomi atskirose eilutėse.

3.6 lentelė. M kodų grupavimas, priklausomai nuo to, prieš ar po judesio atlikimo jie vykdomi

M kodai, vykdomi eilutės pradžioje		M kodai, vykdomi eilutės pabaigoje	
M kodas	Aprašas	M kodas	Aprašas
M03	Suklio sukimasis į priekį	M00	Privalomas programos vykdymo sustabdymas negrįžtant į programos pradžią
M04	Suklio sukimasis atgal	M01	Papildomas programos vykdymo sustabdymas negrįžtant į programos pradžią
M06	Įrankio keitimas suklyje	M02	Programos pabaiga negrįžtant į jos pradžią
M08	Įjungiamas tepimo ir aušinimo skysčio tiekimas (TAS siurblys)	M05	Suklio sustabdymas
		M09	Nutraukiamas tepimo ir aušinimo skysčio tiekimas (išjungiamas TAS siurblys)
		M30	Programos pabaiga ir grįžimas į pirmąją eilutę

3.3.4. Programos M kodai

Pagrindiniai programos M kodai (3.5 lentelė) yra M00, M01, M02, M30. Jie naudojami programos vykdymui sustabdyti arba nutraukti. Be to, prie programos kodų priskiriami ir paprogramių kvietimo bei nutraukimo kodai M97, M98, M99, taip pat duomenų įvedimo iš klaviatūros kodas M109. Nutraukti programos vykdymą galima laikinai (programos viduryje) arba visiškai (programos pabaigoje). Visa tai galima padaryti net keliais kodais.

M00 priverstinai *sustabdo* programos vykdymą. Kai valdymo sistema sutinka programoje šį kodą, automatiškai sustabdomi:

- įrankių judesiai pagal visas valdomas staklių ašis;
- suklio (-ių) variklis (-iai);
- tepimo ir aušinimo skysčio tiekimas bet kuriuo pavidalu (rūku, dideliu slėgiu, per suklij);
- tolesnis programos vykdymas.

Programa bus tik *sustabdyta*. Tai reiškia, kad visi programoje užprogramuoti parametrai (tokie kaip pastūma, judesio režimas, koordinačių sistema, suklio sūkliai ir pan.) nebus numesti, jie lieka aktyvūs. Žymeklis persöks į kitą programos eilutę, esančią po eilutės su kodu M00, ir programos vykdymas bus pratęstas nuo šios eilutės paspaudus *Cycle Start* mygtuką valdymo pulte. M00 nutraukia TAS tiekimą (bet kuriuo būdu iš galimų staklėse), taip pat suklio variklio sukimąsi, bet užprogramuoti sūkliai išlieka atmintyje. Jie gali būti įjungti (jei reikia) iš naujo atitinkamu M kodu (M03 arba M04) eilutėse, esančiose po M00 kodo. Pavyzdžiui, pateiksime tokį frezavimo staklių programos fragmentą:

...;

T01 M06 (pakeisti suklyje esantį įrankį įrankiu, esančiu dėtuvės lizde Nr. 1);

S2000 M03 (suklys pradeda sukstis į priekį, sūkliai – 2000 sūk./min);

G54 G90 G00 X-10.0 Y-10.0 (greitasis judesys į tašką X-10 Y-10 detalės koordinačių sistemoje Nr. 1 (G54), absoliučiosios koordinatės (G90));

G43 H01 Z5.0 (greitasis judesys į tašką Z5 detalės koordinačių sistemoje, pritaikant įrankio ilgio kompensaciją iš įrankių ilgių kompensacijų lentelės eilutės Nr. 1);

G01 Z-3.0 F150. M08 (judesys pagal tiesę Z ašies kryptimi su pastūma 150 mm/min į tašką Z-3 detalės koordinačių sistemoje, prieš judesį įjungti TAS siurblij);

X50.0 Y80.0 (judesys pagal tiesę X ir Y ašių kryptimis su pastūma 150 mm/min į tašką X50 Y80 detalės koordinačių sistemoje);

Z50.0 (judesys pagal tiesę Z ašies kryptimi su pastūma 150 mm/min į tašką Z50 detalės koordinačių sistemoje);

M00 (programos sustabdymas);

M03 (suklys pradeda sukstis į priekį, sūkliai – 2000 sūk./min, ši reikšmė lieka aktyvi nuo programos dalies iki sustabdymo);

Z-5.0 M08 (įrankio Nr. 1 judesys pagal tiesę (lieka aktyvus kodas G01) Z ašies kryptimi su pastūma 150 mm/min (pastūma lieka aktyvi nuo programos dalies iki sustabdymo) į tašką Z-5 detalės koordinačių sistemoje, prieš judesį įjungti TAS siurblij);

...;

M00 rašomas arba vienoje eilutėje su įrankio judesio komanda, arba atskiroje eilutėje. Pavyzdžiui:

```
...;
G00 X40.15 Y25.23;
M00;
...;
```

arba

```
...;
G00 X40.15 Y25.23 M00;
...;
```

Bet kuriuo atveju iš pradžių bus atlikta judesio komanda, o paskui bus sustabdyta programa. Jokiu būdu ne atvirkščiai. Kodo M00 vieta eilutėje nėra svarbi (žr. 3.3.3 skirsnį), tačiau dažniausiai šis kodas, kaip ir kiti programos pabaigos kodai, išdėstomas atskiroje eilutėje.

Programos sustabdomos M00 kodu dažniausiai tais atvejais, kai, apdirbant ruošinį, operatoriui reikia laikinai pertraukti automatinį staklių darbą apžiūrai, patikrai arba kitiems veiksams atlikti. Pavyzdžiui, sustabdžius gali būti patikrintas detalės matmuo (tiksliams matmenims), patikrinta įrankio būklė. Stabdant gali būti išvalytos drožlės iš gilios, aklinos, ką tik išgręžtos skylės, prieš atliekant sriegimo pakopą (sriegimas programuojamas eilutėse, esančiose po M00 kodo). Detalė gali būti apversta kitu galu, apdirbus ją iš vieno galo. Sustabdžius programą gali būti pakeičiamas įrankis, jeigu staklėse nėra įrankių dėtuvių.

M01 veikia tai pat, kaip ir M00, tik yra vienas skirtumas. Kai valdymo sistema sutinka šį kodą, ji gali sustabdyti arba nesustabdyti programos. Tai priklauso nuo to, kokioje pozicijoje (*ON* arba *OFF*) yra *Optional Stop* perjungiklis (arba paspaustas, arba nepaspaustas tokio pat pavadinimo mygtukas kai kurių valdymo sistemų, pavyzdžiui „HAAS“) operatoriaus pulte. Jeigu perjungiklis yra *ON* padėties arba mygtukas paspaustas, programa bus sustabdyta. Jeigu *OFF* arba mygtukas nepaspaustas – ne. Taigi operatorius turi pasirinkimo laisvę – apdirbdamas vieną detalę jis gali sustabdyti programą tam tikroje vietoje, apdirbdamas kitą detalę programos gali nestabdyti, kodas M01 sistemos ignoruojamas. Todėl kodas M01 teisingai vadinamas papildomu programos sustabdymu.

Kodas M01 dažnai naudojamas po įrankio naudojimo tam tikroje technologinėje pakopoje (pavyzdžiui, išgręžus visas skylės grąžtu, prieš keičiant jį kitu įrankiu). Tai labai naudinga, kai reikia pakeisti atšipusią įrankio plokštelę. Taigi operatorius pakeičia plokštelę nauja ir perjungia jungiklį į *OFF* poziciją. Kai įrankio darbo laikas tampa lygus jo patvarumui (operatorius gali sužinoti tai, skaičiuodamas apdirbtų detalių kiekį arba sekdamas įrankio darbo laiką vaizduoklyje), jungiklis perjungiamas į *ON* poziciją. Tada programa sustabdoma pagal kodą M01 ir operatorius gali pakeisti atšipusią plokštelę ir tęsti apdirbimą. Be to, šis kodas taip pat yra naudingas detalės matmenų kontrolei. Pavyzdžiui, operatorius žino, kad pakeitus atšipusias įrankio plokšteles (arba

plokštelę) naujomis, galima apdirbti keletą detalių užtikrinant reikalaujamą apdirbimo tikslumą. Jungiklis tokiu atveju gali būti *OFF* padėties ir programa nestabdoma. Apdirbus tam tikrą detalių skaičių, plokštelė šiek tiek nudyla, pasikeičia jos viršūnės padėtis ir gaunamas kitas matmuo, padidėja broko tikimybė. Tada perjungus jungiklį į *ON* padėtį, programa sustabdoma, operatorius galės patikrinti matmenis ir laiku pakeisti plokštes arba plokštelę, kai matmuo nebeatitiks tolerancijų. Laiku pakeitus atšipusią plokštelę nauja, bus išvengta detalių broko.

M02 ir M30 yra *programos pabaigos* (ne sustabdymo) kodai. Jie taip pat sustabdo įrankio judesius pagal visas valdomas ašis, sustabdo sukli (suklius), TAS tiekiamą bet kuriuo iš galimų būdų ir nutraukia programos vykdymą. Be to, šie kodai grąžina valdymo sistemą prie nustatytųjų parametrų (tačiau taip būna ne visose valdymo sistemose). Pavyzdžiui, jeigu koordinacių matavimo vienetais, sistemos nustatymais buvo pasirinkti milimetrai, o programoje naudojamas modalinis kodas G20 (coliai), po kodo M30 pagal nustatytuosius parametrus bus vėl nustatyti milimetrai. Kitoje programoje, jeigu reikalingi milimetrai, kodas G21 (milimetrai arba metriniai vienetai) gali būti nenaudojamas. Tas pats bus ir su absoliučiosiomis koordinatėmis ir prietaisiais. Jeigu programoje paskutinis buvo nurodytas kodas G91 (prietaisiai), o sistemoje pagal nustatytuosius parametrus numatomos absoliučiosios koordinatės (G90), M30 grąžins sistemą į pradinę būklę. Reikia pažymėti, kad kai kuriose valdymo sistemose po kodo M30 režimai gali būti nesugrąžinti į pradinius, o likti nustatytais paskutinėje paleistoje programoje (dažnai tai valdoma sistemos nustatymais), **todėl visada reikia būtinai skaityti staklių operatoriaus vadovą**. Abu kodai M02 ir M30 veikia panašiai, tačiau tarp jų yra labai svarbus skirtumas. Kodas M02 nutraukia programą, tačiau negrąžina žymeklio į pirmąją programos eilutę (t. y. į programos pradžią). M30 daro tą patį, tik grąžina žymeklį atgal į pirmąją eilutę, t. y. pakeitęs apdirbtą detalę kitu ruošiniu operatorius gali paspausti mygtuką *Cycle Start*, ta pati programa bus paleista nuo pradžios (be abejo, operatorius gali paleisti ir kitą programą). Skirtumą tarp kodų M02 ir M30 galima paaiškinti kompaktinių plokštelių arba kasečių grotuvo pavyzdžiu, kai, vienu atveju pragrajus plokštelę arba kasetę, lazerio galvute arba juosta atsukamos į pradžią (M30), kitu atveju – negrąžinamos (M02).

Reikia pasakyti, kad šiuolaikinėse staklėse kodas M02 visai nereikalingas, išskyrus atvejus, kai jis naudojamas senoms ir naujoms sistemoms suderinti (tik tam jis ir paliekamas). Šis kodas buvo naudojamas papildomai prie M30 senos laidos PV staklėse, kuriose kaip informacijos nešiklis buvo naudojama magnetinė arba perforuota juosta. Kartais tokiose sistemose buvo naudojamos juostos padavimo sistemos be būgnų, ant kurių vyniojama juosta (dažniausiai taip būdavo tekimo staklėse, kurių programos yra trumpesnės negu frezavimo). Juostos galas buvo sujungiamas su pradžia, tokiu būdu susidarydavo uždara kilpa. Pasibaigus valdymo programai, jos pradžia juostoje atsidurdavo iš karto po pabaigos. Todėl juostos nereikėdavo atsukti atgal ir buvo naudojamas M02 kodas. Ilgoms juostoms, kuriose tilpdavo kelios programos, vynioti buvo naudojami būgnai. Todėl, norint grįžti į pradžią, reikėdavo atsukti juostą į programos pradžią, tam buvo naudojamas M30 kodas.

Daugumoje šiuolaikinių CNC sistemų M02 kodui galima priskirti vidiniais staklių nustatymais tokias pat funkcijas kaip ir M30 kodui, tai yra pasiekti, kad žymeklis būtų grąžinamas į programos pradžią. Tokiu būdu naudojant senesnes programinio valdymo staklių programas (gautas konvertuojant jas iš juostų specialiais konverteriais) galima negaišti laiko keičiant programose M02 kodus į M30.

Rengiant valdymo programas šiuolaikiniams CNC įrengimams kodą M02 geriau visai pamiršti ir naudoti tik M30. Tai pats populiariausias būdas programai užbaigti. Geriausia šį kodą pateikti atskiroje eilutėje, panašiai kaip pateikta toliau:

```
G91 G28 X0.0 Y0.0;
M30;
```

Galima (tačiau nerekomenduojama, o kai kuriose sistemose net neleidžiama) M30 kodą naudoti ir paskutinėje eilutėje:

```
G91 G28 X0.0 Y0.0 M30;
```

arba

```
G91 G28 M30 X0.0 Y0.0;
```

Bet kuriuo atveju pirmiausia bus judesys į staklių nulį (G28) arba kitoks judesys, užprogramuotas eilutėje, o tik paskui bus nutraukta programa ir grįžtama į jos pradžią.

M97 ir M98 yra paprogramių iškvietimo kodai. Sutikus programoje šį kodą (jis naudojamas su adresais P ir L/K) bus paleidžiama paprogramė, kurios vardas (arba eilutės numeris, jei naudojamas M97) nurodytas po adreso P. Paprogramė bus atlikta tiek kartų, kiek nurodyta po adreso L/K.

M99 yra kodas, naudojamas programos kviečiamoms paprogramėms užbaigti. Jis nutraukia paprogramės vykdymą ir grįžta į pagrindinę programą, t. y. po jo vykdoma ta pagrindinės programos eilutė, prieš kurią buvo kviečiama paprogramė (kodu M98). Kodas M99, naudojamas kartu su adresu P, gali būti naudojamas grįžti iš paprogramės ne į pagrindinės programos eilutę, esančią po eilutės su kodu M98, bet į kitą, kurios numeris nurodomas po adreso P. Programavimas naudojant paprogrames bus nagrinėjamas 12 skyriuje, todėl čia pavyzdžių neteiksime.

Kodas M99 gali būti naudojamas ir pagrindinėje programoje, o ne tik paprogramėje. Tokiu atveju programa uždaroma, t. y. ji neturi pabaigos ir pradedama vykdyti iš pradžios be operatoriaus pagalbos (nepaspaudus mygtuko *Cycle Start*). Tai gali būti naudinga, kai staklių pakrovimas/užkrovimas yra automatizuotas, kai tai atlieka robotai, taip pat dirbant su kita automatizuotos gamybos įranga (pavyzdžiui, strypo tiekimo įrenginiais tekinimo staklėse, palečių keitikliais frezavimo staklėse ir pan.). Tokia įranga aprašyta 10 skyriuje, ten taip pat pateikti ir programų pavyzdžiai. Paprastai M99 kodas programose nenaudojamas, o naudojamas tik paprogramėse.

Duomenų interaktyvaus įvedimo kodas M109 naudojamas makroprogramavimui ir bus apžvelgtas paskutinio skyriaus 7 pavyzdyje.

3.3.5. Staklių M kodai

Likę 3.5 lentelėje pateikti kodai gali būti pavadinti staklių M kodais. Pagrindiniai staklių M kodai yra šie (žr. taip pat 3.5 lentelę): M03, M04, M05, M06, M08, M09, M17, M18, M19, M23, M24, M41, M42. Pagal šiais kodais valdomą staklių įrangą juos galima suskirstyti grupėmis taip, kaip parodyta 3.7 lentelėje.

3.7 lentelė. Staklių M kodų grupavimas

Grupė	M kodas
Pagrindinis suklys ir jo valdymas	M03 M04 M05 M19
Įrankių keitiklis ir jų keitimas	M06 M17 M18 ...
TAS tiekimas ir jo valdymas	M07 M08 M09 ...
Sriegimas	M23 M24
Suklio pavaros	M41 M42
Papildoma įranga	M10 M11 M21 M22 M50 M133 M134 M135 M143 M144 M145 ...

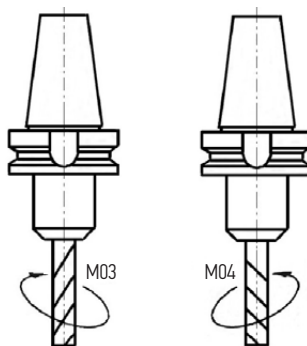
Ši lentelė, be abejo, yra neišsami daugumai šiuolaikinių CNC staklių ir centrų. Šiems įrengimams galima išskirti daugiau grupių, be to, pačių kodų yra daug daugiau, negu pateikta lentelėje. 3.7 lentelėje pateikti tik pagrindiniai M kodai, be kurių negalima apsieiti, rengiant pačias paprasčiausias CNC staklių valdymo programas. Apžvelgsime kai kuriuos iš jų plačiau.

Pagrindinio suklio valdymo M kodai

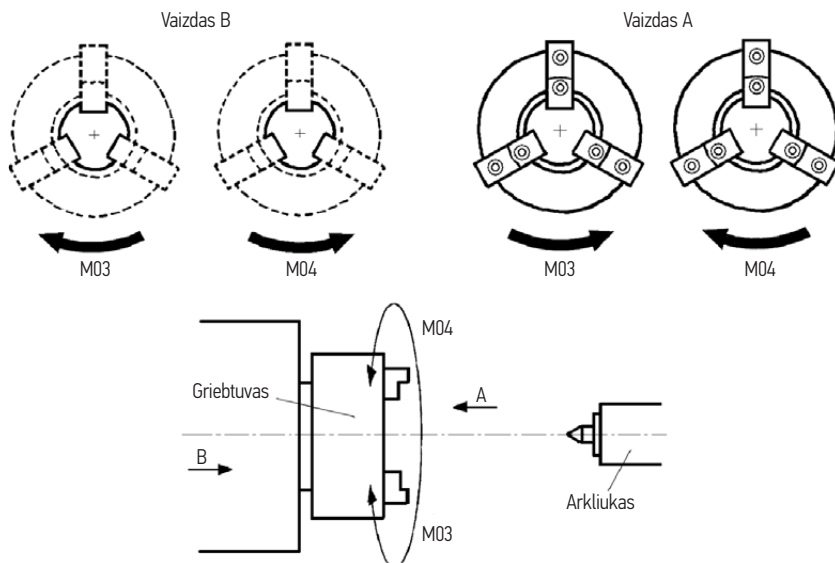
Kaip jau žinoma, CNC staklių (lygiai taip pat, kaip ir daugumos įprastinių staklių) sukliai gali sukstis į abi puses, t. y. galima paleisti sukli sukstis pagal laikrodžio rodyklę (*Clockwise* arba *CW*) arba prieš laikrodžio rodyklę (*Counterclockwise* arba *CCW*). Kitaip sakant, suklys gali būti paleistas sukstis į priekį (*Forward*) ir atgal (*Reverse*). Šios kryptys gali būti supainiotos priklausomai nuo to, iš kokios pusės žiūrima į sukli, todėl čia reikėtų pateikti keletą taisyklių.

Vertikaliųjų frezavimo (arba gręžimo) staklių ir apdirbimo centrų suklio kryptys nustatomos žiūrint nuo suklio pusės į stalą, o ne nuo stalo į sukli. Tai parodyta 3.2 pav. Žiūrint iš šios pozicijos įrankis pradės sukstis pagal laikrodžio rodyklę arba į priekį, paleistas kodu M03. Akivaizdu, kad kodu M03 turi būti paleistas suklys, kai jame yra dešinysis įrankis (grąžtas, sriegiklis ir pan.), tokie įrankiai naudojami daugeliu atvejų. Gerokai rečiau (dažniausiai sriegiant kairiniu sriegikliu kairinį sriegį, taip pat kai reikia dešininį sriegiklį ištraukti iš skylės) reikia paleisti sukli sukstis prieš laikrodžio rodyklę arba atgal kodu M04. Lygiai taip pat nustatoma suklio sukimosi kryptis horizontaliuosiuose apdirbimo centruose. Čia suklys (įrankis) suksis pagal laikrodžio rodyklę arba į priekį (M03), kai žiūrima iš suklio pusės į detalę, M03 taip

pat naudojamas dirbant su dešininiais įrankiais. Tekinimo staklėse sukimosi kryptis gali būti teisingai (pagal apibrėžimą – prieš (atgal) arba pagal (į priekį) laikrodžio rodyklę) nustatyta žiūrint nuo suklio galvutės pusės arkliuko kryptimi, kaip parodyta 3.3 pav., (vaizdas B). Žiūrint iš arkliuko pusės į griebtuvą kryptis pasikeičia, kaip ir parodyta 3.3 pav. (vaizdas A). Tekinimo staklėmis atliekamoms operacijoms (išoriniam tekimui, ištekimui, griovelių tekimui, gręžimui) taip pat dažniausiai naudojamas M03, M04 tik kairiniams sriegiams sriegti bei dešininiam sriegikliui iš skylės ištraukti. Taip yra tik tuo atveju, jeigu tekimo staklėse su revolverine galvute peiliai tvirtinami plokštelėmis žemyn arba staklėse su peilių įtvaru peiliai tvirtinami plokštelėmis į operatorių (žr. I dalies 6.2 posk.). Jeigu peiliai revolverinėje galvutėje tvirtinami plokštelėmis į operatorių, teisingas kodas tekiant, ištekiant, tekiant griovelius ir atpjaunant – M04. Apdirbant skylės dešininiais įrankiais bet kokių atveju teisingas kodas lieka M03.



3.2 pav. Frezavimo staklių suklio (įrankio) sukimosi krypties nustatymas: M03 – sukimasis pagal laikrodžio rodyklę arba į priekį; M04 – sukimasis prieš laikrodžio rodyklę arba atgal (Smid 2003)



3.3 pav. Tekinimo staklių suklio sukimosi krypties nustatymas (Smid 2003)

Reikia pažymėti, kad pateiktos taisyklės suklio sukimosi kryptčiai nustatyti yra būdingos tik daugumai staklių, bet ne visoms, todėl prieš pradėdant darbą su naujomis staklėmis, patarimas gali būti tik vienas – **visada reikia kruopščiai išstudijuoti staklių operatoriaus vadovą.**

Taigi jeigu programoje valdymo sistema sutinka kodą M03, ji paleidžia suklij suktis pagal laikrodžio rodyklę (CW arba į priekį), o jei sutinka M04 – prieš (CCW arba atgal). Nustačius suklio sukimosi kryptį, lieka tik nurodyti, koku greičiu jis turėtų suktis. Suklio sūkliai nurodomi adresu S, po kurio nurodomas reikalingas suklio sūkliai skaičius. Adresas S gali būti nurodomas vienoje eilutėje kartu su kodu M03 arba M04 (dažniausiai paplitę variantai), pavyzdžiui, taip:

```
...;
S2000 M03 (paleisti suklij suktis į priekį (pagal laikrodžio rodyklę), sūkliai – 2000 sūk./min);
...;
```

arba kokioje nors eilutėje prieš M03/M04, kartu su kitais kodais, pavyzdžiui, G kodais, taip:

```
...;
... S2000 ...;
...;
... M03;
...;
```

Pastaruoju atveju vykdant eilutę su kodu S2000, sūkliai bus įsiminti, tačiau suklys suktis nepradės tol, kol valdymo sistema neįvykdys eilutės su kodu M03, kuris ir paleis suklij suktis užprogramuotu greičiu.

M05 yra kodas, naudojamas sukliui sustabdyti. Sustabdyti suklij reikia, pavyzdžiui, keičiant suklio sukimosi kryptį (pavyzdžiui, sriegiant skylę sriegikliu, prieš ištraukiant jį iš skylės), prieš pakeičiant įrankį frezavimo staklių suklyje ir pan. Reikia pasakyti, kad šis kodas šiuolaikinių CNC staklių programose naudojamas labai retai, nes kai kurie M kodai (pavyzdžiui, M00, M01, M02, M30 ir kiti) sustabdo suklij ir be jo. Be to, įrankių keitimo kodas M06, naudojamas frezavimo staklėse, taip pat sustabdo suklij automatiškai. Sriegimo operacijos dažniausiai programuojamos naudojant standartinius ciklus (pavyzdžiui, G84 ir pan.). Tokiais atvejais suklys sustoja automatiškai reikiamu laiku (pavyzdžiui, sriegiant skylę sriegikliu ciklu G84, sriegiklis, pasiekęs apatinę skylės tašką, sustoja automatiškai, pakeičia sukimosi kryptį ir ištraukiamas iš skylės pastūmos greičiu) be kodo M05. Kita vertus, šis kodas programose nesudaro klaidų, todėl gali būti naudojamas. Jis bus vykdomas tik įvykus judesiu, t. y. kai užrašytas vienoje eilutėje su bet kuria judesio komanda (žr. taip pat 3.6 lentelę). Vėliau, norint paleisti suklij suktis, reikia užrašyti M03 arba M04 kodus. Pavyzdžiui:

```
...;
S1000 M03 (suklys sukasi į priekį, sūkliai – 1000 sūk./min);
... (judesiai);
... (judesiai);
```

M05 (sustabdyti sukli);
 S1000 M04 (suklys sukasi prieš laikrodžio rodyklę, sūkiai – 1000 sūk./min);
 ... (judesiai);
 ... (judesiai);
 M05 (sustabdyti sukli);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į programos pradžią);

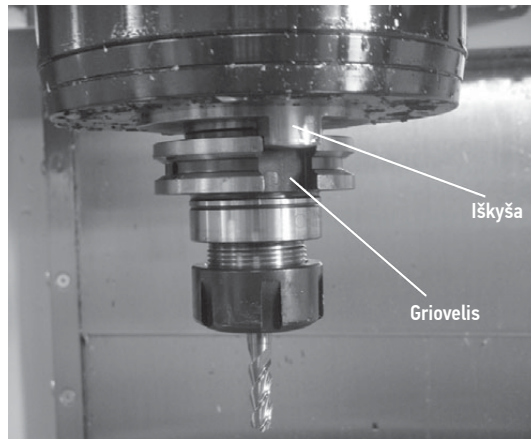
M05 taip pat naudojamas prieš perjungiant staklių suklio pavaras kodais M41–M44 kai kuriose staklėse (dažniausiai senesnių modelių).

M19 yra suklio kampinės pozicijos valdymo kodas, naudojamas tada, kai reikia nustatyti staklių sukli į fiksuotą (nulinę) gamintojo nustatytą kampinę poziciją. To dažniausiai reikia atliekant priežiūros darbus. Šis kodas taip pat gali būti naudojamas tekinimo staklėse su įrankių pavara ir valdoma C ašimi sukliui nustatyti į reikiamą kampinę padėtį (pavyzdžiui, gręžiant skyles, kurių centrai išdėstyti apskritimu detalės galiniame arba šoniniame paviršiuje). Tam reikia iš pradžių išgręžti vieną skylę, ištraukti įrankį, pasukti sukli reikiamu kampu (pavyzdžiui, gręžiant tris skyles – 120° kampu, 4 – 90° ir t. t.) ir gręžti kitą skylę. Staklių su valdoma C ašimi sukli pasukti į reikiamą poziciją galima ir kitaip, naudojant G kodus ir C ašies variklį. Tačiau tai padaryti galima nenaudojant C ašies variklio, suklio varikliu per diržinę pavarą naudojant M19 P... arba R..., kur adresu P „HAAS“ sistemoje galima nurodyti suklio kampinę padėtį laipsnio žingsniu, pavyzdžiui, M19 P120, o adresu R nurodomos šimtosios laipsnio dalys, pavyzdžiui, M19 R125.45. M19 kodas užtikrina $\pm 0,1^\circ$ suklio kampinės padėties tikslumą ir padėties pasikartojamumą $\pm 0,045^\circ$. Jeigu kodas M19 nurodomas be jokio papildomo adreso, suklys bus pasuktas į gamintojo nustatytą fiksuotą kampinę nulio poziciją. C ašies valdymas bus apžvelgtas 10.2.7 skirsnyje, kur taip pat bus pateikti valdymo programų pavyzdžiai.

Frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose M19 naudojamas dar rečiau. Neskaitant priežiūros darbų, orientuoti sukli į tam tikrą kampinę padėtį gali prireikti šiais atvejais:

1. Įdedant įrankį į dėtuvę ir į sukli.
2. Ištekinant frezavimo staklėmis naudojant specialias galvutes.

Panagrinėsime šiuos atvejus detaliau. Frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose naudojami įrankių laikikliai, kurie gali būti įdėti į dėtuvę (kad paskui būtų galima vėl juos įstatyti į sukli iš dėtuvės) ne bet kaip, o tik tam tikroje kampinėje padėtyje. Tokiame laikiklyje yra grioveliai (3.4 pav.), kurie turi sutapti su iškyšomis suklio galiniame paviršiuje. Kai operatorius surenka įrankius į dėtuvę, jis deda juos į dėtuvę ne tiesiogiai, bet per staklių sukli, t. y. įstato įrankį į suklio skylę ranka, sutapdinus laikiklio griovelius su suklio iškyšomis, o toliau iš suklio automatiškai suorientuoti įrankiai sudedami į dėtuvę. Įstatant įrankius į sukli ranka, suklio orientacija nėra svarbi, operatorius gali paimti įrankį ir pasukti jį rankoje taip, kaip grioveliai sutaptų su iškyšomis. Tačiau keičiant įrankį pagal valdymo programą, imant jį iš dėtuvės be operatoriaus pagalbos ir dedant atgal, suklys būtinai turi būti tinkamai orientuotas, kitaip grioveliai nesutaps su iškyšomis ir įrankis nebus įtvirtintas suklyje.



3.4 pav. Pirštinė freza su laikikliu vertikalojo apdirbimo centro suklyje

Tam prieš įrankio keitimo kodą turėtų būti užrašytas kodas M19, tačiau čia yra vienas niuansas. Šiuolaikinėse frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose su automatiniais įrankių keitimo įrenginiais (ir be jų, jeigu suklio galvute imamas įrankis iš dėtuvės) įrankių keitimas valdomas įrankių keitimo kodu M06. Keičiant įrankį kodu M06 suklio kampinė orientacija yra jau užtikrinama automatiškai, t. y. atliekant įrankio keitimą programoje nereikia naudoti kodo M19 ir tiksliai nustatyti suklio padėtį, tai jau bus atlikta pačiu kodu M06. M19 gali būti naudojamas tik tuomet, kai sunku ranka įstatyti laikiklį su įrankiu į suklių derinant stakles, nors daugeliu atvejų būna paprasčiau šiek tiek pasukti suklių ranka.

Apdirbant skyles ašiniaus daugiaašmeniais įrankiais (plėstuvais, grąžtais ir pan.), įrankio pradinė pjovimo briaunos padėtis suklio atžvilgiu nėra svarbi, tačiau, ištekiant vienašmeniais įrankiais (ištekimo peiliais) ir norint neapgadinti apdirbto paviršiaus, peilis turi būti atitrauktas nuo jo ir tik tada ištraukiamas iš skylės. Norint tai atlikti nesulaužius peilio, jo kampinė padėtis turi būti žinoma, tai yra sustojus sukliui stalas turi būti pastumtas tam tikru atstumu peilio galvutės kryptimi, jokių būdu ne koto kryptimi. Šiai padėčiai apibrėžti tinka M19 kodas, tačiau yra vienas „bet“. Ištekimas frezavimo staklėmis dažniausiai atliekamas naudojant vidinius ciklus (pavyzdžiui, G76, G86), o šiuose cikluose padėtis nustatoma automatiškai, be operatoriaus ir nenaudojant kodo M19.

Taigi apibendrinus galima teigti, kad kodas M19 daugumoje šiuolaikinių frezavimo ir tekinimo staklių naudojamas retai, tačiau gali būti atvejų, aprašytų staklių operatoriaus žinynuose (pavyzdžiui, prižiūrint stakles).

Automatinis įrankių keitiklis (*Automatic Tool Changer, ATC*)

Kodas M06 naudojamas tik frezavimo staklėse. Kaip matyti iš šiuolaikinių CNC frezavimo staklių ir apdirbimo centrų konstrukcijų (I dalis, 4 sk.), visose jose yra ma-

žiau arba daugiau talpios įrankių dėtuvės. Šiose įvairių konstrukcijų įrankių dėtuvėse sudėti įrankiai, kurie naudojami apdirbimo programoje. Kodas M06 nurodo sistemai, kad esamą suklyje įrankį reikia pakeisti kitu dėtuvėje esančiu įrankiu, kurio numeris nurodomas adresu T. Pagal šį kodą, prieš keičiant įrankį, valdymo sistema sustabdys suklį, nutrauks TAS tiekimą bet kuriuo būdu, taip pat orientuos suklį į gamintojo nustatytą padėtį. Pavyzdžiui:

T05 M06 (pakeisti įrankį suklyje įrankiu, kurio numeris dėtuvėje 5);

arba

M06 T05 (tas pats);

Vykdamas šias programos eilutes automatinis įrankio keitiklis pakeis įrankį, esantį suklyje, įrankiu, kurio numeris dėtuvėje yra 5. Įrankis bus pakeistas ir staklėse be įrankio keitiklio su skėčio tipo dėtuve (I dalis, 4.24 pav., a). Adresas T, nurodantis įrankio numerį dėtuvėje, nebūtinai turi būti nurodomas vienoje eilutėje su M06. Kartais tai būna svarbu, nes galima sutrumpinti laiką, reikalingą įrankiui pakeisti. Automatinis įrankio keitiklis turi manipuliatorių su dviem šakutėmis, išdėstytomis viena prieš kitą ir besisukančiomis aplink ašį (I dalis, 4.21 pav., 4.24 pav., b), t. y. viena keitiklio šakutė nukreipta į suklį, kitą – į dėtuvę. Norint pakeisti įrankį, nurodytas programoje adresu T įrankis įstatomas į šakutę, esančią prie dėtuvės, o esantis suklyje įrankis nukrinta iš jo į kitą šakutę. Toliau svirtis pasukama ir įrankiai sukeičiami vietomis. Buvęs suklyje įrankis nukreipiamas į savo lizdą dėtuvėje, o dėtuvėje buvęs įrankis – į suklį. Prieš atliekant keitimą dėtuvė turi būti pasukta, kad imamas iš jos įrankis atsirastų ties šakute. Tam sugaištama laiko. Laiko nuostoliai gali būti ypač dideli staklėse su talpiomis dėtuvėmis (pavyzdžiui, 100 įrankių ir daugiau). Todėl visada geriau yra, kai prieš vykdamas kodą M06, kviečiamas įrankis lauktų kitoje keitiklio šakutėje. Tai atlikti galima dar tada, kai keičiamas įrankis dirba pagal programą, todėl adresas T gali būti nurodytas su judesio komandomis daug anksčiau nei kodas M06, panašiai kaip tai pateikta toliau:

...;

T01 M06 (įrankio pasirinkimas ir keitimas);

S1000 M03 (suklys paleidžiamas suktis į priekį, sūkiai – 1000 sūk./min);

...;

... (judesiai);

... T20 (įrankis, kurio numeris dėtuvėje yra 20, paruošiamas);

... (judesiai);

N15 M06 (įrankio Nr. 1 keitimas į Nr. 20);

S1500 M03 (suklys paleidžiamas suktis į priekį, sūkiai – 1500 sūk./min);

...;

... (judesiai);

...;

M30;

Tokio paruošimo negalima atlikti staklėse, kurių dėtuvės be manipuliatorių, o įrankis keičiamas tiesiog pačia suklio galvute, nusileidžiančia iš viršaus (pavyzdžiui, „HAAS“ firmos skėčio (*Umbrella*) tipo dėtuvė), tačiau klaidos programoje nebus. Tokiu atveju, vykdant anksčiau pateikto programos fragmento eilutę N15, įrankis Nr. 1 bus grąžintas į savo lizdą, ir tik po to bus paimtas įrankis Nr. 20.

Tekinimo staklėse nėra keitimo įrenginio, todėl M06 kodas joms nereikalingas. Reikiamas įrankis nustatomas į darbinę padėtį pasukant revolverinę galvutę, valdant adresu T, po kurio nurodomas įrankio numeris, pavyzdžiui, T02 (įrankis Nr. 2). Kodai M17/M18 naudojami galvutės pasukimo krypties nurodyti keičiant įrankį. Nenaudojant šių kodų revolverinė galvutė bus pasukta taip, kad kelias iki nurodyto įrankio būtų mažiausias. Pavyzdžiui, jeigu įrankis Nr. 1 yra darbinėje padėtyje, nurodžius T03, galvutė bus pasukta į priekį, nurodžius T10 – atgal. Nurodžius programoje M17 arba M18, galvutė bus pasukta tik į priekį arba tik atgal nuo tos vietos, kurioje nurodytas atitinkamas kodas M17 arba M18 iki programos pabaigos. Tai gali būti naudinga tada, kai galvutėje yra labai išsikišusių įrankių, norint išvengti susidūrimų su ruošiniu galvutei pasisukant.

Tepimo ir aušinimo skysčio tiekimas

Dauguma metalo pjovimo operacijų atliekamos aušinant įrankio ir ruošinio kontakto zoną tepimo ir aušinimo skysčiu. CNC tekinimo ir frezavimo staklėse tepimo ir aušinimo skysčio tiekimas valdomas pagrindiniais kodais – M08 (aušinimas laistymu, įjungti) ir M09 (nutraukti TAS tiekimą). Be to, staklėse gali būti numatyti ir kiti TAS tiekimo būdai (pavyzdžiui, TAS tiekimas rūku, didelio slėgio čiuurkšle per suklij, naudojant įrankius su vidinėmis ertmėmis), kurie valdomi papildomais M kodais (pavyzdžiui, „HAAS“ frezavimo staklių valdymo sistemose naudojamas kodas M88 TAS tiekti per suklij, o M89 – nutraukti TAS tiekimą per suklij, staklėse su „Fanuc“ valdymo sistemomis M07 įjungia TAS tiekimą rūko pavidalu ir pan.).

Tepimo ir aušinimo skysčio rūkas yra nedidelio TAS kiekio ir suslėgto oro mišinys. Taip tausojamas TAS kiekis operacijos metu. Galimybė aušinti rūku ir atitinkamai kodo M07 (aušinimas rūku gali būti valdomas ir kitu M kodu) naudojimas paprastai priklauso nuo staklių modelio ir komplektacijos. Kai kuriose staklėse šiuo kodu įjungiamas detalės apipūtimas oru, o ne TAS rūku. Kituose staklių modeliuose galimybė aušinti rūku gali būti tik papildomai užsakoma. „HAAS“ apdirbimo centruose kodas M07 naudojamas papildomai užsakomam TAS „dušui“ įjungti.

Aušinimas laistant arba TAS srove yra standartinis būdas, kuris yra visose CNC tekinimo ir frezavimo staklėse. Aušinama per tūtą TAS čiuurkšle, kurios slėgis nedaug skiriasi nuo atmosferos slėgio. Ten, kur valdymo sistema sutinka kodą M08, įjungiamas TAS siurblys, o kai sutinkamas M09 kodas – siurblys išjungiamas. Operatorius programoje gali įjungti siurblij, kai jis reikalingas (kai įrankis atlieka pjovimo judesius), ir išjungti, kai aušinimo nereikia (greitųjų judesių, įrankių keitimo metu ir pan.).

Visi trys minėti kodai gali būti užrašomi ir atskirose eilutėse, ir vienoje eilutėje su judesio komandomis, t. y. su G kodais. Tarp šių kodų užrašymo būdų yra skirtumų, kuriuos geriausiai paaiškinti pavyzdžiais:

a) Aušinimas rūku („Fanuc“) įjungiamas

M07;

b) Aušinimas laistant („Fanuc“, „HAAS“ ir kt.) įjungiamas

M08;

c) Aušinimas išjungiamas („Fanuc“, „HAAS“ ir kt.)

M09;

d) Judesys valdomų ašių kryptimis ir aušinimo įjungimas

G00 X110.2 Y142.55 M08;

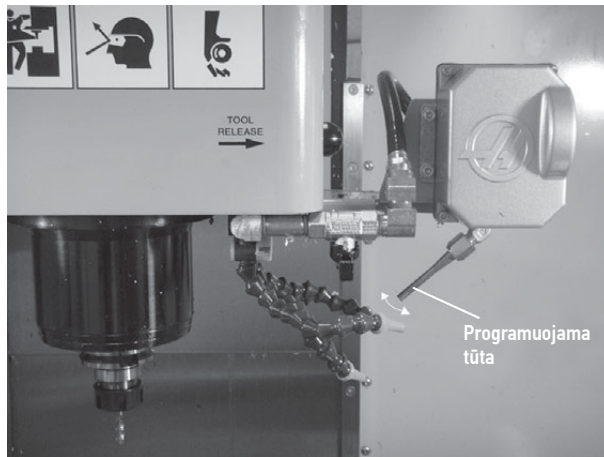
e) Judesys valdomų ašių kryptimis ir aušinimo išjungimas

G01 X14.2 Y15.55 F165.0 M09;

Jeigu kodai M07, M08 ir M09 yra atskirose eilutėse, kaip parodyta pavyzdžiuose a, b ir c, TAS įjungimas (arba išjungimas, c) įvyks tiesiog valdymo sistemai vykdant šią eilutę. Jeigu aušinimo įjungimo kodas (M07 arba M08) yra užrašytas vienoje eilutėje su judesio komandomis (pavyzdys d), TAS siurblys bus įjungtas ir judesys prasidės vienu metu, nepaisant to, kad kodas M08 (d) užrašytas po judesio komandos eilutės gale. Jeigu siurblys išjungiamas kodu M09 ir šis kodas užrašytas kartu su judesio komanda, siurblys bus išjungtas tik po to, kai bus atliktas judesys, nesvarbu kurioje eilutės vietoje bus užrašytas M09. Tai matoma iš 3.6 lentelės, kurioje M kodai suskirstyti į kodus, vykdomus eilutės pradžioje, ir į kodus, vykdomus eilutės pabaigoje. Įrankiu nebus pjaunamas metalas neušinant TAS net ir tada, jeigu operatorius padarytų klaidą.

Reikia pasakyti, kad kodu M08 tik įjungiamas siurblio variklis ir negarantuojama, kad TAS iš karto pasieks pjovimo zoną. Didesnių matmenų staklėse, kur TAS tiekimo vamzdynas yra ilgas, o slėgis sistemoje nedidelis, gali būti tam tikra delsa tarp kodo M08 suveikimo ir TAS srovės pasirodymo. Tai reikia turėti omenyje ir išdėstant M08 arba M07 kodus programose. Pavyzdžiui, dažnai patogu įjungti TAS siurblių prieš pjovimo judesį kartu su įrankio greitojo pozicionavimo – priartinimo judesiais. Taip pat reikia vengti situacijų, kai su TAS pradedama aušinti jau be aušinimo dirbantį (pjaunantį) įrankį. Dėl to gali atsirasti temperatūrinių deformacijų, dėl kurių įrankis (ypač iš keramikos) gali suirti.

Jau buvo minėta, kad kodai M07/M08/M09 šiuolaikinėse staklėse dažnai nėra vieningi, susiję su TAS tiekimu, ir dauguma staklių gamintojų siūlo ne tik efektyvius TAS tiekimo būdus, bet ir naujos konstrukcijos priemones TAS tiekimo efektyvumui didinti. JAV firma „HAAS Automation Inc.“ kaip papildomą priemonę frezavimo staklėse siūlo programuojamos kampinės padėties TAS tūtą (3.5 pav.). Ji valdoma kodais



3.5 pav. Programuojamos kampinės padėties TAS tūta vertikaliajame apdirbimo centre HAAS VF-2

M34 (tūta nukreipta žemyn nuo pradinės padėties per vieną poziciją) ir M35 (tūta nukreipta aukštyn prie pradinės padėties per vieną poziciją). Naudojant tokią tūtą galima efektyviau tiekti TAS į pjovimo zoną, dirbant skirtingų ilgių įrankiais. Taip pat galima paminėti frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose naudojamų ašinių įrankių (pavyzdžiui, grąžtų, frezų, sriegiklių) aušinimą per sukli (*Through Spindle Coolant, TSC*), valdomą kodais M88 (įjungimas) ir M89 (išjungimas). Siūloma taip pat papildomai užsakoma tekinimo staklių komplektacija su didelio slėgio TAS srove (valdoma tais pačiais kodais M88/M89, 3.5 lentelė). Staklėse su tokia komplektacija yra papildomas siurblys, kuris valdomas minėtais kodais.

Pavaros

Programuojamos staklių pavaros dažniausiai yra tik tekinimo staklėse ir centruose, tačiau ir tai ne visuose. Daugumoje tekinimo staklių yra dvi pavaros, jų kai kuriose galingose staklėse gali būti ir keturios. Operatorius arba programuotojas turi atitinkamai išsirinkti reikiamą atsižvelgęs į pjovimo sąlygas

Pavaros pasirenkamos panašiai kaip ir automobilio su mechanine pavarų dėže, tik staklėse yra mažiau pavarų. Pavyzdžiui, apdirbant rupiai dideliu pjovimo gyliu ir pastūma (panašiai kaip važiuojant automobiliu į kalną) reikia daugiau galios negu greičio. Tokiu atveju reikia įjungti žemą pavarą. Apdirbant glotniai, kai pjovimo gylis ir pastūma yra maži, o greitis didelis (važiuojant greitkeliu), reikia įjungti aukščiausią pavarą. M kodų, keičiančių pavaras, skaičius yra lygus staklių pavarų skaičiui ir būna nuo 2 iki 4 (3.8 lentelė).

Dažniausiai keičiant pavarą programoje suklys atskirai nesustabdomas, tačiau yra kai kurių staklių modelių, kuriuose reikia sustabdyti sukli (kodu M05), pakeisti pavarą vienu iš kodų M41/M42/M43/M44, paskui paleisti sukli suktis iš naujo (kodu M03 arba M04).

3.8 lentelė. CNC staklių pavarų valdymas

Staklių pavarų skaičius	M kodas	Pavara
1	–	–
2	M41	Žema (<i>Low</i>)
	M42	Aukšta (<i>High</i>)
3	M41	Žema (<i>Low</i>)
	M42	Vidutinė (<i>Medium</i>)
	M43	Aukšta (<i>High</i>)
4	M41	Žema (<i>Low</i>)
	M42	Vidutinė 1 (<i>Medium 1</i>)
	M43	Vidutinė 2 (<i>Medium 2</i>)
	M44	Aukšta (<i>High</i>)

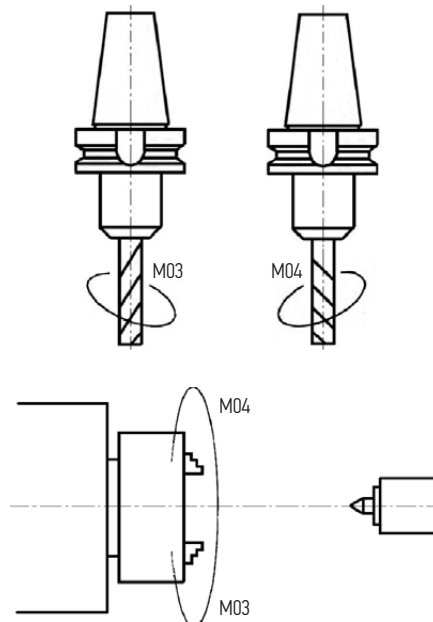
„HAAS“ firmos staklės būna dviejų pavarų, todėl jose naudojami kodai M41/M42. „Fanuc“ sistemose pavaroms perjungti rezervuojama iki 4 kodų, tai yra M41–M44.

3.3.4 ir 3.3.5 skirsniuose apžvelgti M kodai yra minimalus skaičius, kurį reikia žinoti programuotojui, rengiančiam paprastų CNC tekinimo (2 ašių) ir frezavimo (3 ašių) staklių programas. Dar apžvelgsime kai kuriuos M kodus kituose skyriuose, kuriuose bus kalbama apie papildomą staklių įrangą, o dabar grįšime prie G kodų ir pradėsime nuo 01 grupės – judesio komandų.

Kontroliniai klausimai

1. Kokia yra CNC staklių valdymo programos sandara, iš kokių elementų sudaryti programos žodžiai, eilutės, pati programa?
2. Kokie pagrindiniai adresai naudojami tekinimo ir frezavimo staklių valdymo programoms sudaryti?
3. Kokie pagrindiniai simboliai naudojami tekinimo ir frezavimo staklių valdymo programose?
4. Kaip staklių valdymo sistema nustato taškų koordinacių reikšmių ženklus, kai šios reikšmės nurodomos su ir be „+“ ženklų, pavyzdžiui, X+152.12, Y15.63, X152.12, Y+15.63, kaip bus traktuojamos koordinatės, kai nurodytas „-“ ženklas, pavyzdžiui, X-12.26, Z-5.0?
5. Kas yra paruošiamosios komandos arba G kodai, kokia jų paskirtis staklių programoje?
6. Kas yra kodų modalumas? Kaip veikia modaliniai ir nmodaliniai G kodai?
7. Kodėl G kodai grupuojami? Išvardykite pagrindines G kodų grupes.

8. Kiek skirtingų grupių G kodų galima išdėstyti vienoje programos eilutėje, kiek galima išdėstyti vienos grupės G kodų, norint išvengti konfliktinių situacijų?
9. Kas yra M kodai? Kokia yra jų paskirtis staklių programoje? Išvardykite pagrindinius M kodus, naudojamus frezavimo ir tekinimo staklių programose.
10. Į kokias pagrindines grupes suskirstyti M kodai?
11. Kokios taisyklės taikomos išdėstant M kodus programos eilutėse? Kiek M kodų galima išdėstyti vienoje programos eilutėje? Kokie M kodai iš pateiktų: M00, M01, M03, M04, M05, M06, M08, M09, M30 pradės veikti judesio pabaigoje, o kokie pradžioje, jeigu jie užrašyti kartu su judesio komandomis?
12. Koks skirtumas yra tarp programos M kodų M00, M01, M02 ir M30 veikimo?
13. Kokias funkcijas atlieka staklių M kodai: M03, M04, M05, M06, M08, M09 ir M19? Parodykite rodyklėmis toliau pateiktoje schemeje, į kurią pusę suksis frezavimo ir tekinimo staklių sukliai, kai nurodoma sukčiai kodais M03 ir M04.
14. Koks adresas naudojamas suklio sūkiams nurodyti kartu su kodais M03/M04? Koks adresas naudojamas įrankio numeriui dėtuvėje nurodyti?



ĮRANKIŲ JUDESIAI IR JŲ VALDYMAS

4.1. Greitasis pozicionavimas

Kaip ir įprastinėse rankinio valdymo staklėse, programinio valdymo staklėse technologinės operacijos metu įrankiu medžiaga ne visada pjaunama, o atliekami dar ir pagalbiniai judesiai. Žinoma, kad laikas, per kurį įrankis juda pastūmos greičiu, nuimdamas medžiagos sluoksnį, vadinamas mašininio laiku. Be jo, į operacijos trukmę įeina ir pagalbinis laikas, kurio metu pjaunamas „oras“ (pvz., pakeisto įrankio prie ruošinio priartinimas, įrankio atitraukimas nuo ruošinio atlikus operaciją arba pakopą ir panašūs judesiai). Šie judesiai yra neproduktyvūs ir nepageidautini, tačiau be jų apseiti neįmanoma. Bet kuriuo atveju siekiama, kad jie būtų atliekami kuo greičiau, siekiant sutrumpinti pagalbinį laiką ir operacijos trukmę (arba vienetinį laiką). Įprastinėse staklėse juos galima buvo atlikti pagreitintai, įjungiant ir išjungiant greitąją eigą svirtimis arba mygtukais. Dirbant programinėmis staklėmis šiems judesiams atlikti yra greitojo pozicionavimo (*Rapid traverse motion, Rapid motion positioning*) režimas, kuris įjungiamas modaliniu kodu G00. Programinio valdymo staklių greitojo pozicionavimo judesiai atliekami kur kas greičiau negu apdirbant įprastinėmis staklėmis. Dažniausiai jie atliekami tokiais atvejais:

1. Įrankiui judant nuo įrankio keitimo pozicijos iki ruošinio.
2. Įrankiui judant nuo apdirbto detalės paviršiaus iki įrankio keitimo pozicijos.
3. Aplenkiant kliūtis, pasitaikančias apdirbant (pvz., prispaudiklius, spaustuvų žiaunas ir pan.).
4. Tarp skirtingų detalės pozicijų (pvz., išgręžus vieną skylę frezavimo staklių stalas pozicionuojamas taip, kad po grąžto ašimi atsidurtų kitos skylės centras).
5. Judant pagal koordinačių ašis į staklių nulį.

Visų šių judesių metu įrankis nekontaktuoja su detale, neveikia pjovimo jėgos, dėl kurių jis gali sulūžti, todėl judėjimo greitis (arba pastūma) nėra ribojamas technologiniu požiūriu. Todėl, kaip jau minėta, būtų logiška atlikti šituos judesius kuo greičiau, kad sumažėtų pagalbinis operacijos laikas. Gavusi greitojo pozicionavimo komandą valdymo sistema nukreipia įrankį kaip galima greičiau į nurodytą staklių darbo erdvės tašką. Greitojo pozicionavimo greitis ribojamas staklių gamintojų ir dažniausiai yra nuo 5000 iki 40 000 mm/min, bet būna ir didesnis. Tekinimo staklėse šis greitis

paprastai yra mažesnis negu frezavimo. Šis greitis priklauso ne tik nuo gamintojo ir staklių modelio, bet ir nuo pagaminimo metų. Kuo naujesnės staklės, tuo didesnis ir greitojo pozicionavimo greitis, t. y. staklės našesnės. Pažymėtina, kad greitojo pozicionavimo greitis nebūtinai gali būti vienodas visoms valdomoms ašims. Frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose dažnai greitojo pozicionavimo pagal Z ašį greitis skiriasi nuo greičio pagal X ir Y ašis. Sukimosi ašių (A, B) greitojo pozicionavimo greitis taip pat dažnai skiriasi nuo likusių ašių greitojo pozicionavimo greičio. Tekinimo staklių greitis pagal Z ir X ašis dažnai būna nevienodas.

Greitojo pozicionavimo eilutės struktūra bendruoju atveju atrodo taip:

G00 X... Y... Z... A... B... C...;

čia X, Y, Z, A, B, C – staklių valdomų ašių adresai, po kurių turi būti nurodomos galinio judesio taško koordinatčių reikšmės linijiniais (mm arba coliais, priklausomai nuo pasirinktos sistemos) arba kampiniais (sukimosi ašims A, B ir C) vienetais, absoliučiosiomis koordinatėmis arba prieaugiais (priklausomai nuo pasirinkto koordinatčių režimo, kuriam nustatyti frezavimo staklėse naudojami kodai G90/G91, o tekimo staklėse vietoje adresų X, Z ir C naudojami atitinkamai U, W ir H).

Greitojo pozicionavimo judesys prasideda nuo taško, kuriame duotuoju metu yra įrankis (tiksliau, jo atraminis taškas), ir baigiasi taške, kurio koordinatės nurodytos eilutėje. Greitasis pozicionavimas gali būti pagal vieną valdomą ašį arba kaip sudėtinis judesys – pagal dvi arba daugiau valdomų ašių vienu metu. Tai valdoma programoje naudojant skirtingus ašių adresus eilutėje. 4.1 lentelėje parodytos trys frezavimo staklių valdymo programos eilutės, kurias vykdant atraminis įrankio taškas vis tiek atsidurs taške, kurio koordinatės yra X100 Y150 Z0,5, tačiau judesys bus atliktas skirtingai. Kairiajame lentelės stulpelyje parodytame pavyzdyje įrankis judės į tašką, kurio koordinatės yra X100 Y150 Z0,5 pagal 3 ašis (X, Y ir Z, 2,5 pav., a ir b) vienu metu, viduriniame stulpelyje – pirmiausia pagal dvi ašis vienu metu (X ir Y), paskui pagal likusią Z ašį. Vykdamas dešiniojo stulpelio eilutes įrankis judės pirmiausia X ašies kryptimi, atlikęs šį judesį – pagal Y ašį ir pagaliau – pagal Z ašį. Greitasis judesys taip pat

4.1 lentelė. Greitojo pozicionavimo komandos programavimo pavyzdžiai (frezavimo staklės)

...; G00 X100.0 Y150.0 Z0.5; ...	...; G00 X100.0 Y150.0; Z0.5; ...	...; G00 X100.0; Y150.0; Z0.5; ...
<p>Pastaba. G00 yra modalinis kodas. Tai reiškia, kad jo nustatytas greitojo pozicionavimo režimas lieka aktyvus ir tolesnėse eilutėse, todėl jose ir nenurodytas</p>		

gali būti užprogramuotas absoliučiosiomis koordinatėmis arba prieaugiais. Šis judesys gali būti atliktas nepriklausomai nuo to, sukasi suklys arba ne (nepriklausomai nuo to, ar buvo prieš greitojo pozicionavimo eilutę nurodytas koks nors iš M03 ir M04 kodų).

Tam, kad įrankis, užspaustas suklyje (frezavimo staklėse) arba revolverinėje galvutėje (tekinimo staklėse), pradėtų pagreitintai judėti į reikiamą darbo erdvės tašką detalės koordinacių sistemoje, programoje reikia nurodyti kodą G00. Operatorius arba programuojas neturi nurodyti pastūmos adreso F ir pastūmos reikšmės. Jeigu jie užprogramuoti eilutėje, valdymo sistema juos vis tiek ignoruos greitosios eigos metu. Tai reiškia, kad greitojo pozicionavimo greitis negali būti keičiamas programoje. Operatorius gali apriboti jį iki tam tikros reikšmės valdymo pulte arba valdymo sistemos nustatymais. Tam JAV firmos „HAAS“ staklių programinio valdymo įrenginio skydelyje yra mygtukai 5 % *RAPID*, 25 % *RAPID*, 50 % *RAPID* ir 100 % *RAPID* (I dalis, 4.86, 4.87 pav.). Paspaudus vieną iš jų, vykdant programą greitojo judesio greitis bus apribotas iki 5, 25, 50 arba 100 % nustatyto gamintojo („HAAS“ staklėse greitojo pozicionavimo greitis yra 700 colių/min, arba 17 780 mm/min). „Fanuc“ valdymo įrenginio skydelyje yra pasukamasis jungiklis greitojo pozicionavimo greičiui riboti. Greitojo pozicionavimo greitis dažniausiai ribojamas prieš paleidžiant programą pirmą kartą, norint suspėti nutraukti programą pastebėjus kažką įtartino staklėms dirbant. Apriboti „HAAS“ firmos staklių greitojo pozicionavimo greitį iki 50 % galima nustatymu 10, kuris turi būti nustatytas į *On* padėtį.

Paminėtina, kad net ir nurodžius pastūmą prie kodo G00 programa dirbs, pastūmos reikšmė bus išsaugota atmintyje ir bus panaudota pjovimo judesiams atlikti (su kodais G01, G02, G03), jeigu prie jų nebus nurodyta nauja reikšmė. Pavyzdžiui, pateiksime frezavimo staklių programos fragmentą:

```
...;
N45 G00 X12.11 F125.0;
N46 Y12.15;
N47 G01 Z-5.0;
...;
```

Šiame programos fragmente N45 eilutėje užprogramuotas greitis judesys į tašką X12,11, 125 mm/min pastūma bus ignoruojama, toliau vyks greitis (G00 yra modalinis kodas) judesys staklių greitojo pozicionavimo greičiu (jei jis neapribotas valdymo pulto skydelyje arba sistemos nustatymais) į tašką Y12,15. Eilutėje N47 programuojamas tiesinis pjovimo judesys, kurio pastūma turi būti nurodyta vienoje eilutėje su G01. Priešingu atveju bus naudojama paskutinė užprogramuota pastūma (mūsų atveju tai 125 mm/min, kuri nurodyta eilutėje N45).

Kitame panašiam pavyzdyje viskas vyksta analogiškai, tik pjovimo judesys (N47) bus atliktas 98 mm/min greičiu, o ne 125 mm/min, kaip pirmiau pateiktame pavyzdyje, nes eilutėje N47 kartu su G01 kodu užprogramuota nauja pastūma žodžiu F98.0, kuri pakeičia F125.0 reikšmę, užprogramuotą eilutėje N45. Žodis F125.0 eilutėje N45

iš viso programoje nenaudojamas ir gali būti nenurodytas. Programa veiks be klaidos bet kuriuo atveju.

...;

N45 G00 X12.11 F125.0;

N46 Y12.15;

N47 G01 Z-5.0 F98.0;

...;

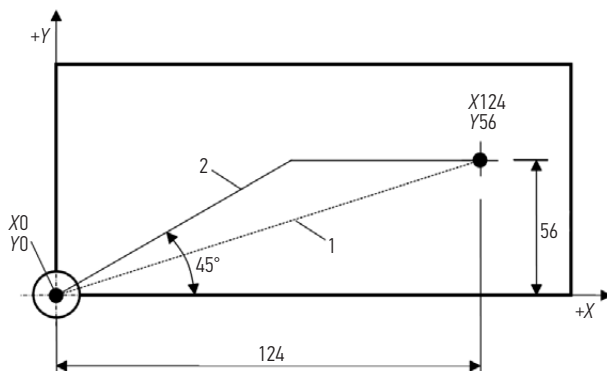
Kiekvienas greitojo pozicionavimo judesys yra tiesinis, o ne kreivinis. Tačiau labai svarbu suvokti, kad greitasis judesys tarp dviejų taškų (vienas pradinis, kuriame duotuoju metu yra įrankis, kitas – galinis, kurio koordinatės yra nurodomos eilutėje) nebūtinai bus pagal tiesę, jungiančią šiuos du taškus (t. y. trumpiausiu keliu tarp šių taškų). Įrankio judesio trajektorija tarp šių taškų gali būti įvairi – viena tiesė arba kelios tiesės (bet jokių būdu ne apskritimo lankas) – ir priklausys nuo tokių parametru, kaip judesio pradžios ir pabaigos taškų koordinatės, ašių, pagal kurias atliekamas judesys, skaičius, greitojo judesio greitis pagal kiekvieną valdomą ašį. Greitojo judesio tikslas – sumažinti pagalbinį laiką. Detalės formai jo trajektorija įtakos neturi. Kaip staklėse atliekamas šis judesys, yra visiškai nesvarbu, reikia tik atsiminti, kad įrankio kelyje neturi būti jokių kliūčių (pvz., spaustuvai, prispaudikliai, pasukama frezavimo staklių galvutė, arklukas, griebtuvas, detalė). Susidūrus su jais greitosios eigos greičiu, gali sulūžti ne tik įrankis, bet ir sugadintas staklių junginys arba įtaisas.

Bet kuris judesys, užprogramuotas išilgai vienos iš valdomų ašių, vykdomas pagal tiesę, lygiagrečią su šia ašimi. Tokie judesiai turi būti programuojami atskirose eilutėse, kaip parodyta dešiniajame 4.1 lentelės stulpelyje. Šiame fragmente įrankis (tiksliau, stalas, bet sakome, kad įrankis) atliks judesį pagal X ašį į tašką X100. Pasibaigus šiam judesiui, įrankis judės Y ašies kryptimi į tašką Y150. Toks metodas (kai judesių pagal atskiras ašis komandos išdėstomos atskirose eilutėse) gerai tinka, kai reikia aplenkli kliūtis, esančias įrankio kelyje.

Jeigu greitasis judesys vienu metu vyksta ne išilgai vienos, o dviejų arba daugiau ašių kryptimis, tikroji judesio trajektorija ne visada yra tiesė. Panagrinėsime pavyzdį. Tegul vertikaliųjų frezavimo staklių suklyje esančio įrankio ašis yra taške X0 Y0 detalės koordinačių sistemoje (kairysis apatinis kampas), kaip parodyta 4.1 pav. Reikia, kad įrankio ašis atsidurtų virš skylės centro, kurio koordinatės yra X124 Y56. Tam eilutėje nurodome G00 X124.0 Y56.0. Atrodo, kad judesio dviejų ašių kryptimis iš vieno taško į kitą trajektorija yra įstrižainė (4.1 pav., 1). Tačiau judesys gali būti ir kitoks. Apskaičiuokime: įrankis (tiksliau, staklių stalas) turi atlikti $124 - 0 = 124$ mm ilgio judesį pagal X ašį ir $56 - 0 = 56$ mm judesį pagal Y ašį. Jeigu greitojo judesio greitis pagal abi valdomas X ir Y ašis yra vienodas (tegu $17\,780$ mm/min), tai užtruks:

$$124/17780 = 0,00697 \text{ min, arba } 0,418 \text{ s, pagal ašį X ir}$$

$$56/17780 = 0,00315 \text{ min, arba } 0,189 \text{ s, pagal ašį Y.}$$



4.1 pav. Įrankio judėjimo trajektorijos, kai greitojo pozicionavimo judesys programuojamas pagal X ir Y ašis vienu metu: 1 – planuojama; 2 – tikroji

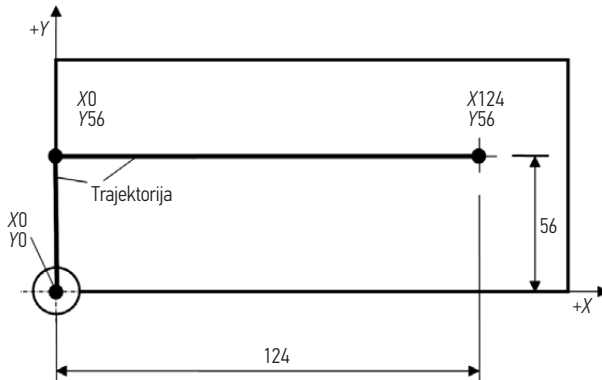
Taigi, galima įsitikinti, kad judesys nebus pagal įstrižainę, jungiančią taškus $X_0 Y_0$ ir $X_{124} Y_{56}$, nes laikas, reikalingas judesiui atlikti pagal kiekvieną koordinatinių ašį, skirtingas. Įrankis negalės patekti pagal tiesę iš karto į galinį tašką, nes greitasis judesys vyksta *vienodu* greičiu pagal X ir Y ašis, o atstumai tarp pradinio ir galinio taško pagal ašis X ir Y yra skirtingi (pagal Y mažiau). Norint patekti į galinį tašką pagal įstrižainę, valdymo sistema turi sumažinti greitį pagal Y ašį, o tai atlikti ji negali, kai nurodytas greitojo pozicionavimo režimas G00 kodu. Abiejų ašių stalo pastūmos varikliai sukis didžiausiu greičiu, todėl tikrojo judesio trajektorija atrodys taip, kaip pavaizduota 4.1 pav., 2. Iš pradžių stalas juda abiejų valdomų ašių kryptimis 45° kampu su X ir Y ašimis. Toks judesys užtruks 0,189 s. Likusį atstumą ($124 - 56 = 68$ mm) stalas judės tik X ašies kryptimi ir šio judesio trukmė bus $0,418 - 0,189 = 0,229$ s. Į galinį tašką įrankis atkeliaus po 0,418 s. Kur kas paprasčiau nustatyti įrankio trajektoriją, kai jis nukreipiamas pagal kiekvieną ašį atskirai, panašiai kaip tai parodyta dešiniajame 4.1 lentelės stulpelyje:

```
G00 Y56.0;
X124.0;
```

Tokiu atveju ji bus tokia, kaip parodyta 4.2 pav., tačiau, palyginti su 4.1 pav. 2 pateiktu atveju, toks judesys užimtų daugiau laiko, jo trukmė bus $0,418 + 0,189 = 0,607$ s.

Iš 4.1 pav. matoma, kad tam tikrais atvejais įrankio trajektorija gali būti tiesė, jungianti pradžios ir pabaigos taškus (t. y. tiesė 1). Toks atvejis bus tada, kai atstumai tarp taškų pagal X ir Y ašis bus vienodi ir greitojo pozicionavimo greitis pagal šias ašis taip pat vienodas. Panašiai gali būti ir tada, kai staklių greitojo pozicionavimo greitis pagal abi valdomas ašis yra skirtingas. Šiuo atveju tai atsitiktų tada, kai judesio greitis pagal X ašį būtų $17\,780$ mm/min, o pagal Y ašį:

$$(56/0,418)60 = 8038,28 \text{ mm/min.}$$



4.2 pav. Įrankio judėjimo trajektorija, kai greitojo pozicionavimo judesys programuojamas atskirai pagal Y ir X ašis

Tokiu atveju atstumai pagal X ir pagal Y ašį bus įveikti per tą patį laiką, kuris bus:

$124/17780 = 0,00697$ min, arba 0,418 s, pagal ašį X ir

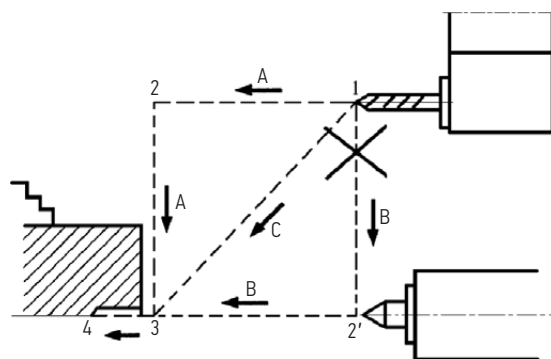
$56/8038,28 = 0,00697$ min, arba 0,418 s, pagal ašį Y.

Trajektorijos kampas su X ašimi bus $24,3^\circ$ ($\arctan 56/124$).

Panašiai gali būti nustatyta ir greitojo pozicionavimo judesio pagal tris valdomas ašis trajektorija.

Reikia pažymėti, kad tokie skaičiavimai atliekami labai retai programuojant. Jie turi prasmę tik tada, kai greitojo judesio zonoje yra kliūčių, su kuriomis įrankis gali susidurti. Frezavimo staklėse dažniausiai pagreitininti įrankio pozicionavimo judesiai pagal X ir Y ašis atliekami, kai įrankis yra saugiu atstumu nuo detalės paviršiaus (pagal Z ašį), tik paskui greitojo pozicionavimo judesys atliekamas pagal Z ašį. Atitraukiamas įrankis atvirkščiai, pradžioje Z ašies kryptimi, po to likusių dviejų ašių kryptimis vienu metu.

Tekinimo staklėse su arkliuku greitojo pozicionavimo judesius patartina atlikti pagal kiekvieną iš ašių atskirai, o ne kartu. Taip 4.3 pav. pateiktame pavyzdyje, gręžiant skylę detalės galiniame paviršiuje, reikia atlikti tokias pakopas: pagreintai priartinti grąžtą prie skylės centro (t. y. iš taško 1 (keitimo pozicija) į tašką 3), gręžti pastūmos greičiu (iš taško 3 į 4), pagreintai nukreipti grąžtą atgal į tašką 3, po to – į įrankio keitimo poziciją 1. Grąžtui judant iš taško 1 į tašką 3 pagal abi valdomas ašis kartu (pvz., G00 X0.0 Z2.0), revolverinė galvutė gali užkabinti arkliuką, todėl šiuo atveju geriau išskaidyti greitąjį judesį į dvi dalis. Iš pradžių judama pagal ašį Z (iš 1 į 2), po to pagal X (iš 2 į 3), toliau gręžiama. Atitraukiamas grąžtas atvirkštine tvarka: pagal X ašį iš 3 į 2, toliau pagal Z ašį į tašką 1. Valdant pagal ašis atskirai pagalbinis laikas didėja, tačiau dirbti saugiau. Tokia taisyklė patartina naudotis ir tais atvejais, kai staklėse nėra arkliuko arba jis atitrauktas ir nenaudojamas, kad išliktų įgūdžiai, perėjus dirbti prie kitų staklių su arkliuku arba atliekant operacijas arba pakopas, kai arkliukas



4.3 pav. Įrankio greitojo pozicionavimo judesio trajektorija prieš gręžiant skylę tekavimo staklėmis: A (1–2–3) – saugi; B (1–2'–3) – nepriimtina; C (1–3) – pavojinga

reikalingas. Svarbus yra judesių pagal ašis eiliškumas. Iš 4.3 pav. matyti, kad priartinti grąžtą iš pradžių pagal X ašį (t. y. iš taško 1 į tašką 2') nėra saugu.

Iš pateiktų eilučių galima matyti, kad jeigu judesys pagal tam tikrą valdomą ašį eilutėje nevykdomas (tai būdinga ne tik greitojo pozicionavimo judesiui, bet ir kitiems judesiams bei ciklams), geriausia šios ašies adreso eilutėje visai nenurodyti. Valdymo sistema vykdys judesį tik pagal nurodytas eilutėje ašis, kitos nenurodytos įrankio koordinatės nesikeičia. Taip vykdant eilutę:

```
G00 X15.0 Y0.0;
```

keičiasi įrankio X ir Y koordinatės, bet ne Z koordinatė, kuri liks tokia pati kokia ir buvo prieš judesį. Įrankio judesiui iš taško $X0 Y0$ į tašką $X0 Y56$ (4.2 pav.) X koordinatės nurodyti nebūtina, geriau užrašyti:

```
G00 Y56.0;
```

o ne:

```
G00 X0.0 Y56.0;
```

Klaidos nebus ir antruoju atveju. Judant iš taško $X0 Y56$ į tašką $X124 Y56$ nurodoma:

```
X124.0;
```

o ne:

```
G00 X124.0 Y56.0;
```

Panašiai daroma ir programuojant prieaugio koordinatėmis. Pavyzdžiui, įrankiui judant iš taško $X0 Y0$ į tašką $X0 Y56,0$ (4.2 pav.) nurodoma:

```
G91 G00 Y56.0;
```

o ne:

G91 G00 X0.0 Y56.0;

Judant toliau iš šio taško į tašką X124 Y56 nurodoma:

X124.0:

o ne:

X124.0 Y0.0;

Nurodžius kodą G00 su sukimosi ašių adresais A, B ir C, šių ašių varikliai suksis kaip galima greičiau, kad detalė arba suklio galvutė būtų pasukta į nurodytą po adresu kampinę padėtį. Ši padėtis, jeigu aktyvus yra absoliučiąjį koordinacių režimas, nustatoma nuo programos nulio (sukimosi ašims taip pat gali būti nustatytas detalės nulis) arba nuo šios ašies staklių nulio. Padėtis gali būti nustatoma ir nuo paskutinės užprogramuotos ašies pozicijos praeugiais, jei yra aktyvus praeugių režimas, pavyzdžiui:

G90 G00 A56.35 (pagal A ašį pasukama į kampinę padėtį 56,35° nuo nulio teigiamąja kryptimi);

G91 G00 A50.0 (pagal A ašį pasukama 50° kampu nuo esamos padėties teigiamąja kryptimi);

Tekinimo staklėse su valdoma C ašimi („HAAS“ firmos):

G00 C90.0 (suklys pasukamas į kampinę padėtį 90° nuo nulio teigiamąja kryptimi);

G00 H25.0 (suklys pasukamas 25° nuo esamos padėties teigiamąja kryptimi);

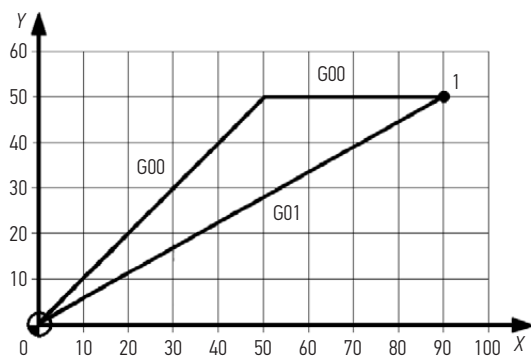
4.2. Tiesinė interpoliacija

Tiesinės interpoliacijos judesys yra pjovimo judesys, skirtas medžiagos sluoksniui nuo ruošinio nuimti. Terminu *interpoliacija* aprašomas tam tikro dydžio tarpinių reikšmių ieškojimo pagal tam tikras žinomas kraštines reikšmes procesas. Taigi, jeigu atraminis įrankio taškas yra darbo erdvės taške A, kurio koordinatės detalės koordinacių sistemoje yra X ir Y ir kodu G01 jam nurodoma atvykti į galinį tašką B, kurio koordinatės yra X_1 ir Y_1 , įrankis atvyks į šį tašką per tam tikrus tarpinius taškus tarp pradinio ir galinio taškų, bet šie taškai (taip pat kaip ir pradinis, ir galinis) yra *vienoje linijoje*. Todėl šis judesys ir vadinamas *tiesinės* interpoliacijos judesiu. Tokiu atveju turėsime trajektoriją 1, pavaizduotą 4.1 pav.

Kyla klausimas – o kodėl pjovimo judesiui atlikti negali būti naudojamas greitojo pozicionavimo kodas G00? Negali dėl dviejų priežasčių. Visu pirma, kaip buvo parodyta 4.1 poskyryje, atliekant greitojo pozicionavimo judesį pagal dvi ir daugiau ašių dažniausiai bus judama ne pagal vieną, o pagal kelias tarpusavyje sujungtas tieses (tokio judesio trajektorija dar vadinama „šuns koja“), kaip parodyta 4.1 pav. (2 trajektorija), nes naudojant kodą G00 negalima sumažinti judesio greičio pagal vieną iš valdomų ašių, bus judama didžiausiu greičiu pagal visas programuojamas ašis. Antra priežastis ta, kad naudojant kodą G00 negalima valdyti judesio greičio (t. y. pastūmos),

judėsys vyks tik didžiausiu gamintojo nustatytu greičiu, o toks greitis yra per didelis įjaunant metalą, įrankis tiesiog gali sulūžti. Kodas G01 reikalauja nurodyti pastūmą ir leidžia keisti jos dydį, priklausomai nuo apdirbamos medžiagos ir įrankio.

Skirtumas tarp G00 ir G01 kodų veikimo parodytas 4.4 pav. Programuojant judėsius vienu ir kitu atveju atraminis įrankio taškas atsidurs tame pačiame taške 1, kurio koordinatės užprogramuotos po kodo (mūsų atveju tai X90 Y50), tačiau atsidurs ten skirtingais keliais ir skirtingais greičiais (taip pat žr. 4.1 poskyrį). Pirmuoju atveju, kai nurodoma greitojo pozicionavimo komanda G00 X90.0 Y50.0 įrankio atraminis taškas (tegu grąžto ašis) atsidurs taške X50 Y50 (jeigu judesio greitis pagal ašis yra vienodas), toliau judės išilgai X ašies į tašką X90 nekeičiant padėties pagal Y ašį. Pats judėsys bus atliktas didžiausiu gamintojo nustatytu greičiu pagal valdomas ašis. Antruoju atveju, kai nurodyta eilutė G01 X90.0 Y50.0, bus judama trumpiausiu keliu pagal tiesę, nurodytu anksčiau, arba eilutėje su G01 po adreso F pastūmos greičiu. Įrankių trajektorijos, gautos G00 ir G01 kodais, gali sutapti tik tada, kai galinio taško X ir Y koordinatės yra tokios pačios (pvz., X20 Y20, X40 Y40). Paminėtina, kad įvykdyti šią sąlygą reikia, kad greitojo judesio greičiai pagal X ir Y ašį būtų vienodi, priešingu atveju ši sąlyga nebus įvykdoma. Jeigu greitojo pozicionavimo greičiai pagal ašis nesutampa, trajektorijos gali sutapti tik atsitiktinai, tam tikru būdu susiklosčius aplinkybėmis. Toks atvejis buvo nagrinėtas 4.1 poskyryje.



4.4 pav. Greitojo pozicionavimo ir tiesinės interpoliacijos judėsių trajektorijos: 0 – judesio pradžios taškas (X0 Y0); 1 – judesio pabaigos taškas (X90 Y50)

Tiesinės interpoliacijos komandos sintaksė bendruoju atveju yra tokia:

G01 X... Y... Z... A... B... C... F...;

čia X, Y, Z, A, B, C – staklių valdomų ašių adresai, po kurių turi būti nurodomos galinio judesio taško koordinatėms reikšmės (absoliučiosiomis koordinatėmis arba prieaugiais, priklausomai nuo pasirinkto režimo), linijinės (X, Y, Z, mm arba coliais, priklausomai nuo pasirinktos sistemos) arba kampinės (A, B, C), priklausomai nuo

ašies; F – pastūma (colijų/min arba mm/min, taip pat mm/sūk. arba colijų/sūk.), priklausomai nuo pasirinktos vienetų sistemos.

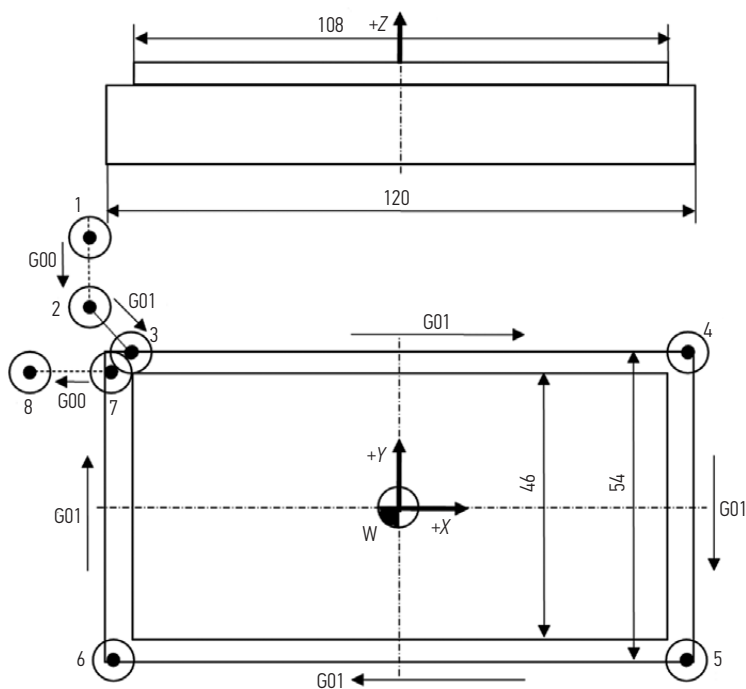
Priklausomai nuo koordinačių programavimo metodo tiesinės interpoliacijos kodo G01 (kaip ir G00) judesiai gali būti vykdomi absoliučiosiomis koordinatėmis ir prieaugiais. Modaliniais kodais G90 ir G91 pasirenkamas reikiamas būdas frezavimo staklėse. Dirbant tekinimo staklėmis vietoje absoliučiąjų koordinačių adresų X ir Z turi būti nurodomi prieaugių adresai U ir W atitinkamai (H adresas naudojamas „HAAS“ firmos tekinimo staklėse C ašies prieaugio koordinatei nurodyti).

Kaip matyti iš eilutės, pastūmos adresas F ir jos reikšmė būtini kodui G01. Judesys iš pradinio į galinį tašką bus atliktas tik nustatytu pastūmos greičiu. Tačiau nebūtinai pastūma F turi būti nurodyta vienoje eilutėje su kodu G01. Kaip ir kodas G01, pastūmos adresas F yra modalinis ir lieka aktyvus kitose eilutėse, kol bus pakeistas nauja reikšme. Tai iliustruoja pavyzdys, pateiktas 4.1 poskyryje. Jeigu pastūma yra vienoda visiems judesiams, ji gali būti užprogramuota tik vieną kartą eilutėje su kodu G01 arba anksčiau. Vykdamas kitas programos eilutes pastūmos judesiai bus atliekami paskutinės užprogramuotos pastūmos greičiu. Tačiau jei pastūma programoje nėra nurodyta, net prieš G01, tokia programa valdymo įrenginiu bus nutraukta ir pasirodys pranešimas apie klaidą.

Eilutėje po kodo G01 (taip pat kaip ir po G00, ir kitų judesio komandų) nurodomos judesio galinio (dar vadinamo atvykimo) taško koordinatės. Pradinė (dar vadinama išvykimo) judesio pozicija yra dabartinė įrankio pozicija. Tokiu būdu galinė prieš tai vykusio judesio pozicija tampa pradine kitam judesiui atlikti, įrankis juda nuo vieno taško iki kito, nuosekliai, pvz., apeidamas visus trajektorijos krypties pasikeitimo taškus. Toks pavyzdys pateiktas 4.5 pav., kur pirštine freza formuojamas detalės iškyšos kontūras.

Iš šio pavyzdžio matyti, kad pradiniu pastūmos judesio G01 tašku gali būti ne tik pastūmos judesio, užprogramuoto kodu G01, galinis taškas, bet ir greitojo pozicionavimo judesio G00 galinis taškas (pvz., judesys į tašką 2 yra greitojo pozicionavimo judesys). Šiuo atveju G01 kodas pakeičia modalinį G00 kodą. Nuo eilutės su G01 visos toliau nurodomos taškų koordinatės be jokio G kodo staklių valdymo sistemos bus suprantamos kaip koordinatės, į kurias reikia kreipti įrankį tiesinės interpoliacijos judesiu.

Parengsime programos fragmentą 4.5 pav. pateiktam iškyšos kontūruui frezuoti vertikaliosiomis frezavimo staklėmis. Reikia frezuoti 108×46 iškyšą ruošinyje, kurio matmenys – 120×54 mm. Programuosime judesius nuo taško 1 iki taško 8, kurie yra trajektorijos kitimo taškai. Jų koordinatės nustatysime įvertinę detalės matmenis ir frezos spindulį (tegu jis yra 4 mm) ir pateiksime 4.2 lentelėje. Detalės koordinačių sistemos pradžią parinksime jos viršutinės plokštumos įstrižainių susikirtimo taške.



4.5 pav. Frezuojamos detalės iškyšos kontūras ir frezos ašies kraštinės eigų padėtys

4.2 lentelė. Iškyšos (4.5 pav.) kontūro taškų absoliučiosios koordinatės

Taško Nr.	Taško absoliučioji koordinatė detalės koordinačių sistemoje	
	X	Y
1	-66	+55
2	-66	+40
3	-54	+27
4	+58	+27
5	+58	-27
6	-58	-27
7	-58	+23
8	-75	+23

...;

(programos fragmentas absoliučiosiomis koordinatėmis);

N05 G90 G00 X-66.0 Y40.0 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką 2 pagal Y ašį);

N10 G01 X-54.0 Y27.0 F170.0 (tiesinės interpoliacijos (įsipjovimo) judesys į tašką 3 pagal X ir Y ašis 170 mm/min pastūmos greičiu);

N15 G01 X58.0 Y27.0 F170.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 4 pagal X ašį 170 mm/min pastūmos greičiu);

N20 G01 X58.0 Y-27.0 F170.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 5 pagal Y ašį 170 mm/min pastūmos greičiu);

N25 G01 X-58.0 Y-27.0 F170.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 6 pagal X ašį 170 mm/min pastūmos greičiu);

N30 G01 X-58.0 Y23.0 F170.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 7 pagal Y ašį 170 mm/min pastūmos greičiu);

N35 G00 X-75.0 Y23.0 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką 8 pagal X ašį);

...;

Įvertinus tai, kad kodas G01 ir adresas F yra modaliniai, t. y. jie lieka aktyvūs ir kitose eilutėse, taip pat tai, kad kai kurie judesiai atliekami tik pagal vieną ašį, kai koordinatė pagal kitą ašį nesikeičia, programos fragmentą galima užrašyti ir trumpiau. Pateiksime jį taip:

...;

(programos fragmentas absoliučiosiomis koordinatėmis);

N05 G90 G00 Y40.0 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką 2 pagal Y ašį);

N10 G01 X-54.0 Y27.0 F170.0 (tiesinės interpoliacijos (įsipjovimo) judesys į tašką 3 pagal X ir Y ašis 170 mm/min pastūmos greičiu);

N15 X58.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 4 pagal X ašį 170 mm/min pastūmos greičiu);

N20 Y-27.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 5 pagal Y ašį 170 mm/min pastūmos greičiu);

N25 X-58.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 6 pagal X ašį 170 mm/min pastūmos greičiu);

N30 Y23.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 7 pagal Y ašį 170 mm/min pastūmos greičiu);

N35 G00 X-75.0 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką 8 pagal X ašį);

...;

Dabar pateiksime tą patį programos fragmentą ne absoliučiosiomis koordinatėmis, o prieaugiais. Pirmiausia nustatysime kontūro taškų koordinates ir pateiksime jas 4.3 lentelėje, panašiai kaip tai buvo daroma 4.2 lentelėje.

...;

(programos fragmentas prieaugio koordinatėmis);

N05 G91 G00 Y-15.0 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką 2 pagal Y ašį);

N10 G01 X12.0 Y-13.0 F170.0 (tiesinės interpoliacijos (įsipjovimo) judesys į tašką 3 pagal X ir Y ašis 170 mm/min pastūmos greičiu);

N15 X112.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 4 pagal X ašį 170 mm/min pastūmos greičiu);

4.3 lentelė. Iškyšos (4.5 pav.) kontūro taškų priaugio koordinatės

Taško Nr.	Taško priaugio koordinatė detalės koordinacių sistemoje	
	X	Y
1	–	–
2	0	–15
3	+12	–13
4	+112	0
5	0	–54
6	–116	0
7	0	+50
8	–17	0

N20 Y-54.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 5 pagal Y ašį 170 mm/min pastūmos greičiu);

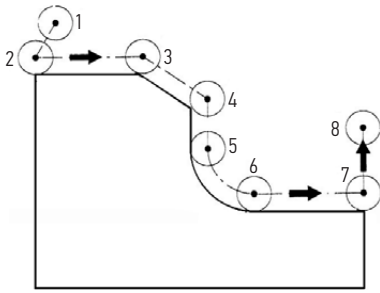
N25 X-116.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 6 pagal X ašį 170 mm/min pastūmos greičiu);

N30 Y50.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 7 pagal Y ašį 170 mm/min pastūmos greičiu);

N35 G00 X-17.0 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką 8 pagal X ašį);

...;

Kaip ir greitojo pozicionavimo atveju programuotojas programoje gali valdyti judesius atskirai pagal kiekvieną koordinacių ašį X, Y arba Z arba pagal kelias vienu metu. Šiuo atveju apdirbimo operacija arba apdirbamoji detalė lemia reikalingą judesį. Norint gręžti skylę frezavimo arba tekinimo staklėmis, reikia užprogramuoti tiesinės interpoliacijos judesį išilgai Z ašies, cilindrinį paviršių tekinti reikia peilio tiesinės interpoliacijos judesiu Z ašies kryptimi, tekinti galą – peilio judesiu X ašies kryptimi, sudaryti nuožulną arba tekinį kūgį – judesiais X ir Z ašių kryptimis ir pan. Frezavimo staklėmis tiesinės interpoliacijos judesiu ašies X arba Y kryptimi galima apdirbti galą galine freza, išfrezuoti griovelį ir pan. 4.6 pav. pateiktas atvejis, kai pirštinė freza, norint apdirbti kontūrą, po pagreitinto judesio į tašką 1 turi judėti pastūmos greičiu į pradinį kontūro tašką 2 pagal abi ašis (išipjovimo judesys), toliau iš šio taško į tašką 3 tik pagal ašį X, po to pagal abi ašis į tašką 4, paskui pagal Y – į tašką 5, vėl pagal X ir Y – į tašką 6, pagal X – į tašką 7 ir pagreitintai atsitraukti pagal Y ašį į tašką 8. Detalės kontūre yra vienas fragmentas (tarp 5 ir 6 taškų), kurio negalima apdirbti tiesinės interpoliacijos judesiu. Tam reikia kito pastūmos judesio, kuris bus nagrinėjamas kitame poskyryje.



4.6 pav. Apdirbamos detalės kontūras (Smid 2003)

Norint palaikyti užprogramuotą judesio tarp dviejų taškų greitį, kai šis judesys vyksta pagal dvi arba daugiau valdomų ašių, valdymo įrenginys turi apskaičiuoti judesio greitį kiekvienos ašies kryptimi atskirai. Priklausomai nuo judesio vektoriaus krypties ir dydžio valdymo įrenginiu padidinamas greitis pagal vieną ašį, užlaikant pagal kitas ašis. Tokiu būdu gaunama tiesė – įrankio judesio tarp dviejų taškų trajektorija. Ji nėra visiškai tiesė (tik laikoma tiese su tam tikru nuokrypiu), o yra dantyta linija, kurios viršūnės yra labai mažos ir jas sunku aptikti net padidinus mastelį.

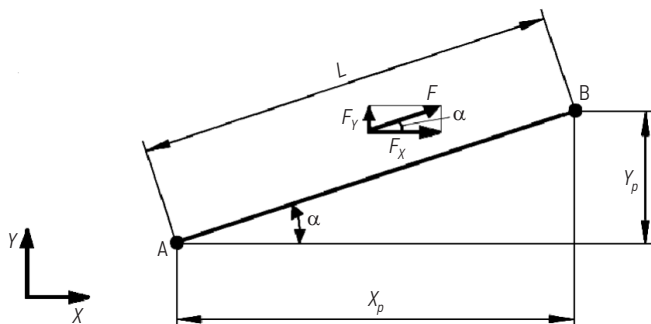
Greičiai pagal kiekvieną valdomą ašį skaičiuojami valdymo įrenginyje, tai atliekama be operatoriaus arba programuotojo pagalbos. Jiems nereikia skaičiuoti šių greičių, pakanka nurodyti bendrą pastūmą po adreso F.

Nors realioje programavimo praktikoje tokių skaičiavimų atlikti nereikia, norint geriau suvokti, kaip dirba programinio valdymo įrenginys, pateiksime pavyzdį. Tegul vertikaliųjų frezavimo staklių įrankio (pvz., grąžto) atraminis taškas turi patekti iš taško A į tašką B (4.7 pav.) pagal tiesę. Tegul taško A koordinatės yra X20 Y15, o taško B – X150,5 Y86,25.

Programos eilutė šiam judesiui atlikti bus tokia:

G01 X150.5 Y86.25 F120.0;

Eilutėje adresu F nurodyta pastūma 120. Tegul tai užprogramuota pastūma metri-
nėje sistemoje 120 mm/min, nors iš atskiros programos eilutės negalima to suprasti (nematyti vienetų kodo G20 arba G21, be to, kai kuriose frezavimo staklėse galima nurodyti ir pastūmą, išreikštą, mm/sūk. arba coliais/sūk., priklausomai nuo pasirinkimo, pvz., „HAAS“ sistemoje kodais G94/G95 valdoma tai, kas nurodoma po adreso F – pastūma, mm/min arba mm/sūk.). Atstumai, kuriuos reikia nueiti frezavimo sta-



4.7 pav. Pastūmos vektoriaus sudedamųjų dalių skaičiavimo schema

klių suklyje užspaustam įrankiui (iš tikrųjų stalui, bet sakome ir programuojame, kad įrankiui) pagal kiekvieną koordinacinių ašių X ir Y , yra žinomi, t. y.: $X_p = 150,5 - 20 = 130,5$ mm, $Y_p = 86,25 - 15 = 71,25$ mm. Įrankio nueitas kelias L gali būti nustatytas pagal Pitagoro teoremą $L = \sqrt{X_p^2 + Y_p^2} = \sqrt{130,5^2 + 71,25^2} = 148,68$ mm. Pastūmos reikšmės pagal kiekvieną koordinacinių ašių valdymo įrenginių bus nustatytos pagal tokią formulę:

$$\cos \alpha = \frac{F_X}{F} = \frac{X_p}{L} \Rightarrow F_X = \frac{X_p}{L} F, \quad (4.1)$$

$$\sin \alpha = \frac{F_Y}{F} = \frac{Y_p}{L} \Rightarrow F_Y = \frac{Y_p}{L} F, \quad (4.2)$$

čia: α – kampas tarp pastūmos vektoriaus F ir ašies X ; F_X – įrankio pastūma X ašies kryptimi arba pastūmos vektoriaus F projekcijos į X ašį absoliutus dydis; F_Y – įrankio pastūma Y ašies kryptimi arba pastūmos vektoriaus F projekcijos į Y ašį absoliutus dydis; F – pastūmos vektoriaus absoliutus dydis; X_p , Y_p – taško B prieaugio koordinatės pagal ašis X ir Y atitinkamai; L – atstumas nuo taško A iki taško B, išmatuotas trumpiausiu keliu.

Apskaičiuotos pastūmos reikšmės bus tokios: $F_X = 105,33$ mm/min, $F_Y = 57,51$ mm/min. Suminė pastūma gali būti apskaičiuota pagal tą pačią Pitagoro teoremą ir yra lygi $F = \sqrt{F_X^2 + F_Y^2} = \sqrt{105,33^2 + 57,51^2} = 120$ mm/min, o tai atitinka programoje nurodytą pastūmą.

Kaip jau buvo minėta, valdymo sistema pati, be operatoriaus pagalbos, atliks minėtus skaičiavimus ir duos komandas staklių X ir Y ašių pastūmų varikliams palaikyti pastūmos greičius 105,33 (X) ir 57,51 (Y) mm/min. Šių variklių sukimosi judesių rezultatas ir bus įrankio judesys pagal tiesę iš taško A į tašką B (4.7 pav.) 120 mm/min greičiu.

Kalbant apie tiesinės interpoliacijos judesį reikėtų trumpai apžvelgti ir tai, kaip tiesinės interpoliacijos judesys atliekamas sukimosi ašimis. Pavyzdžiui, nurodžius frezavimo staklių su pasukamu stalu arba galvute valdymo programoje:

G01 A360.0 F15.0;

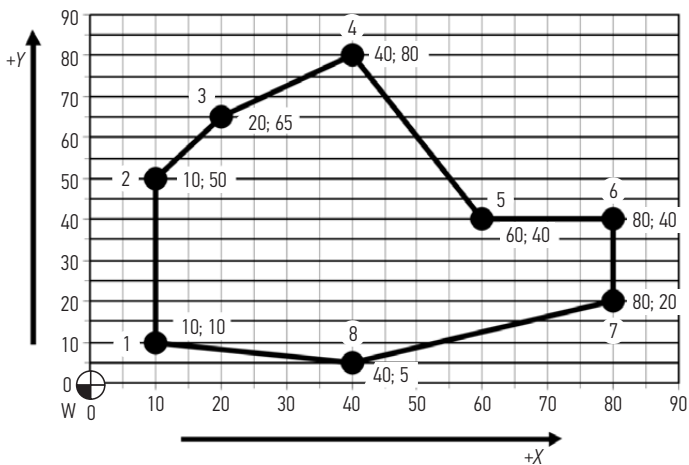
jokio tiesinės interpoliacijos judesio nebus, tiesiog stalas arba galvutė (ir, aišku, pritvirtinta prie jo detalė) A ašies kryptimi (I dalis, 4.28 pav., a ir c) bus pasukta 360° kampu nuo pradinės nulio padėties (arba nuo esamos, jeigu aktyvus prieaugių režimas), tačiau 15 mm/min pastūma šiuo atveju yra apskritiminė, kuri priklauso nuo detalės skersmens, jis turi būti nurodytas staklių nustatymuose. Pavyzdžiui, jei nurodytas skersmuo yra 50 mm, A ašies variklio sukiai, reikalingi 15 mm/min greičiui palaikyti, gali būti nustatyti pagal formulę apskritiminių greičiui nustatyti:

$$n = \frac{v}{\pi D} = \frac{15}{3,14 \times 50} = 0,096 \text{ sūk./min.} \quad (4.3)$$

Tokiais sūkiiais ir suksis ašies A servovariklis, kol jo rotorius nepasisuks nurodytu kampu.

Dabar pateiksime keletą programų fragmentų su kodu G01.

1-asis pavyzdys. Sakykime, reikia išfrezuoti detalės kontūrą, pateiktą 4.8 pav. Ją frezuosime vertikaliomis frezavimo staklėmis pirštine freza. Besisukanti freza, kurios atraminis taškas (ašies ir galinės pjovimo briaunos susikirtimo taškas) jau yra žemiau už galinę detalės plokštumą reikiamu gyliu turi judėti tiesiomis linijomis tokiu keliu: taškas 1 – taškas 2 – taškas 3 – taškas 4 – taškas 5 – taškas 6 – taškas 7 – taškas 8 – taškas 1. Siekiant geriau suprasti kodo G01 esmę, programos fragmentą sudarysime ir tam atvežiui, kai freza juda ne tik pagal laikrodžio rodyklę, bet ir prieš ją, t. y. tokiu keliu: taškas 1 – taškas 8 – taškas 7 – taškas 6 – taškas 5 – taškas 4 – taškas 3 – taškas 2 – taškas 1. Taip pat parengsime fragmentą prieaugio koordinatėse. Paminėtina, kad sudarytame programos fragmente koordinatėse neįvertintas frezos skersmuo, todėl jeigu paleisime tokią programą, dalis kontūro būtų nupjauta. Įvertinti frezos skersmenį tokiam kontūriui (skirtingai nuo kontūro, pateikto 4.5 pav.) reikėtų atlikti gana sudėtingus skaičiavimus. Jiems išvengti taikoma tokia priemonė, kaip frezos spindulio kompensacija, kurią nagrinsime vėliau, o dabar laikysime, kad mūsų frezos skersmuo yra lygus 0.



4.8 pav. Apdirbamos detalės kontūras

(Programos fragmentas, kai įrankis juda nuo taško 1 iki taško 1 pagal laikrodžio rodyklę, absoliučiosios koordinatės);

G90 (absoliučiąjį koordinatinių režimą);

...;

...;

G00 X0.0 Y0.0 (greitojo pozicionavimo judesys į detalės koordinatinių sistemos pradžią);

G01 X10.0 Y10.0 F150.0 (įspijavimo judesys pagal tiesę į tašką 1 su pastūma 150 mm/min);

Y50.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, frezuojama kontūro atkarpa 1–2);
 X20.0 Y65.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 2–3);
 X40.0 Y80.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 3–4);
 X60. Y40.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 4–5);
 X80.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 5–6);
 Y20.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 6–7);
 X40.0 Y5.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 7–8);
 X10.0 Y10.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 8–1);
 ... (programos tęsinys);
 ...;

(Programos fragmentas, kai įrankis juda nuo taško 1 iki taško 1 prieš laikrodžio rodyklę, absoliučiosios koordinatės);

G90 (absoliučiąjį koordinačių režimą);

...;

...;

G00 X0.0 Y0.0 (greitojo pozicionavimo judesys į detalės koordinačių sistemos pradžią);
 G01 X10.0 Y10.0 F150.0 (įsipjovimo judesys pagal tiesę į tašką 1 su 150 mm/min pastūma);
 X40.0 Y5.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 1–8);
 X80.0 Y20.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 8–7);
 Y40.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 7–6);
 X60.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 6–5);
 X40.0 Y80.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 5–4);
 X20.0 Y65.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 4–3);
 X10.0 Y50.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 3–2);
 Y10.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 2–1);
 ... (programos tęsinys);
 ...;

(Programos fragmentas, kai įrankis juda nuo taško 1 iki taško 1 pagal laikrodžio rodyklę, prieaugiai);

G90 (absoliučiąjį koordinačių režimą);

...;

...;

G00 X0.0 Y0.0 (greitojo pozicionavimo judesys į detalės koordinačių sistemos pradžią);
 G91 G01 X10.0 Y10.0 F150.0 (aktyvuojamas prieaugių režimas, toliau įsipjovimo judesys pagal tiesę iš taško X0 Y0 į tašką 1 su 150 mm/min pastūma);
 G01 Y40.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, frezuojama kontūro atkarpa 1–2);
 X10.0 Y15.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 2–3);
 X20.0 Y15.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 3–4);
 X20.0 Y-40.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 4–5);
 X20.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 5–6);
 Y-20.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 6–7);

X-40.0 Y-15.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 7–8);

X-30.0 Y5.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 8–1);

... (programos tęsinys);

...;

(Programos fragmentas, kai įrankis juda nuo taško 1 iki taško 1 prieš laikrodžio rodyklę, prieaugiai);

G90 (absoliučiąjį koordinačių režimas);

...;

...;

G00 X0.0 Y0.0 (greitojo pozicionavimo judesys detalės koordinačių sistemos pradžioje);

G91 G01 X10.0 Y10.0 F150.0 (aktyvuojamas prieaugių režimas, toliau įsipjovimo judesys pagal tiesę iš taško X0 Y0 į tašką 1 su 150 mm/min pastūma);

G01 X30.0 Y-5.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, frezuojama kontūro atkarpa 1–8);

X40.0 Y15.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 8–7);

Y20.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 7–6);

X-20.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 6–5);

X-20.0 Y40.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 5–4);

X-20.0 Y-15.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 4–3);

X-10.0 Y-15.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 3–2);

Y-40.0 (pjovimas su 150,0 mm/min pastūma, kontūro atkarpa 2–1);

... (programos tęsinys);

...;

2-asis pavyzdys. Reikia išfrezuoti griovelį, kurio ilgis – 35 mm, gylis – 5 mm, kaip parodyta 4.9 pav. Įrankis iš pradinės pozicijos 1 pagreitintai pozicionuojamas prie griovelio krašto (G00), toliau įsipjaunama į metalą pagal Z ašį (G01), pjaunama išilgai griovelio su darbine pastūma (G01), įrankis ištraukiamas iš išfrezuoto griovelio (G01) ir pagreitintai atitraukiamas į pradinę poziciją (G00). Pateiksime programos fragmentą (taip pat ir prieaugiais).

Programos fragmentas (tai nevisa programa, joje nepateiktos kai kurios komandos, pvz., suklio paleidimas, įrankio keitimas, ilgio kompensacijos pritaikymas ir pan.), kuriame nurodomos įrankio trajektorijos taškų absoliučiosios koordinatės, o įrankis pradžioje yra nutolęs 100 mm nuo detalės paviršiaus pagal Z ašį (kitos koordinatės yra X-5 Y20 detalės koordinačių sistemoje) atrodo taip:

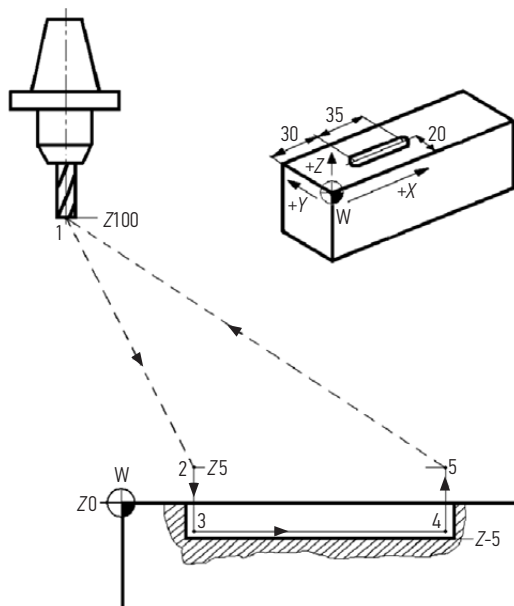
N01 G90 G54 (absoliučiąjį koordinačių režimas, koordinačių sistema G54);

...;

...;

N20 G00 X30.0 Z5.0 (greitasis pozicionavimas virš griovelio pradžios (taškas 2) pagal 2 ašis);

N21 G01 Z-5.0 F55.0 M08 (įsipjovimas į metalą (tiesinės interpoliacijos judesys pagal Z ašį) iki griovelio dugno (taškas 3) 5 mm žemiau nuo detalės paviršiaus su 55 mm/min pastūma, prieš judesį įjungiamas TAS siurblys);



4.9 pav. Pleištinio griovelio frezavimas vertikaliuoju apdirbimo centru

N22 X65.0 F190.0 (35 mm ilgio griovelio frezavimas su 190 mm/min pastūma – tiesinis judesys į tašką 4);

N23 Z5.0 (frezos ištraukimas iš išfrezuoto griovelio 5 mm aukščiau detalės paviršiaus (taškas 5) su 190 mm/min pastūma);

N24 G00 X-5.0 Z100.0 M09 (greitojo pozicionavimo judesys į pradinę poziciją 1 pagal 2 ašis, išjungiamas TAS siurblys);

... (programos tęsinys);

...;

Iš šio fragmento galima matyti, kad įrankis ne iš karto po griovelio frezavimo pagreitintai atitraukiamas į pradinę poziciją $X-5$ $Z100$, o prieš tai pakeliamas darbinės pastūmos greičiu (eilutė N23) 5 mm virš detalės plokštumos. To daryti visiškai nebūtina, tačiau tai yra gera darbo saugumo priemonė. Jeigu griovelis būtų gilesnis, o galinis greitojo judesio taškas būtų dar labiau nutolęs nuo griovelio pagal X ašį, freza, atliekant greitąjį judesį (mes žinome, kad šio judesio trajektorija nebus tiesė, kaip parodyta 4.9 pav., o bus laužyta tiesė, kaip buvo kalbėta 4.1 poskyryje), galima būtų užkabinti priešingą griovelio kraštą ir sulaužyti įrankį. Šiame fragmente taip pat galima matyti, kad greitojo pozicionavimo judesiai programuojami pagal dvi ašis vienu metu. Šiuo atveju tai galima daryti drąsiai, nes virš ruošinio paviršiaus nematyti jokių kliūčių.

Freza galėjo būti ištraukta iš griovelio į tašką 5 pagreitintai, t. y. eilutėje N23 galima buvo naudoti G00 kodą vietoje G01. Tokiu atveju frezos pjovimo briaunos galėtų

palikti pėdsakus šoniniame griovelio paviršiuje, todėl priimtas sprendimas ne tik saugesnis, bet ir leidžia gauti geresnę apdirbto paviršiaus kokybę.

Dabar pateiksime tą patį programos fragmentą, tik jame naudosime ne absoliučiąsias, o priaugio koordinates.

N01 G90 G54 (absoliučiąjų koordinačių režimas, koordinačių sistema G54);

...;

...;

N20 G91 G00 X35.0 Z-95.0 (priaugių režimo aktyvavimas (G91), greitasis pozicionavimas virš griovelio pradžios (taškas 2) pagal 2 ašis);

N21 G01 Z-10.0 F55.0 M08 (įsijovimas į metalą (tiesinės interpoliacijos judesys pagal Z ašį) iki griovelio dugno (taškas 3) 5 mm žemiau nuo detalės paviršiaus su 55 mm/min pastūma, prieš judesį įjungiamas TAS siurblys);

N22 X35.0 F190.0 (35 mm ilgio griovelio frezavimas su 190 mm/min pastūma – tiesinis judesys į tašką 4);

N23 Z10.0 (frezos ištraukimas iš išfrezuoto griovelio 5 mm aukščiau detalės paviršiaus (taškas 5) su 190 mm/min pastūma);

N24 G00 X-70.0 Z95.0 M09 (greitojo pozicionavimo judesys į pradinę poziciją 1 pagal 2 ašis, išjungiamas TAS siurblys);

G90 ... (programos tęsinys);

...;

3-iasis pavyzdys. Reikia išgręžti 4.9 pav. pateiktoje detalėje 18 mm gylio skylę vietoje griovelio. Skylės centro koordinatės detalių koordinačių sistemoje yra X30 Y20, t. y. tokios pat kaip ir griovelio pradžios. Visos kitos sąlygos tos pačios. Programos fragmentas grąžto judesiams atlikti absoliučiosiose koordinatėse atrodo taip:

N01 G90 G54 (absoliučiąjų koordinačių režimas, koordinačių sistema G54);

...;

...;

N20 G00 X30.0 Z5.0 (greitasis grąžto pozicionavimas virš skylės centro (taškas 2) pagal 2 ašis);

N21 G01 Z-18.0 F95.0 M08 (skylės gręžimas (tiesinės interpoliacijos judesys pagal Z ašį) iki skylės dugno, 18 mm žemiau nuo detalės paviršiaus) su 95 mm/min pastūma, prieš judesį įjungiamas TAS siurblys);

N22 Z5.0 (grąžto ištraukimas iš skylės 5 mm aukščiau detalės paviršiaus su 95 mm/min pastūma);

N23 G00 X-5.0 Z100.0 M09 (greitojo pozicionavimo judesys į pradinę poziciją 1 pagal 2 ašis, išjungiamas TAS siurblys);

... (programos tęsinys);

...;

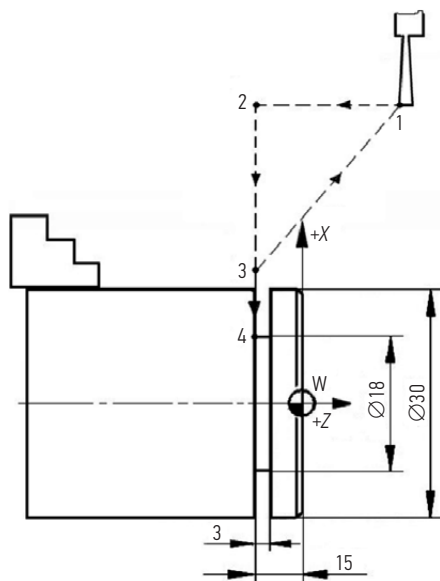
4-asis pavyzdys. Tekinimo staklėmis reikia ištekinti griovelį detalėje (4.10 pav.). Detalės koordinačių sistemos pradžia sutampa su detalės ašimi ir galine plokštuma. Poslinkius programuosime nuo taško 1, ištekinę griovelį, grąžinsime peilį į tą patį

tašką 1, kurio koordinatės detalės koordinatinių sistemoje yra Z30 X65. Programos fragmentas, kuriame užprogramuoti griovelio peilio judesiai absoliučiosiose koordinatėse, pateikiamas taip:

```
...;
...;
G00 Z-15.0 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką 2);
X34.0 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką 3, nutolusį 2 mm nuo šoninio detalės paviršiaus. Taškų X koordinatės tekinimo staklėms nurodomos skersmeniui, todėl programos eilutėje nurodyta būtent 34, o ne 17);
G01 X18.0 F0.1 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 4 su 0,1 mm/sūk. pastūma, prieš judesį įjungiamas TAS siurblys);
X34.0 M09 (peilio atitraukimas su 0,1 mm/sūk. pastūma į tašką 3, po judesio išjungiamas TAS siurblys);
G00 X65.0 Z30.0 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką 1 pagal 2 ašis);
... (programos tęsinys);
...;
```

Programos fragmentas, kuriame poslinkiai užprogramuoti prieaugiais, pateiktas toliau. Norint pasirinkti prieaugius, nereikia kodo G91 kaip frezavimo staklėse, o naudojami adresai U ir W vietoje X ir Z. Trajektorijos taškų X koordinatės taip pat nurodomos skersmeniui.

```
...;
...;
G00 W-45.0 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką 2);
U-31.0 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką 3, kuris nutolęs 2 mm nuo detalės šoninio paviršiaus. Taškų X koordinatės tekinimo staklėms nurodomos skersmeniui, todėl nurodyta  $65 - 34 = 31$  mm, o ne  $31/2 = 15,5$  mm);
G01 U-16.0 F0.1 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 4 su 0,1 mm/sūk. pastūma, prieš judesį įjungiamas TAS siurblys);
U16.0 M09 (peilio atitraukimas su 0,1 mm/sūk. pastūma į tašką 3, po judesio išjungiamas TAS siurblys);
G00 U31.0 W45.0 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką 1 pagal 2 ašis);
... (programos tęsinys);
...;
```



4.10 pav. Griovelio detalėje tekinimas

5-asis pavyzdys. 4.3 pav. pateiktoje detalėje reikia išgręžti, 15 mm gylio skylę tekimo staklėmis. Skylės centro koordinatės detalės koordinačių sistemoje (jos pradžia sutampa su detalės ašimi ir galine plokštuma) yra X0 Z0. Skylė bus gręžiama staklėmis be įrankių pavaros, t. y. suksis detalė, o ne grąžtas. Šį kartą pateiksime ne fragmentą, o visą programą. Kai kurios programos eilutės bus nesuprantamos, tačiau jose pateikti kodai ir žodžiai bus apžvelgti kituose skyriuose.

O12545

(programa skylei gręžti);

G28 (staklių ašys grąžinamos į staklių nulį);

T01 (pasirenkamas įrankis Nr. 1 – 15 mm skersmens spiralinis grąžtas);

S1500 M03 (suklys paleidžiamas suktis pagal laikrodžio rodyklę, sūkiai – 1500 sūk./min);

G00 Z2.0 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką, nutolusį 2 mm nuo detalės galo pagal Z ašį (panašiai kaip taškas 2, 4.3 pav.));

X0.0 M08 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką X0 (taškas 3, 4.3 pav.), kodu M08 įjungiamas TAS tiekimas);

G01 Z-15.0 F0.08 (15 mm gylio skylės gręžimas (tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi į tašką 4, 4.3 pav.) su 0,08 mm/sūk. pastūma);

G04 P1.0 (1 s trukmės pauzė įrankiu pasiekus skylės dugną);

G00 Z2.0 M09 (pagreitintas grąžto atitraukimas pagal Z ašį į tašką 3, TAS tiekimo nutraukimas kodu M09);

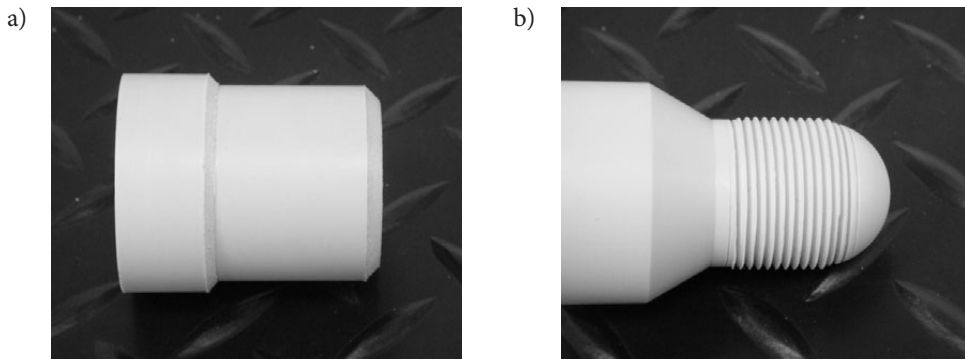
X100.0 (pagreitintas grąžto atitraukimas pagal X ašį į tašką 2 arba šalia jo);

Z100.0 (pagreitintas grąžto atitraukimas pagal Z ašį į tašką 1 arba šalia jo);

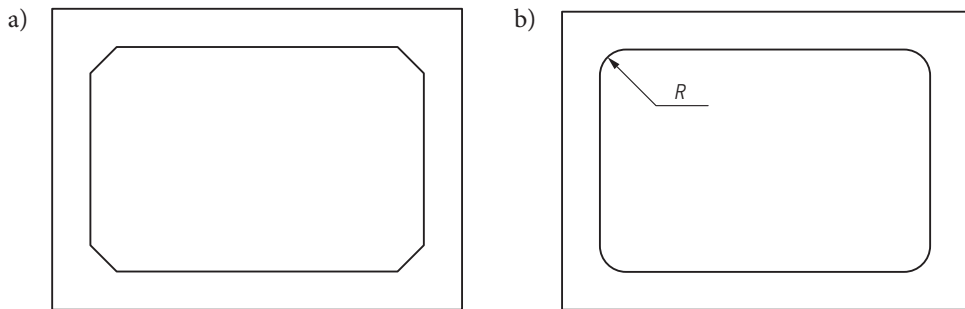
M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

4.3. Apskritiminė interpoliacija

Apdirbant įvairias detales staklėmis, ne visada pakanka suteikti įrankiui judesį pagal tiesę, arba tiesinės interpoliacijos judesį. Norint tekinti detalę išilgai ašies arba tekinti jos galą, tekinti kūgį, įsriegti cilindrinį arba kūginį sriegį, ištekinti griovelį (žr. 4.2 poskyrio 4 pavyzdį) arba išgręžti skylę (žr. 4.2 poskyrio 5 pavyzdį), pakaktų naudoti kodą G01 (4.11 pav., a), tačiau tekinti fasoninei detalei, pavaizduotai 4.11 pav., b, šio kodo jau nepakanka (tiksliau, nebūtų įmanoma gauti jos sferinį paviršių). Įprastinėse tekinimo staklėse tokiam paviršiui gauti reikėtų naudoti fasoninį peilį, tačiau CNC tekinimo staklėse fasoniniai peiliai nenaudojami. Panašiai, norint išfrezuoti 4.12 pav., a, pavaizduotos detalės iškyšą, užtenka G01 kodo (panašiai kaip tai buvo daroma su kontūru, pavaizduotu 4.5 pav.), tačiau 4.12 pav., b, pavaizduotai detalei to nepakanka. Naudodami tik G01 kodą negalėsime frezuoti ir 4.6 pav. pavaizduotos detalės kontūro atkarpos 5–6. Tokioms detalėms arba atskiriems jų paviršiams apdirbti CNC staklėse naudojami kodai G02 ir G03 arba apskritiminės interpoliacijos judesio kodai. Naudojant šiuos kodus programuojama apskritimo lanko formos įrankio trajektorija. Dažniausiai toks judesys reikalingas kampams suapvalinti ir dalinio spindulio lankams sudaryti. Apskritiminė ir



4.11 pav. Detalės, apdirbtos CNC tekinimo staklėmis: a – naudotas tik kodas G01; b – naudoti ir apskritiminės interpoliacijos kodai G02/G03



4.12 pav. Detalė, kurios iškyšai frezuoti pakanka kodo G01 (a), ir detalė, kurios iškyšai frezuoti reikia naudoti apskritiminės interpoliacijos kodus G02/G03 (b)

tiesinė interpoliacijos yra visos galimos įrankio pastūmos judesių formos, kurių visiškai pakanka bet kuriai detalei apdirbti tekinimo ir frezavimo staklėmis. Šių tipų judesiai naudojami ir kitose CNC technologinėse mašinose, pvz., pjaustymo vandens čiurkšle ir lazerio spinduliu staklėse, vielos elektroerozinėse staklėse ir pan.

Kodai G02 ir G03 veikia panašiai. Jų skirtumas tik tas, kad kodas G02 naudojamas, kai reikia, kad įrankis judėtų pagal laikrodžio rodyklę, o kodas G03 – prieš laikrodžio rodyklę.

Norint programuoti apskritiminės interpoliacijos judesį, nepakanka įvesti tik galinio judesio taško koordinačių (to visiškai pakanka tiesinės interpoliacijos judesiui), bet reikia žinoti, kur yra apskritimo centras, nes turint tik du taškus, per juos galima nubrėžti begalinį skaičių skirtingų spindulių apskritimų. Apskritimo parametrą programuoti labai svarbūs yra apskritimo kvadrantai – keturios apskritimo dalys (4.13 pav.), kuriose gali būti apskritimo lanko, pagal kurį juda įrankis, judesio pradžios ir pabaigos taškai. Šios dalys gaunamos, kai dvi tarpusavyje statmenos linijos, lygia-

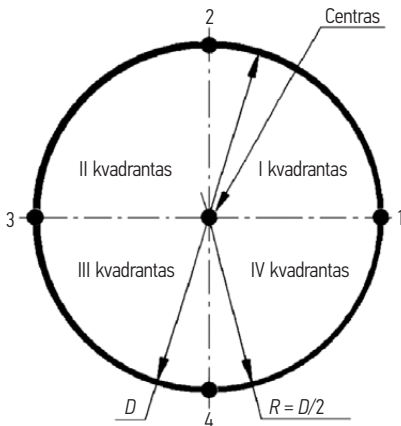
grečios su tam tikromis staklių koordinatų ašimis (priklausomai nuo plokštumos, kurioje programuojamas judesys), braižomos iš apskritimo centro. Programuojant tokius judesius svarbūs keturi taškai – *kvadranto taškai*, išdėstyti apskritimo susikirtimo su minėtomis linijomis taškuose. Šiuos taškus geriau atsiminti žiūrint į analoginį laikrodį arba kompasą (4.4 lentelė).

4.4 lentelė. Kvadrantai ir jų taškų išsidėstymas

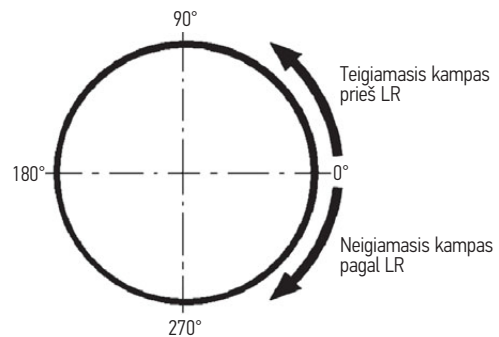
Kampas, laipsniais	Kompasso rodyklė	Laikrodžio rodyklė	Taškas yra tarp kvadrantų (4.13 pav.)
0	Rytai	3 val.	IV ir I
90	Šiaurė	12 val.	I ir II
180	Vakarai	9 val.	II ir III
270	Pietūs	6 val.	III ir IV

Standartais, kurie taikomi CAD, CAM ir CNC sistemose, nustatyta, kad kampo dydis yra teigiamas, kai jis atskaitomas prieš laikrodžio rodyklę pradedant nuo nulio, kurio padėtis atitinka rytų kryptį, arba 3 val. laikrodžio ciferblate (4.13 ir 4.14 pav.). Ši taisyklė svarbi programuojant G02 ir G03 kodais. Pati judesio kryptis nustatoma žiūrint statmenai į plokštumą, kurioje turi būti atliktas apskritiminis judesys (pavyzdžiui, iš operatoriaus darbo vietos į vertikaliųjų frezavimo staklių stalo plokštumą XY).

Abu kodai G02 ir G03 yra modaliniai (kaip ir G00 ir G01), t. y. jie lieka aktyvūs iki programos pabaigos arba iki tol, kol nebus pakeisti kitais grupės kodais. Pastūma, kaip ir kodo G01 atveju, užrašoma toje pačioje eilutėje su G02 arba G03, o jei ne, valdymo sistema naudos paskutinę prieš eilutę su G02/G03 kodais užprogramuotą pastūmą.



4.13 pav. Apskritimo kvadrantai ir jų išsidėstymas



4.14 pav. Judesio krypties nustatymas programuojant apskritimines interpoliacijos judesius (LR – laikrodžio rodyklė)

Eilutės su kodais G02 arba G03 sintaksė nesiskiria ir bendruoju atveju gali būti dvejopa:

G02 (arba G03) X... Y... Z... I... J... K... F...;

arba

G02 (arba G03) X... Y... Z... R... F...;

čia: X, Y ir Z – staklių valdomų ašių adresai, po kurių nurodomos apskritiminio judesio galinio (atvykimo) taško koordinatės (galimos tik pagal dvi ašis); I, J, K – adresai, po kurių nurodomi atstumai nuo judesio pradinio taško iki apskritimo lanko centro, išmatuoti atitinkamai X, Y ir Z ašių kryptimis (galimi tik pagal dvi ašis); R – lanko spindulio adresas.

Frezavimo staklėse atvykimo taško absoliučiosios ir prieaugio koordinatės nurodomos tais pačiais adresais X, Y ir Z, o absoliučiąjį koordinacijų/prieaugių režimas valdomas kodais G90/G91. Tekinimo staklėse dirbant prieaugiais vietoje adresų X ir Z naudojami adresai U bei W (dažniausiai, bet ne visada, kai kuriose valdymo sistemose naudojami kodai G90/G91).

Antrojo užrašymo senos kartos valdymo sistemos gali nesuprasti, todėl visada būtina reikia peržiūrėti operatoriaus vadovą prieš pradėdant programuoti.

Naujose valdymo sistemose naudojami abu variantai ir dažniausiai nebus klaidos (tačiau ne visose sistemose), jeigu vienoje eilutėje su G02/G03 bus nurodyti ir I/J/K adresai, ir adresas R, kaip parodyta toliau:

G02 (arba G03) X... Y... R... I... J... F...;

arba

G02 (arba G03) X... Y... I... J... R... F...;

Prioritetas atiduodamas spindulio adresui R, t. y. abiem atvejais valdymo sistema ignoruos I ir J reikšmes ir vykdys anksčiau pateiktas eilutes taip, kaip tokią:

G02 (arba G03) X... Y... R... F...;

Eilutėje su G02/G03 kodais žodžių eiliškumas neturi jokios reikšmės kaip ir kitose eilutėse. Aptarsime adresus, kurie turi būti nurodyti po kodo G02 arba G03.

Apskritiminio judesio pradinis ir galinis taškas

Apskritiminio judesio pradinis taškas yra tas taškas, nuo kurio prasideda apskritiminės interpoliacijos judesys. Šis taškas turi būti ant apskritimo lanko (4.15 pav.). Kaip ir kitų judesių atveju, apskritiminės interpoliacijos judesio pradinis taškas yra prieš tai užprogramuoto judesio galinis taškas arba paskutinė įrankio pozicija prieš apskritiminės interpoliacijos komandą, t. y. įrankis juda nuo esamos pozicijos iki nurodytos. Pavyzdžiui, toliau pateiktame programos fragmente N31 eilutėje nurodytos tiesinio judesio (G01) galinio taško koordinatės. Kitoje eilutėje įrankiui nurodoma judėti nuo

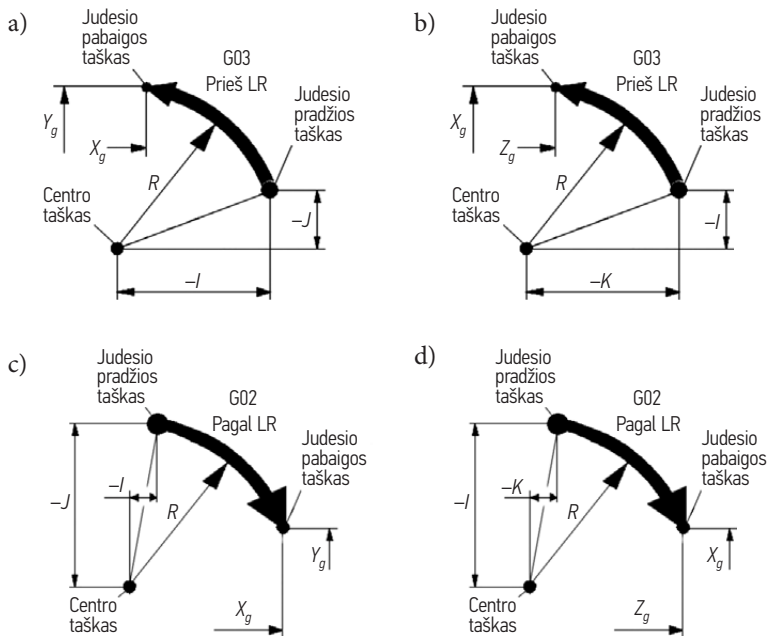
pradinio taško (kuris yra prieš tai buvusio tiesinio judesio (G01) galinis taškas) į galinį tašką prieš laikrodžio rodyklę apskritimo lanku (G03), kurio spindulys R yra 28 mm. Eilutėje po kodo G03 nurodomos apskritiminio judesio pabaigos taško koordinatės. Paskutinėje eilutėje užprogramuotas judesys pagal tiesę, kurio pradinis taškas yra apskritiminio judesio galinis taškas, o galinio taško koordinatės nurodytos eilutėje N33.

```
N31 G01 X144.0 Y187.0 F215.0;
N32 G03 X116.0 Y215.0 R28.0;
N33 G01 X100.0 Y255.0;
```

Apskritiminio judesio galinis (įrankio atvykimo taškas) taškas apibūdinamas kaip taškas, kuriame baigiasi įrankio apskritiminis judesys. Šis taškas turi taip pat priklausyti apskritimo lankui (4.15 pav.).

Lanko centras ir spindulys

Jau minėjome, kad vien tik nurodyti pradinį ir galinį judesio taškus visiškai pakanka esant tiesiniam judesiui, tačiau nepakanka apskritiminių judesiui atlikti. Tokiu atveju begalybę lankų su įvairiais spinduliais galima nubraižyti per pradinį ir galinį

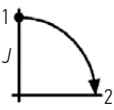
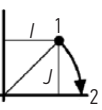
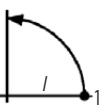
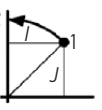
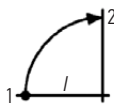
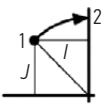
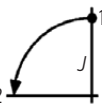
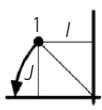
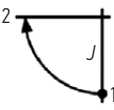
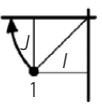
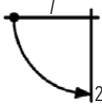
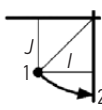
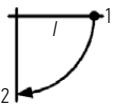
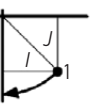
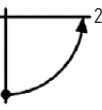
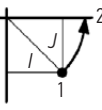


4.15 pav. Apskritiminės interpoliacijos judesių trajektorijos ir jų parametrai:
 a – prieš laikrodžio rodyklę plokštumoje XY; b – prieš laikrodžio rodyklę plokštumoje ZX;
 c – pagal laikrodžio rodyklę plokštumoje XY; d – pagal laikrodžio rodyklę plokštumoje ZX;
 X_g, Y_g, Z_g – judesio galinio taško koordinatės

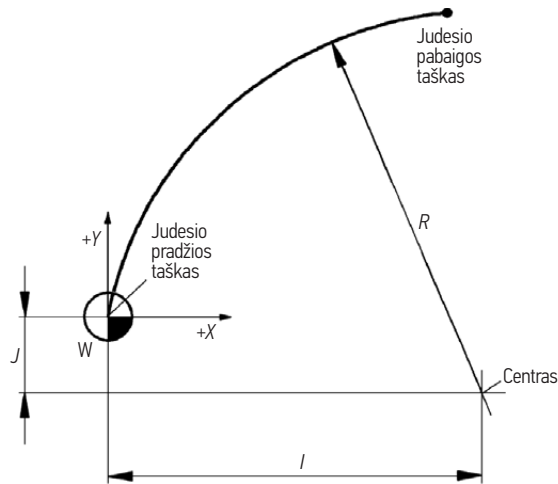
judesio taškus. Tam, kad valdymo įrenginys sugebėtų atlikti apskritiminį judesį, jam būtina nurodyti lanko spindulį arba nurodyti to lanko centro koordinatas. Apskritimo lanko spindulys gali būti nurodytas adresu R, o centro padėtis – apskritimo centro vektorių aprašančiais adresais I, J arba K. Programuodamas šiuolaikinėms CNC staklėms operatorius gali taikyti abu būdus, o senesnėse valdymo sistemose naudojamas tik antrasis būdas. Pirmuoju atveju lanko spindulys nurodomas tiesiogiai, antruoju – nurodoma lanko centro padėtis judesio pradinio taško atžvilgiu.

Apskritiminio judesio centro vektoriumi vadinama atkarpa, jungianti pradinį judesio tašką su įrankio trajektorijos lanko centru. Programavimui naudojamos jo projekcijos I, J arba K (4.15 pav.) į atitinkamas ašis X, Y arba Z.

Apskritiminio judesio centro vektoriaus projekcijos turi ženklą (4.15 pav.), kuris yra ne mažiau svarbus negu dydis. 4.16 pav. parodyti projekcijų I ir J ženklai lankams, išdėstytiems įvairiuose apskritimo kvadrantuose XY plokštumoje (dažniausiai šioje plokštumoje atliekami darbo judesiai dirbant frezavimo staklėmis ir centrais). Jeigu dirbama kitose plokštumose (pavyzdžiui, ZX tekimo staklėmis) naudojama kita vektoriaus projekcijų pora (pavyzdžiui, I ir K, 4.15 pav., b, d), o vektorių ženklai nustatomi panašiai. Panagrinėsime, kaip tai daroma. Atstumai I ir J parodyti 4.17 pav. Jų ženklus

Kvadrantas	G02		G03	
I				
	$I = 0; -J$	$-I; -J$	$-I; J = 0$	$-I; -J$
II				
	$+I; J = 0$	$+I; -J$	$I = 0; -J$	$+I; -J$
III				
	$I = 0; +J$	$+I; +J$	$+I; J = 0$	$+I; +J$
IV				
	$-I; J = 0$	$-I; +J$	$I = 0; +J$	$-I; +J$

4.16 pav. Reikšmių I ir J ženklai, priklausomai nuo kvadranto, kuriame yra judesio pradžios taškas: 1 – judesio pradinis taškas; 2 – judesio galinis taškas (Smid 2003)



4.17 pav. Apskritinio judesio trajektorija ir jos parametrai

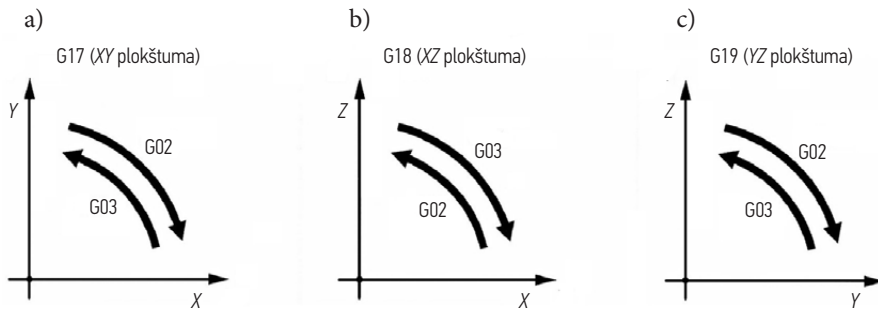
galima nustatyti pagal gana paprastą taisyklę: žiūrima iš judesio pradinio taško į judesio trajektorijos lanko centro tašką pagal kiekvieną iš koordinatinių ašių; jeigu žvilgsnio kryptis sutampa su neigiamąja ašies (X , Y arba Z) kryptimi, atitinkamas atstumas I , J arba K taip pat yra neigiamas, priešingu atveju – teigiamas. 4.17 pav. parodytas atvejis, kai atstumas I yra teigiamas, o J – neigiamas. Vienas iš dviejų vektorių I , J ir K taip pat gali būti lygus nuliui. Tai atsitinka tada, kai lankas prasideda kaž kuriame kvadranto taške. Tokie atvejai, dirbant plokštumoje XY , parodyti 4.16 pav.

Atstumai I , J ir K programoje dažniausiai nurodomi tik *prieaugiais* nuo pradinio judesio taško, kaip parodyta 4.15–4.17 pav. Kai kuriose staklėse (pavyzdžiui, kai kurie „Cincinnati“ firmos (JAV) modeliai) tam gali būti naudojami absoliučiosios apskritimo lanko centro koordinatės, nurodomos kaip ir kitų trajektorijos taškų absoliučiosios koordinatės nuo detalės nulio. Todėl visada net ir patyrusiam operatoriui būtina perskaityti nežinomos firmos (gerai būtų netgi ir žinomos, bet naujo modelio) staklių operatoriaus vadovą.

Bet kuriuo atveju nenurodžius prieš adresų I , J ir K reikšmes „–“ arba „+“ ženklo, jos bus suprastos kaip teigiamos, nurodžius „–“ ženklą – neigiamos, kaip visada galioja „geležinė“ koordinatinių įvedimo taisyklė. Jeigu eilutėje nurodyta tik vieno (I , J arba K) atstumo reikšmė, kito atstumo reikšmę valdymo sistema supras kaip lygią nuliui.

Vertikaliosiose frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose apskritiminių judesys gali būti programuojamas trijose standartinėse koordinatinių plokštumose: XY , XZ ir YZ , kurios aktyvuojamos kodais G17, G18 ir G19. Kiekvienoje iš plokštumų turi būti naudojama savo vektorių pora I , J arba K (4.18 pav.):

- G17 G02 (G03) X... Y... R... (arba I... J...);
- G18 G02 (G03) X... Z... R... (arba I... K...);
- G19 G02 (G03) Y... Z... R... (arba J... K...);



4.18 pav. Apskritiminės interpoliacijos judesių kryptys skirtinguose vertikaliųjų frezavimo staklių plokštumose: a – XY; b – XZ; c – YZ (Smid 2003)

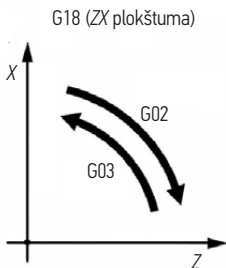
Kodai G17, G18 arba G19 yra modaliniai, todėl nebūtinai turi būti nurodomi vienoje eilutėje su G02/G03, o gali būti nurodomi ir ankstesnėse eilutėse. Dažniausiai įrankio apskritiminiai judesiai frezavimo staklėms programuojami XY plokštumoje, todėl G17 kodas dažniausiai yra aktyvus pagal nustatytuosius parametrus, t. y. jeigu apskritiminis judesys programuojamas XY plokštumoje, dažniausiai programose nereikia nurodyti jokio iš G17/G18/G19 kodų. Tiesinės interpoliacijos (G01) ir greitojo pozicionavimo (G00) judesiams atlikti kodai G17/G18/G19 nereikalingi visai, pakanka nurodyti atitinkamas koordinatas, kad įrankis pradėtų judėti reikiamoje plokštumoje arba erdvėje.

Iš 4.18 pav., b, matome, kad plokštumoje XZ kodai G02/G03 neatitinka apibrėžimų „pagal“ ir „prieš laikrodžio rodyklę“. Tai ne klaida. Žiūrint iš operatoriaus padėties į plokštumą XZ apskritiminės interpoliacijos judesiai, valdomi kodais G02/G03, bus atlikti taip, kaip parodyta 4.18 pav., b. Šis vertikaliųjų frezavimo staklių „fenomenas“ bus paaiškintas 6-ame skyriuje.

Pažymėtina, kad jeigu programavimo plokštuma nesutampa su detalės koordinatinių sistemos plokštuma (pvz., pasukta specialiu kodu arba perkelta pačioje programoje), judesys bus atliktas joje, o ne standartinėje detalės plokštumoje.

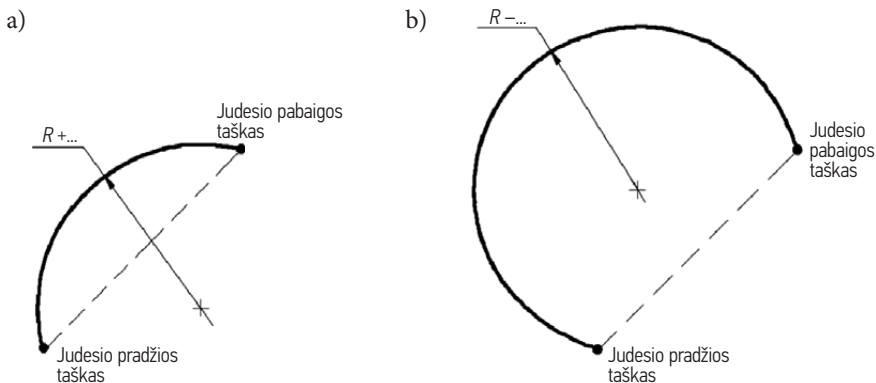
Tekinimo staklėse apskritiminės interpoliacijos judesys dažniausiai (visų tipų tekinimo darbams atlikti) atliekamas ZX plokštumoje (4.19 pav.). Todėl staklėse pagal nustatytuosius parametrus aktyvus yra kodas G18, jis programoje dažniausiai visai nenurodomas. Išimtis yra tada, kai tekinimo staklėse su įrankių pavara ir valdoma C ašimi frezuojami elementai, esantys galiniame ir šoniniame ruošinio paviršiuje. Tokiu atveju kai kada reikia programuoti judesius plokštumoje XY pasirinkus ją kodu G17, toliau specialiu G kodu Dekarto koordinatas XY plokštumoje galima automatiškai transformuoti į polines koordinatas (žr. 10.2.7 skirsnį), t. y. spindulius (X) ir detalės pasukimo kampus (C). Taip pat galima dirbti XY plokštumoje tiesiogiai, tačiau tik tekinimo centruose su valdoma Y ašimi (I dalis, 4 sk.).

Tekinimo staklėse apskritiminės interpoliacijos judesių plokštumoje ZX kryptys sutampa su apibrėžtomis, tai yra „pagal“ ir „prieš laikrodžio rodyklę“ (4.19 pav.).



4.19 pav. Apskritiminės interpoliacijos judesių kryptys tekinimo staklių plokštumoje ZX (Smid 2003)

Programuojant apskritiminės interpoliacijos judesius su adresais I, J arba K be skaičiavimų galima apeiti tik tada, kai pradinis judesio taškas sutampa su kokiu nors kvadranto tašku. Gerokai paprasčiau judesį apskritimo lanku programuoti naudojant vietoje adresų I, J arba K lanko spindulio adresą R. Tačiau, kaip jau minėta, šis būdas tinka ne visiems CNC įrengimams, senesnių modelių valdymo sistemose „nepripažįsta“ adresą R, o reikalauja I, J arba K adresų ir jų reikšmių. Naujesnių modelių valdymo sistemose tai daryti galima dvejopai. Tačiau dauguma programuotojų dėl patogumo naudoja adresą R. Kai nurodomas spindulys, staklių valdymo įrenginys pats atlieka reikalingus skaičiavimus ir nustato centro koordinates. Čia yra viena neapibrėžtis. Kaip matyti iš 4.20 pav., per du taškus (pradinį ir galinį) galima nubraižyti nurodyto spindulio R lanką, tačiau galimos dvi lanko centro padėties. Todėl nurodžius spindulio reikšmę programoje reikia nurodyti ir jo ženklą „-“ arba „+“. Ženklo nustatymo taisyklė tokia: pradinis ir galinis lanko taškai sujungiami tarpusavyje styga. Jeigu lanko centro taškas yra ant stygos arba už stygos ir lanko ribų (4.20 pav., a), bus teigiamas spindulio ženklas (rašomas $R+$... arba be jokio ženklo R ...), o jeigu centro taškas yra plote, apribotame lanku ir styga, – neigiamas (rašomas $R-$...). Kitaip tariant, spindulio ženklas bus neigiamas, kai didesni nei 180° lankai, teigiamas – kai mažesni arba kai lanko kampas lygus 180° . 4.20 pav. pavaizduotos trajektorijos programų fragmentai atrodoys taip:



4.20 pav. Spindulio ženklo nustatymas programuojant įrankio trajektoriją: a – „teigiamas“ spindulys; b – „neigiamas“ spindulys

≤180° lankas (4.20 pav., a)	>180° lankas (4.20 pav., b)
...;	...;
G01 X150.0 Y100.0 F80.0	G01 X150.0 Y100.0 F80.0
G02 X175.0 Y125.0 R30.0	G02 X175.0 Y125.0 R-30.0
...;	...;

Viso apskritimo trajektorija

Gana įdomus atvejis yra viso apskritimo trajektorija ir tai, kaip skirtingi valdymo sistemų gamintojai tai išsprendė. „Fanuc“, „HAAS“ firmų ir daug kitų valdymo sistemų gamintojų leidžia programuoti viso apskritimo įrankio trajektoriją (tai yra 360°). Tarp darbų, atliekamų tekinimo staklėmis, sunku surasti arba net įsivaizduoti tokių, kuriam reikėtų 360° trajektorijos, tačiau tarp darbų, atliekamų frezavimo staklėmis, tokių dažnai būna: žiedinio griovelio arba apvalios išėmos frezavimas, cilindrinės, sferos formos arba kūginės iškyšos frezavimas, sriegio frezavimas ir pan. Tokiais atvejais reikia, kad įrankio atraminio taško trajektorija būtų visas 360° apskritimas, t. y. judesio galinio ir pradinio taškų koordinatės turi sutapti. Pavyzdžiui, reikia pirštine freza išfrezuoti žiedinį griovelį, parodytą 4.21 pav. Programos fragmentas atrodo taip:

```

...;
T02 M06 (iš dėtuvės pasirenkamas įrankis Nr. 2 – pirštine freza);
S950 M03 (paleidžiamas suktytis pagal laikrodžio rodyklę suklysis, jo sūkiiai – 950 sūk./min);
G90 G54 G00 X96.0 Y60.0 (įrankis pagreitintai pozicionuojamas pradiniame griovelio taške, kurio koordinatės detalės koordinačių sistemoje G54 X96 Y60 (4.21 pav.) nurodytos absoliučiaisiais vienetais (G90));
G43 H02 Z2.0 M08 (įrankis pagreitintai pozicionuojamas 2 mm aukščiau detalės paviršiaus pritaikant ilgio kompensaciją iš 2-os kompensacijų lentelės eilutės, pradamas tiekti TAS į pjovimo zoną);
G01 Z-5.0 F40.0 (įrankis įsipjauna tiesinės interpoliacijos judesiu į metalą 5 mm pagal Z ašį, pastūma – 40 mm/min);
G02 X96.0 Y60.0 I-36.0 J0.0 F170.0 (frezuojamas žiedinis griovelis pagal laikrodžio rodyklę su 170 mm/min pastūma);
G01 Z2.0 (įrankis ištraukiamas iš griovelio tiesinės interpoliacijos judesiu pagal ašį Z, pastūma – 170 mm/min);
...;

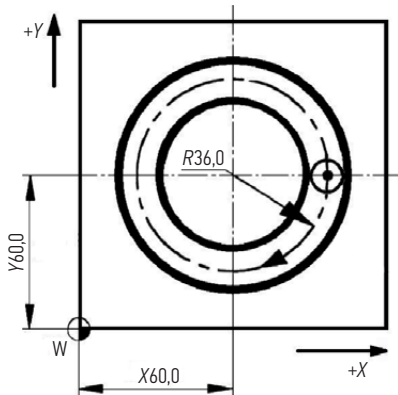
```

Priešpaskutinė eilutė galėtų būti užrašyta ir kompaktiškiau, įvertinant tai, kad pradinio ir galinio taško koordinatės sutampa, o atstumas J lygus 0. Tokiu atveju galėjome nenurodyti galinio taško X ir Y koordinačių ir nulinio J adreso, kurio reikšmė būtų ir taip paimta lygi nuliui pagal nustatytuosius parametrus. Eilutė galėtų būti tokia:

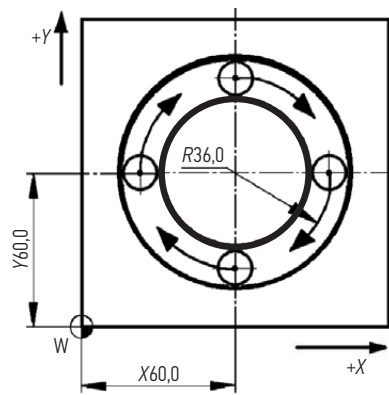
```

G02 I-36.0 F170.0 (frezuojamas žiedinis griovelis pagal laikrodžio rodyklę, pastūma – 170 mm/min);

```



4.21 pav. Žiedinio griovelio frezavimas vienu apskritiminiu judesiu (Smid 2003)



4.22 pav. Žiedinio griovelio frezavimas keturiais apskritiminės interpoliacijos judesiais (Smid 2003)

Kai kuriose senesnio tipo CNC sistemose negalima programuoti viso apskritimo judesio trajektorijos vienoje eilutėje. Eilutėje galima programuoti ne ilgesnį kaip vieno kvadranto lanką. Tokiu atveju apskritiminė trajektorija turi būti padalyta į ne mažiau kaip keturias dalis, priklausomai nuo pradinės įrankio padėties. Pavyzdžiui, programos fragmentas 4.21 pav. pateiktam žiediniam grioveliui frezuoti susidės jau iš keturių eilučių (4.22 pav.):

...;

T02 M06 (iš dėtuvės pasirenkamas įrankis Nr. 2 – pirštinė freza);

S950 M03 (paleidžiamas sukis pagal laikrodžio rodyklę suklys, jo sūčiai – 950 sūk./min);

G90 G54 G00 X96.0 Y60.0 (įrankis pagreitintai pozicionuojamas pradiniam griovelio taške, kurio koordinatės detalės koordinačių sistemoje G54 X96 Y60 (4.22 pav.) nurodytos absoliučiaisiais vienetais (G90));

G43 H02 Z2.0 M08 (įrankis pagreitintai pozicionuojamas 2 mm aukščiau detalės paviršiaus pritaikant ilgio kompensaciją iš 2-os kompensacijų lentelės eilutės, pradedamas tiekti TAS į pjovimo zoną);

G01 Z-5.0 F40.0 (įrankis įsipjauna tiesinės interpoliacijos judesiu į metalą 5 mm pagal Z ašį su pastūma 40 mm/min);

G02 X60.0 Y24.0 I-36.0 J0.0 F170.0 (pagal laikrodžio rodyklę frezuojama ¼ griovelio dalis (IV kvadrante) su 170 mm/min pastūma);

X24.0 Y60.0 I0.0 J36.0 (pagal laikrodžio rodyklę frezuojama ¼ griovelio dalis (III kvadrante), pastūma – 170 mm/min);

X60.0 Y96.0 I36.0 J0.0 (pagal laikrodžio rodyklę frezuojama ¼ griovelio dalis (II kvadrante) su 170 mm/min pastūma);

X96.0 Y60.0 I0.0 J-36.0 (pagal laikrodžio rodyklę frezuojama paskutinė ¼ griovelio dalis (I kvadrante) su 170 mm/min pastūma);

G01 Z2.0 (įrankis ištraukiamas iš griovelio tiesinės interpoliacijos judesiu pagal ašį Z, pastūma – 170 mm/min);

...;

Čia taip pat galėtų būti nenurodomi nuliniai I ir J adresai.

Šiais atvejais nereikia sudėtingesnių skaičiavimų, nes pradiniai ir galiniai įrankio trajektorijos taškai sutampa su kvadranto taškais. Jeigu pradinis arba galinis taškas nesutaptų su kvadranto tašku, senesnių modelių programinio valdymo sistemose reikėtų nurodyti jau 5, o ne 4 taškus, nes taip galima pjauti ne ilgesnį kaip vieno kvadranto lanką. Atstumams *I* ir *J* nustatyti reikėtų panaudoti trigonometrines funkcijas. Toks atvejis pavaizduotas 4.23 pav., programos fragmentas pateiktas toliau.

...;

T02 M06 (iš dėtuvės pasirenkamas įrankis Nr. 2 – pirštinė freza);

S950 M03 (paleidžiamas suktylis suklys, jo sūčiai – 950 sūk./min);

G90 G54 G00 X91.18 Y78.0 (įrankis pagreitintai pozicionuojamas pradiniame taške, kurio koordinatės detalės koordinatinių sistemoje G54 X91,18 Y78 (4.23 pav.) nurodytos absoliučiaisiais vienetais (G90));

G43 H02 Z2.0 M08 (įrankis pagreitintai pozicionuojamas 2 mm aukščiau detalės paviršiaus pritaikant ilgio kompensaciją iš 2-os kompensacijų lentelės eilutės, pradamas tiekti TAS į pjovimo zoną);

G01 Z-5.0 F40.0 (įrankis įsipjauna tiesinės interpoliacijos judesiu į metalą 5 mm pagal Z ašį, pastūma – 40 mm/min);

G02 X96.0 Y60.0 I-31.18 J-18.0 F170.0 (pagal laikrodžio rodyklę frezuojama griovelio dalis, esanti I apskritimo kvadrante, su 170 mm/min pastūma);

X60.0 Y24.0 I-36.0 J0.0 (pagal laikrodžio rodyklę frezuojama ¼ griovelio dalis (IV kvadrante) su 170 mm/min pastūma);

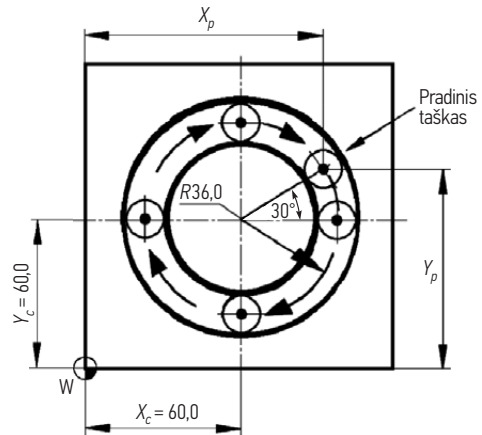
X24.0 Y60.0 I0.0 J36.0 (pagal laikrodžio rodyklę frezuojama ¼ griovelio dalis (III kvadrante), pastūma – 170 mm/min);

X60.0 Y96.0 I36.0 J0.0 (pagal laikrodžio rodyklę frezuojama ¼ griovelio dalis (II kvadrante) su 170 mm/min pastūma);

X91.18 Y78.0 I0.0 J-36.0 (pagal laikrodžio rodyklę frezuojama paskutinė griovelio dalis, esanti I kvadrante, pastūma – 170 mm/min);

G01 Z2.0 (įrankis ištraukiamas iš griovelio tiesinės interpoliacijos judesiu pagal ašį Z, pastūma – 170 mm/min);

...;



4.23 pav. Žiedinio griovelio frezavimas penkiais apskritiminės interpoliacijos judesiais (Smid 2003)

Šiuo atveju pirmam apskritiminės interpoliacijos judesiui reikėjo apskaičiuoti atstumus I ir J nuo pradinio taško iki apskritimo centro pagal trigonometrijos formules (4.23 pav.):

$$I = R \cos 30^\circ = 36 \cos 30^\circ = 31,18, \quad (4.4)$$

$$J = R \sin 30^\circ = 36 \sin 30^\circ = 18,0. \quad (4.5)$$

Pradinio taško koordinatės, kurios priklauso apskritimui, nustatytos pagal formules:

$$X_p = X_c + I = 60 + 31,18 = 91,18, \quad (4.6)$$

$$Y_p = Y_c + J = 60 + 18 = 78,0. \quad (4.7)$$

Norint atlikti tokius skaičiavimus, reikia skaičiuotuvo (pažymėtina, kad jo funkciją turi daugelio šiuolaikinių CNC staklių gamintojų valdymo įrenginiai), o pirmuoju (ir antruoju) atvejais visi skaičiavimai gali būti atlikti tik operuojant matmenimis brėžinyje. Todėl programuojant geriausia yra sutapdinti pradinį judesio tašką su kokiu nors kvadranto tašku (aišku, jeigu tai galima pagal sąlygas). Jeigu ne, panašius skaičiavimus reikėtų atlikti ir apdirbant staklėmis, kuriose galima programuoti visą apskritiminę trajektoriją. 4.21 pav. pavaizduoto griovelio apdirbimo programos fragmentas, bet su pradiniu tašku, išdėstytu taip, kaip parodyta 4.23 pav., atrodys taip:

...;

T02 M06 (iš dėtuvės pasirenkamas įrankis Nr. 2 – pirštinė freza);

S950 M03 (paleidžiamas suktyis suklyks, jo sukiai – 950 suk./min);

G90 G54 G00 X91.18 Y78.0 (įrankis pagreitintai pozicionuojamas pradiniame taške, kurio koordinatės detalės koordinačių sistemoje G54 X91,18 Y78 (4.23 pav.) nurodytos absoliučiaisiais vienetais (G90));

G43 H02 Z2.0 M08 (įrankis pagreitintai pozicionuojamas 2 mm aukščiau detalės paviršiaus pritaikant ilgio kompensaciją iš 2-os kompensacijų lentelės eilutės, pradedamas tiekti TAS į pjovimo zoną);

G01 Z-5.0 F40.0 (įrankis įsipjauna tiesinės interpoliacijos judesiu į metalą 5 mm pagal Z ašį su 40 mm/min pastūma);

G02 X91.18 Y78.0 I-31.18 J-18.0 F170.0 (pagal laikrodžio rodyklę frezuojamas žiedinis griovelis su 170 mm/min pastūma);

G01 Z2.0 (įrankis ištraukiamas iš griovelio tiesinės interpoliacijos judesiu pagal ašį Z, pastūma – 170 mm/min);

...;

Priešpaskutinė eilutė galėtų būti užrašyta ir taip:

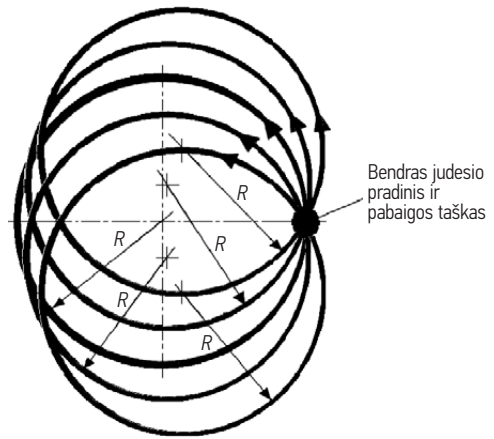
G02 I-31.18 J-18.0 F170.0;

Taigi nors eilučių yra mažiau, tačiau atstumai I , J bei koordinatės X_p ir Y_p vis tiek turi būti apskaičiuotos pagal 4.4–4.7 formules.

Programuoti ilgesnės negu viso apskritimo trajektorijos vienoje eilutėje nepavyks. Kartais to reikia, pavyzdžiui, norint perdengti trajektoriją siekiant geriau apdirbti ap-

valaus griovelio sienelės arba frezuojant sriegį šukutine freza. Šiuo atveju teks nurodyti dvi arba daugiau eilučių.

Labai svarbu žinoti, kad programuojant viso apskritimo trajektoriją *negalima naudoti adreso R*, netgi jei valdymo sistema *R* adresus supranta. Galima programuoti tik adresais *I*, *J*, *K*. Adresas *R* gali suklaidinti sistemą, jei reikia viso apskritimo judesio. Iš 4.24 pav. galima matyti, kad jeigu pradinis ir galinis judesio taškai sutampa, nurodžius spindulį *R* galima gauti begalybę apskritimų, apskritimo centro padėtis yra neapibrėžta, o adresais *I*, *J* ir *K* gaunamas vienintelis sprendimas, t. y. vienas apskritimas, kuris gali būti nubrėžtas per tašką. Taigi paskutiniu nagrinėtu atveju iš toliau pateiktų dviejų programos eilučių teisinga yra kairėje.



4.24 pav. Sprendimų neapibrėžtis naudojant adresą *R* viso apskritimo trajektorijai programuoti

Teisingai

G02 X91.18 Y78.0 I-31.18 J-18.0 F170.0;

arba

G02 I-31.18 J-18.0 F170.0;

Neteisingai

G02 X91.18 Y78.0 R36.0 F170.0;

arba

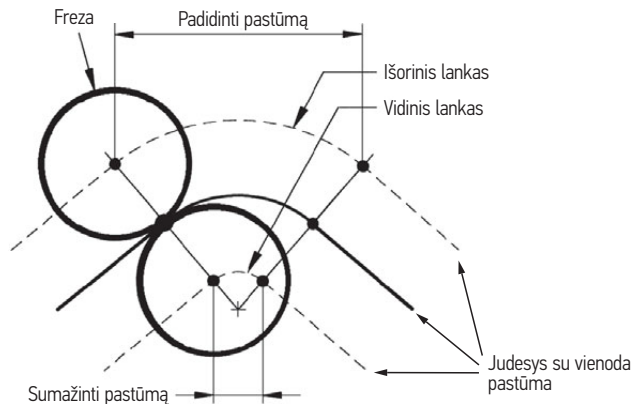
G02 R36.0 F170.0;

Dešinėje pateiktos programos eilutės valdymo sistemos nebus vykdomos, programa bus sustabdyta, pasirodys klaidos pranešimas.

Paminėtina, kad kai kurie CNC staklių ir jų valdymo sistemų gamintojai (pavyzdžiui, „Yasnac“ arba „Mitsubishi“, „HAAS“ ir kiti) vartotojų patogumui yra paruošę vidinius ciklus, skirtus apvalioms išėmoms (kišenėms) frezuoti. Šie ciklai programuojami atskirais kodais, paprastai G12 ir G13. Pirmasis skirtas judesiams pagal laikrodžio rodyklę programuoti, antrasis – prieš. Šie ciklai yra patogūs, nors „Fanuc“ firma jų vartotojams nesiuolo. Šie ciklai jokiū būdu netrukdo programuoti apskritiminių judesių G02 ir G03 kodais ir adresais *I*, *J*, *K*, o tik papildo staklių galimybes ir leidžia sutrumpinti programų parengimo laiką. G12 ir G13 ciklus apžvelgsime vėliau vidiniams ciklams skirtame skyriuje (11.2.3 skirsnis).

Apskritiminio judesio pastūma

Dauguma programuotojų ir operatorių neįvertina apskritiminio judesio specifikos ir palieka šiam judesiui tą pačią pastūmą, kurį buvo užprogramuota tiesinei interpoliacijai. Tačiau kai apdirbto paviršiaus kokybė yra labai svarbi, priklausomai nuo spindulio dydžio reikia atlikti tam tikrą pastūmos, pasirinktos iš įrankių katalogo arba žinyno ir naudojamos tiesinio interpoliavimo judesiui, korekciją.



4.25 pav. Frezos ašies trajektorijų ilgių skirtumas frezuojant suapvalintas vietas (Smid 2003)

Tekinant koreguoti pastūmą nėra tikslo, nes peilio viršūnės suapvalinimo spindulys yra mažas (0,1–3,2 mm) ir įrankio viršūnės judėjimo trajektorija beveik sutampa su užprogramuota. To nebus frezuojant kontūrą pirštine freza, kurios skersmuo gali būti gana didelis (pavyzdžiui, 15 mm ir daugiau). Tokiu atveju, kai gana didelio skersmens įrankis naudojamas mažo spindulio išorinėms suapvalintoms vietoms frezuoti (4.25 pav.), įrankio centro taško nueitas kelias bus kur kas didesnis negu lanko ilgis, todėl pastūma turi būti padidinta. Kai didelio skersmens freza naudojama vidiniams spinduliams suapvalinti, frezos centro taško kelias bus mažesnis už lanko ilgį (4.25 pav.) ir pastūma turi būti sumažinta, lyginant su pastūma, naudojama tiesiniam judesiui. Pastūmai koreguoti naudojamos tokios formulės:

$$F_{k+} = \frac{F_t (R+r)}{R}, \quad (4.8)$$

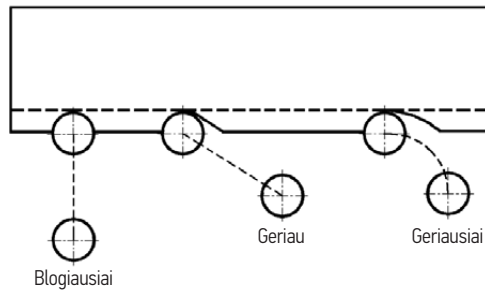
$$F_{k-} = \frac{F_t (R-r)}{R}, \quad (4.9)$$

čia: F_t – pasirinkta iš įrankių katalogo arba technologo žinyno pastūma, mm/min; R – suapvalinimo spindulys, mm; r – frezos spindulys, mm.

Formulė 4.8 naudojama frezuojant išorinius suapvalinimus, kai pastūma turi būti padidinta; formulė 4.9 – kai frezuojami vidiniai suapvalinimai, prireikus sumažinti pastūmą (4.25 pav.).

Įsipjovimo judesiai, programuojami G02/G03 kodais

Dažnai kodai G02 ir G03 frezuojant naudojami įrankio (frezos) apskritimo lanko formos įsipjovimo/atitraukimo trajektorijoms programuoti. Tokie judesiai paprastai programuojami frezuojant kontūrą. Nuo to, pagal kokią trajektoriją bus atlikti šie judesiai, priklauso, kaip bus apkrautas įrankis pirminio kontakto su apdirbamąja



4.26 pav. Pirštinės frezos įsipjovimo judesių trajektorijos (Mattson 2001)

medžiaga vietoje. 4.26 pav. pavaizduoti trys pirštinės frezos įsipjovimo judesiai, kai rėje pavaizduota blogiausia įrankio trajektorija jo apkrovos netolygumo požiūriu, viduryje – geresnė ir dešinėje – geriausia. Kaip matome iš šio paveikslėlio, lanko formos judesio atveju freza bus apkrauta laipsniškai, tolygiausiai iš visų atvejų, mažesnis bus frezos poslinkis dėl pjovimo jėgos, mažiau virpės įrankis, o tai reiškia, kad gausime geresnę paviršiaus kokybę. Vidurinis atvejis programavimo požiūriu yra palankesnis programuotojui ir operatoriui, nes čia reikalingas tik tiesinės interpoliacijos judesys (G01).

Dabar pateiksime keletą programų su kodais G02 ir G03 pavyzdžių.

1-asis pavyzdys. Detalyje (4.27 pav.) išfrezuoti 3 mm gylio griovelį. Šio judesio pradžios ir pabaigos taškai sutampa su apskritimo kvadranto taškais, todėl adresų I ir J reikšmės gali būti nustatytos nesudėtingai. Pateiksime visą programą, o ne jos fragmentą, nors kai kurie kodai gali būti dar nesuprantami (pavyzdžiui, G43, G28), jie bus paaiškinti kituose skyriuose.

O65656

(programa grioveliui frezuoti);

N01 G21 (metriniai vienetai);

N02 G17 (darbo plokštuma XY);

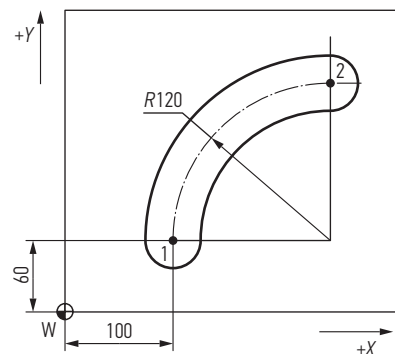
N03 G90 (absoliučiosios koordinatės);

N04 G54 (aktyvuojama detalės koordinatinių sistema Nr.1);

N05 T01 M06 (įrankis Nr. 1 iš dėtuvės įstatomas į sukli);

N06 G00 X100.0 Y60.0 (pagreitintas įrankio (tiksliau, stalo) judesys į pradinį griovelio tašką 1, kurio koordinatės X100 Y60 detalės koordinatinių sistemoje);

N07 S1000 M03 (suklio sukiai – 1000 suk/min, suklys paleidžiamas suktais pagal laikrodžio rodyklę);



4.27 pav. Frezuojamos detalės eskizas: 1 – pradinis judesio taškas; 2 – judesio pabaigos taškas

N08 G43 H01 Z2.0 (pagreitintas galvutės su freza nuleidimas į tašką Z2 mm, prieš tai taikoma įrankio ilgio kompensacija, duomenys jai imami iš įrankių ilgių kompensacijų lentelės 1-os eilutės (H01));

N09 G01 Z-3.0 F50.0 M08 (įgilinimas į metalą iki 3 mm gylio nuo ruošinio paviršiaus, pastūma – 50 mm/min, prieš judesį įjungiamas TAS siurblys);

N10 G02 X220.0 Y180.0 I120.0 J0.0 F150.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys pagal laikrodžio rodyklę į tašką 2 su 150 mm/min pastūma);

N11 G01 Z2.0 M09 (frezos ištraukimas iš griovelio su 150 mm/min pastūma, po judesio nutraukiamas TAS tiekimas);

N12 G28 Z2.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulio poziciją pagal ašį Z);

N13 M30 (programos pabaiga, ir sugrįžtama į programos pradžią);

Šioje programoje N10 eilutėje adreso J galėjo nebūti, nes šios vektoriaus projekcijos reikšmė lygi nuliui, t. y. eilutė galėjo būti užrašyta taip:

N10 G02 X220.0 Y180.0 I120.0 F150.0;

Jeigu taško 2 koordinates nurodytume prieaugiais, N10 eilutė būtų tokia:

N10 G91 G02 X120.0 Y120.0 I120.0 F150.0 (prieaugių režimas (G91), apskritiminės interpoliacijos judesys pagal laikrodžio rodyklę į tašką 2 su 150 mm/min pastūma);

N11 G90 G01 Z2.0 M09 (grįžimas į absoliučiuųjų koordinačių režimą (G90), frezos atitraukimas pagal Z ašį į tašką Z2);

2-asis pavyzdys. Išfrezuoti detalėje (4.27 pav.) griovelį, kurio pradinio taško koordinatės detalės koordinačių sistemoje yra tokios pačios kaip ir 4.27 pav., tačiau pabaigos taško koordinatės yra kitokios (4.28 pav.). Skirtingai nei prieš tai išnagrinėtame pavyzdyje, frezos judesio trajektorijos pabaigos taškas 2 nesutampa nė su vienu iš 4 apskritimo kvadranto taškų. Šiuo atveju prireiks nustatyti galinio taško 2 koordinates (jeigu jų negalima tiesiogiai nustatyti iš brėžinio) naudojant trigonometrines funkcijas, t. y. pagal šias formules:

$$X_g = X_p + R + x = X_p + R + R \cos 45^\circ = 100 + 120 + 120 \cos 45^\circ = 304,853,$$

$$Y_g = Y_p + y = Y_p + R \sin 45^\circ = 60 + 120 \sin 45^\circ = 144,853,$$

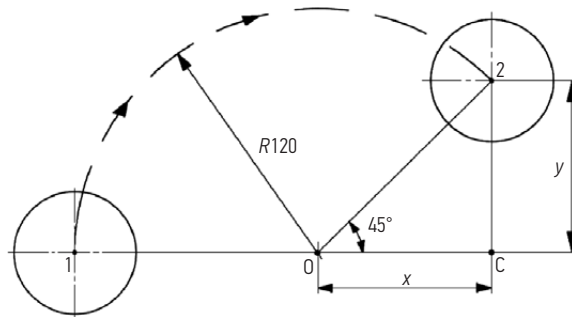
čia: X_g, Y_g – judesio pabaigos taško 2 (4.28 pav.) koordinatės detalės koordinačių sistemoje, mm; X_p, Y_p – judesio pradžios taško 1 koordinatės detalės koordinačių sistemoje, mm; R – judesio trajektorijos spindulys, mm; x, y – atstumai, nustatyti iš trikampio OC2 (4.28 pav.), mm.

Programa bus panaši, kaip anksčiau, tik N10 eilutė bus tokia:

N10 G02 X304.853 Y144.853 I120.0 J0.0 F150.0;

arba be adreso J:

N10 G02 X304.853 Y144.853 I120.0 F150.0;



4.28 pav. Grovelio frezavimo trajektorija, kai judesio pabaigos taškas nesutampa su kvadranto tašku: 1 – judesio pradžios taškas; 2 – judesio pabaigos taškas

Prieaugio koordinatėse N10 eilutė atrodytų taip:

N10 G91 G02 X204.853 Y84.853 I120.0 F150.0;

Čia taško 2 prieaugio koordinatės nuo taško 1, kuriame yra įrankis, buvo nustatytos taip: $X(R + x)$; $Y(y)$.

3-iasis pavyzdys. Išfrezuoti detalėje (4.27 pav.) grovelį pagal schemą, parodytą 4.29 pav. Pradinio apskritiminio judesio taško 1 koordinatės yra X100 Y60 detalės koordinatinių sistemoje. Šiuo atveju judesio pradžios ir pabaigos taškai nesutampa su apskritimo kvadranto taškais. Čia, be galinio taško koordinatinių, kurios nustatomos pagal 4.28 pav., reikia nustatyti atstumų I ir J reikšmes iš trikampio OB1 (4.29 pav.):

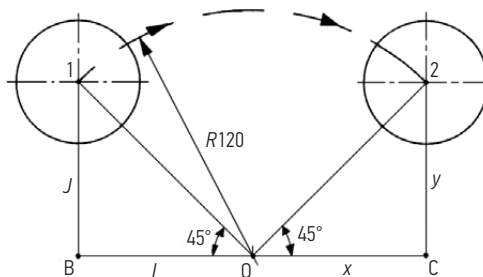
$$I = R \cos 45^\circ = 120 \cos 45^\circ = 84,853,$$

$$J = R \sin 45^\circ = 120 \sin 45^\circ = 84,853.$$

Judesio pabaigos taško koordinatės šiuo atveju lygios:

$$X_g = X_p + 2I = 100 + 2 \times 84,853 = 269,706,$$

$$Y_g = Y_p = 60.$$



4.29 pav. Grovelio frezavimo trajektorija, kai judesio pradžios ir pabaigos taškai nesutampa su kvadranto taškais: 1 – judesio pradžios taškas; 2 – judesio pabaigos taškas

Programa atrodys panašiai kaip 1-ame pavyzdyje, keisis tik jos eilutė N10:

N10 G02 X269.706 Y60.0 I84.853 J-84.853 F150.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys pagal laikrodžio rodyklę į tašką 2 su 150 mm/min pastūma);

Galima nenurodyti judesio pabaigos taško Y koordinatės, nes ji yra tokia pat kaip ir pradžios taško:

N10 G02 X269.706 I84.853 J-84.853 F150.0;

Jei norėtume užprogramuoti apskritiminės interpoliacijos judesį prieaugių režimu, turėtume N10 eilutę užrašyti taip:

N10 G91 G02 X169.706 Y0.0 I84.853 J-84.853 F150.0;

Įvertinant tai, kad galinio judesio taško Y koordinatė nesikeičia, palyginti su pradžios taško:

N10 G91 G02 X169.706 I84.853 J-84.853 F150.0;

Judesio pabaigos taško X prieaugio koordinatė yra teigiama (judesys vyksta teigiamąja ašies X kryptimi) ir yra lygi:

$$\Delta X = X_g - X_p = 269,706 - 100 = 169,706.$$

4-asis pavyzdys. Sudaryti valdymo programas grioveliams frezuoti, panašiai kaip 1–3 pavyzdžiuose (4.27–4.29 pav.), vietoje adresų I ir J naudojant adresą R.

Atveju, nagrinėtu 1-ame pavyzdyje, N10 eilutė absoliučiosiose koordinatėse atrodys taip:

N10 G02 X220.0 Y180.0 R120.0 F150.0;

Atveju, nagrinėtu 2-ame pavyzdyje, N10 eilutę absoliučiosiose koordinatėse galima užrašyti taip:

N10 G02 X304.853 Y144.853 R120.0 F150.0;

Pagaliau 3-io pavyzdžio grioveliui frezuoti galima užrašyti taip:

N10 G02 X269.706 R120.0 F150.0;

5-asis pavyzdys. Parengti programą 4.27 pav. pateiktam atvejui, sukeičiant vietomis judesio pradžios ir pabaigos taškus. Parašysime programą dviem būdais: naudodami adresus I ir J bei naudodami adresą R. Tam tikslui 1-ame pavyzdyje programoje reikia pakeisti eilutes N06 ir N10. Pirmoje iš jų bus pakeistos greitojo pozicionavimo galinio taško (ir atitinkamai pradinio lanko judesio taško) koordinatės. Pasikeis taip pat ir lanko galinio taško koordinatės N10 eilutėje, be to, lanko judesiui bus naudojamas kodas G03, o ne G02, nes judesys vyks ne pagal, bet prieš laikrodžio rodyklę. Taip pat pasikeis ir adresų I ir J reikšmės bei ženklai. Modifikuotos programos eilutės su adresais I ir J atrodys taip:

...;
 N06 G00 X220.0 Y180.0;
 ...;
 N10 G03 X100.0 Y60.0 I0.0 J-120.0 F150.0;
 ...;

Su adresu R eilutė N10 atrodys taip:

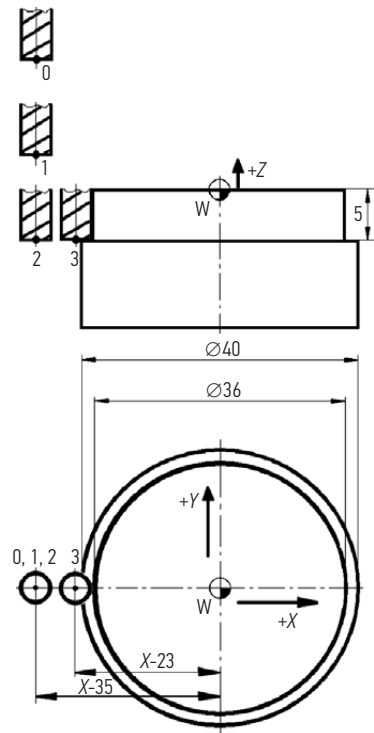
N10 G03 X100.0 Y60.0 R120.0 F150.0;

Visos kitos programos O65656 eilutės gali likti be pakeitimų.

6-asis pavyzdys. Parengti programą cilindrinei iškyšai frezuoti (4.30 pav.) vertikaliosiomis frezavimo staklėmis. Reikia užprogramuoti viso apskritimo judesį, todėl adreso R naudoti negalime, galime operuoti tik I ir J adresais.

O56565

(programa cilindrinei iškyšai (4.30 pav.) frezuoti);
 N01 G21 G17 (metriniai vienetai, darbo plokštuma XY);
 N02 G90 G54 (absoliučiosios koordinatės, aktyvuojama detalės koordinačių sistema G54);
 N03 T01 M06 (įrankis Nr. 1 (tegu tai bus 10 mm skersmens pirštinė freza) iš dėtuvės įstatomas į suklį);
 N04 S1600 M03 (suklio sūčiai – 1600 sūk/min, suklys paleidžiamas suktis pagal laikrodžio rodyklę);
 N05 G00 X-35.0 Y0.0 (įrankio greitojo pozicionavimo judesys plokštumoje, lygiagrečioje su plokštuma XY į tašką X-35 Y0 (taškas 0, 4.30 pav.) detalės koordinačių sistemoje G54 (pradžia W), taško koordinatė X-35 pasirinkta specialiai toliau už detalės kontūro, kad nusileisdamas įrankis neužkabintų detalės);
 N06 G43 H01 Z5.0 (pagreintintas frezos nuleidimas pagal Z ašį į tašką Z5 mm (5 mm aukščiau detalės galinio paviršiaus, taškas 1, 4.30 pav.) detalės koordinačių sistemoje G54, prieš tai taikoma įrankio ilgio kompensacija, duomenys imami iš įrankių kompensacijų lentelės 1-os eilutės (H01));
 N07 G01 Z-5.0 F180.0 (frezos tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi 5 mm žemiau detalės Z nulio, t. y. iki griovelio dugno (taškas 2, 4.30 pav.), pastūma – 180 mm/min);
 N08 X-23.0 M08 (įsipjovimas iš šono į metalą tiesinės interpoliacijos judesiu pagal X ašį iki išky-



4.30 pav. Cilindrinės iškyšos frezavimas

šos $\varnothing 36$ krašto (judesys atliekamas ne į tašką X-18 ($36/2=18$), o į tašką X-23 (taškas 3, 4.30 pav.), įvertinant frezos spindulį 5 mm), pastūma – 180 mm/min; prieš judesį įjungiamas TAS siurblys);

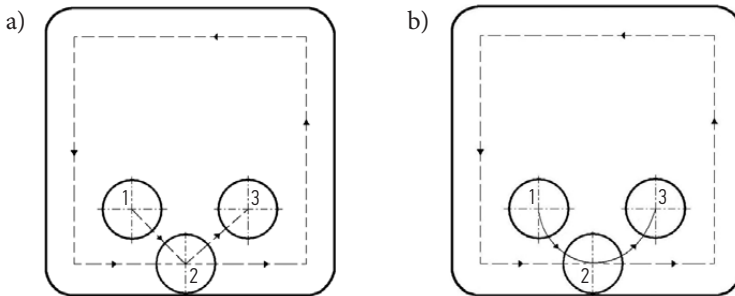
N09 G02 I23.0 F200.0 (iškyšos frezavimas pagal laikrodžio rodyklę (pagal pastūmą) su 200 mm/min pastūma, judesio pabaigos taško koordinatės nenurodytos, nes sutampa su pradžios taško 3 koordinatėmis);

N10 G01 Z2.0 M09 (frezos atitraukimas pagal ašį Z į tašką Z2 detalės koordinačių sistemoje su 200 mm/min pastūma, TAS tiekimas bus nutrauktas judesio pabaigoje);

N11 G28 Z2.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulio poziciją pagal ašį Z);

N12 M30 (programos pabaiga ir sugrįžimas į programos pradžią);

7-asis pavyzdys. Paruošti programą vidinei kišenei, pavaizduotai 4.31 pav., frezuoti su skirtingais frezos išipjovimo judesiais (pagal tiesę ir pagal apskritimo lanką, t. y. tiesinės interpoliacijos ir apskritiminės interpoliacijos judesiais). Kišenės matmenys (ilgis×plotis) yra 100×100 mm, gylis – 5 mm. Sakykime, kišenė jau yra detalėje (pvz., išlieta), reikia nuimti šiek tiek metalo nuo kišenės šonų, vidaus frezuoti nereikia. Detalės koordinačių sistemos pradžia (nulis) – kišenės įstrižainių susikirtimo taške. Frezuosime pirštine freza, kurios skersmuo – 8 mm. Akivaizdu, kad kišenės kampai bus suapvalinti 4 mm spinduliu frezuojant be apskritiminės interpoliacijos judesių. Programos pateiktos 4.5 lentelėje.



4.31 pav. Vidinės kišenės (100×100 mm) frezavimas su skirtingais frezos išipjovimo/atitraukimo judesiais: a – tiesinės interpoliacijos judesys; b – apskritiminės interpoliacijos judesys (Mattson 2001)

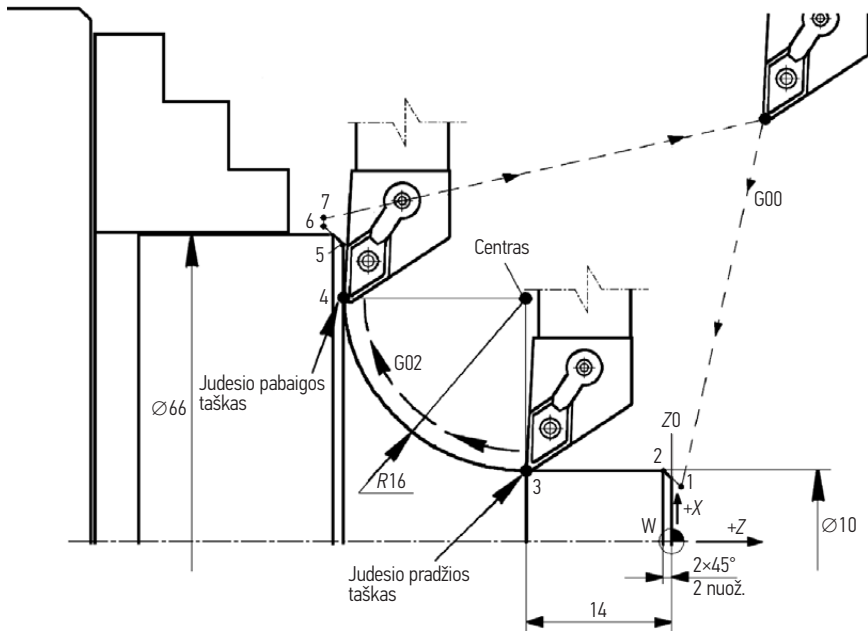
4.5 lentelė. Programos kišenei (4.31 pav.) frezuoti

Tiesinės interpoliacijos išipjovimo judesys (4.31 pav., a)	Apskritiminės interpoliacijos išipjovimo judesys (4.31 pav., b)
N01 G21 G17 G90 G54; N02 T01 M06; N03 S1750 M03;	N01 G21 G17 G90 G54; N02 T01 M06; N03 S1750 M03;

4.5 lentelės pabaiga

Tiesinės interpoliacijos įsipjovimo judesys (4.31 pav., a)	Apskritiminės interpoliacijos įsipjovimo judesys (4.31 pav., b)
<p>N04 G00 X-25.0 Y-25.0 (greitojo pozicionavimo judesys plokštumoje, lygiagrečioje su plokštuma XY į tašką 1);</p> <p>N05 G43 H01 Z2.0 (pagreitintas judesys Z ašies kryptimi į tašką, kuris nutolęs nuo galinio detalės paviršiaus 2 mm);</p> <p>N06 G01 Z-5.0 F50.0 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi į tašką 5 mm žemiau detalės paviršiaus (iki kišenės dugno));</p> <p>N07 X0.0 Y-46.0 F185.0 (įsipjovimas pagal tiesę į tašką 2, įvertinant 4 mm frezos spindulį);</p> <p>N08 X46.0 (kišenės šono frezavimas);</p> <p>N09 Y46.0 (kišenės šono frezavimas);</p> <p>N10 X-46.0 (kišenės šono frezavimas);</p> <p>N11 Y-46.0 (kišenės šono frezavimas);</p> <p>N12 X0.0 (kišenės šono frezavimas);</p> <p>N13 X25.0 Y-25.0 (frezos atitraukimas pagal tiesę iš taško 2 į tašką 3);</p> <p>N14 Z2.0 M09 (frezos atitraukimas pagal Z ašį su 185 mm/min pastūma į tašką 2 mm aukščiau detalės galinio paviršiaus);</p> <p>N15 G28 Z2.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulio poziciją pagal ašį Z);</p> <p>N16 M30 (programos pabaiga ir sugrįžimas į programos pradžią);</p>	<p>N04 G00 X-25.0 Y-21.0;</p> <p>N05 G43 H01 Z2.0;</p> <p>N06 G01 Z-5.0 F50.0 M08;</p> <p>N07 G03 X0.0 Y-46.0 I25.0 J0.0 F185.0 (įsipjovimas prieš laikrodžio rodyklę pagal lanką į tašką 2, įvertinant 4 mm frezos spindulį);</p> <p>N08 G01 X46.0 (kišenės šono frezavimas);</p> <p>N09 Y46.0 (kišenės šono frezavimas);</p> <p>N10 X-46.0 (kišenės šono frezavimas);</p> <p>N11 Y-46.0 (kišenės šono frezavimas);</p> <p>N12 X0.0 (kišenės šono frezavimas);</p> <p>N13 G03 X25.0 Y-21.0 I0.0 J25.0 (frezos atitraukimas pagal lanką prieš laikrodžio rodyklę į tašką 3);</p> <p>N14 G01 Z2.0 M09 (frezos atitraukimas pagal Z ašį su 185 mm/min pastūma į tašką 2 mm aukščiau detalės galinio paviršiaus);</p> <p>N15 G28 Z2.0;</p> <p>N16 M30;</p>

8-asis pavyzdys. Sudaryti valdymo programą detalei tekinti (4.32 pav.). Tegul detalė tekinama ne iš strypo, o iš ruošinio, kurio forma yra artima detalės formai, todėl tereikia ją tik aptekinti išilgai profilio linijų. Apskritiminės interpoliacijos judesys aptekinant bus plokštumoje ZX (G18), todėl naudosime adresus I ir K, o ne I ir J, kaip daryta frezuojant. Programą sudarysime dviem būdais – naudodami adresus I ir K bei adresą R. Pateiksime visą programą, kurioje skaitytojui gali kilti neaiškumų dėl kai kurių kodų, be kurių programa veiks neteisingai (pvz., G42 – peilio viršūnės suapvalinimo spindulio kompensacija profilio dešinėje ir pan.). Šie kodai bus paaiškinti tolesniuose skyriuose, o dabar siūlome susikoncentruoti į kodų G01/G02/G03/G00 taikymą ir į profilio taškų koordinates.



4.32 pav. Tekinamos detalės eskizas ir peilio judesių trajektorijos (Quesada 2005)

O22233

(programa detalei tekinti);

N05 G18 G21 G28 (metriniai vienetai, plokštuma ZX, revolverinė galvutė atitraukiama į staklių nulį);

N10 T101 (pasirenkamas įrankis Nr. 1 revolverinėje galvutėje, jo ilgio, viršūnės suapvalinimo spindulio ir dilimo kompensacijos pasirenkamos iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės);

N20 S1600 M04 (suklys paleidžiamas sukty atgal, jo sukiai –1600 suk./min);

N25 G42 G00 X4.0 Z1.0 (įrankis pagreitinai pozicionuojamas prie ruošinio galinio paviršiaus taške 1, pritaikant įrankio viršūnės spindulio kompensaciją iš dešinės);

N30 G96 S250 (įjungiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, palaikomas 250 m/min pjovimo greitis);

N35 M08 (pradedama tiekti TAS į pjovimo zoną);

N40 G01 X10.0 Z-2.0 F0.15 (nuožulnos tekinimas tiesinės interpoliacijos judesiu į tašką 2 su 0,15 mm/sūk. pastūma);

N45 Z-14.0 (tekinama cilindrinė ruošinio dalis įrankiui judant pagal tiesę Z ašies kryptimi iki pradinio apskritimino judesio taško 3 su 0,15 mm/sūk. pastūma);

N50 G02 X42.0 Z-30.0 I16.0 K0.0 (pjovimo judesys apskritimo lanku pagal laikrodžio rodyklę į tašką 4 su 0,15 mm/sūk. pastūma; skirtingai nei X koordinatčių I reikšmė iš 2 nedauginama, nors ir naudojama lanko centro padėčiai X ašies kryptimi nustatyti);

N55 G01 X62.0 (galinio paviršiaus tekinimas tiesinės interpoliacijos judesiu iki taško 5 su 0,15 mm/sūk. pastūma);

N60 X70.0 Z-34.0 (nuožlunos tekinimas tiesinės interpoliacijos judesiu su 0,15 mm/sūk. pastūma, įrankis nukreipiamas į tašką 6);

N65 G40 X74.0 M09 (įrankio atitraukimas pagal X ašį į tašką 7 tiesinės interpoliacijos judesiu su 0,15 mm/sūk. pastūma, atšaukiant įrankio viršūnės suapvalinimo spindulio kompensaciją, judesio pabaigoje nutraukiamas TAS tiekimas į pjovimo zoną);

N70 G97 S1600 (pastovaus pjovimo greičio funkcijos išjungimas, sūkliai – 1600 sūk./min);

N75 G28 (revolverinės galvutės grįžimas į staklių nulinę poziciją);

N80 M30 (programos pabaiga ir grąžinimas į pradžią);

N50 eilutėje, kur programuojamas apskritiminės interpoliacijos judesys, vietoje I ir K adresų taip pat galima naudoti R adresą, tada eilutė atrodytų taip:

N50 G02 X42.0 Z-30.0 R16.0;

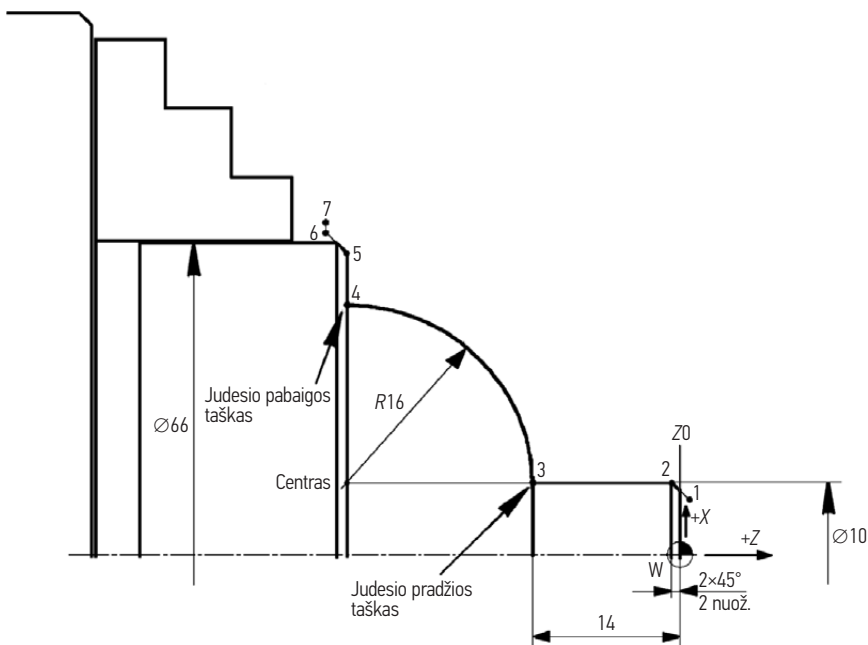
Programuojant prieaugio koordinatėmis eilutė N50 atrodytų taip:

N50 G02 U32.0 W-16.0 I16.0 K0.0;

arba su adresu R:

N50 G02 U32.0 W-16.0 R16.0;

9-asis pavyzdys. Parengti valdymo programą 4.33 pav. pavaizduotai detalei tekinti. Lyginant su 8-u pavyzdžiu šioje detalėje skiriasi tik vienas elementas – suapvalinimas R16, kuris yra išgaubtas, o ne įgaubtas. Visi kiti matmenys lieka tie patys. Tokiu atveju



4.33 pav. Tekinamos detalės eskizas ir peilio trajektorijos taškai (Quesada 2005)

suapvalinimui tekinti mums reikia jau ne G02, o G03 kodo. Apskritiminės interpoliacijos judesys vyks prieš laikrodžio rodyklę. Tam perrašysime programos O22233 (8-as pavyzdys) N50 programos eilutę. Kitos eilutės lieka be pakeitimų.

N50 G03 X42.0 Z-30.0 I0.0 K-16.0 (pjovimo judesys apskritimo lanku prieš laikrodžio rodyklę į tašką 4 su 0,15 mm/sūk. pastūma);

Vietoje adresų I ir K naudojant adresą R:

N50 G03 X42.0 Z-30.0 R16.0;

Programuojant prieaugio koordiantėmis N50 eilutė tokia:

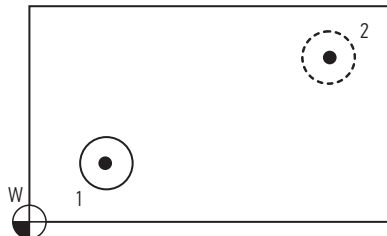
N50 G03 U32.0 W-16.0 I0.0 K-16.0;

Naudojant adresą R vietoje adresų I ir K:

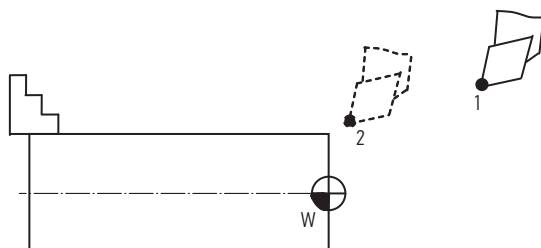
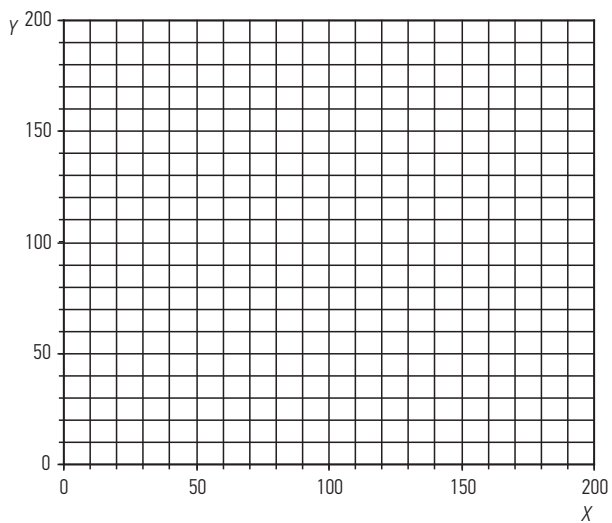
N50 G03 U32.0 W-16.0 R16.0;

Kontroliniai klausimai

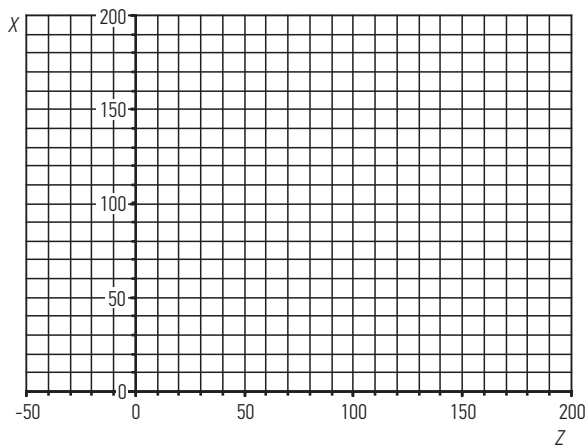
1. Kokiais atvejais reikalingas greitojo pozicionavimo įrankio judesys? Koks būna jo greitis? Kaip galima šį greitį apriboti?
2. Koks greitojo pozicionavimo judesio eilutės formatas CNC staklėse?
3. Toliau pateiktuose grafikuose nubraižykite įrankių (frezos ir peilio) judėjimo trajektorijas, kai juda iš taško 1 į tašką 2 pagal abi ašis vienu metu ir pagal atskiras ašis vykdant greitojo pozicionavimo komandą. Apskaičiuokite tarpinių taškų koordinates, jei akivaizdu, kad įrankis negalės patekti iš pradinio į galinį tašką artimiausiu keliu, t. y. pagal tiesę. Užrašykite greitojo pozicionavimo eilutes absoliučiosiomis koordiantėmis ir prieaugiais. Taškų 1 (išvykimo) ir 2 (atvykimo) koordinates ir staklių greitojo pozicionavimo judesio greičiai pateikti lentelėse.



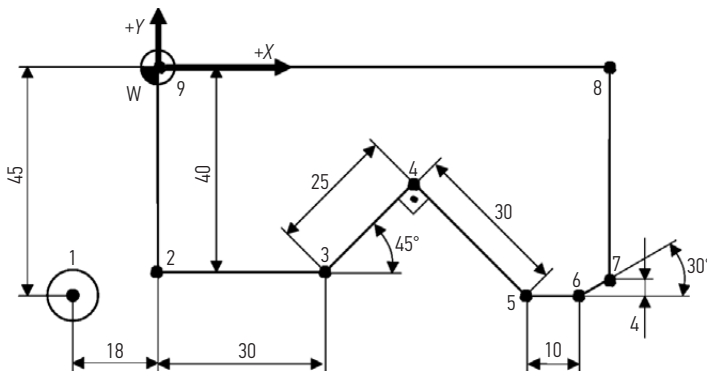
Absoliučiosios koordinatės				Greitojo pozicionavimo judesio greitis, mm/min	
1 taškas		2 taškas			
X	Y	X	Y	X	Y
20	20	100	100	15 000	15 000
0	0	200	100	12 000	12 000
0	0	120	200	17 000	17 000
30	20	180	200	10 000	15 000
0	0	100	160	20 000	15 000
150	120	0	0	14 400	14 400



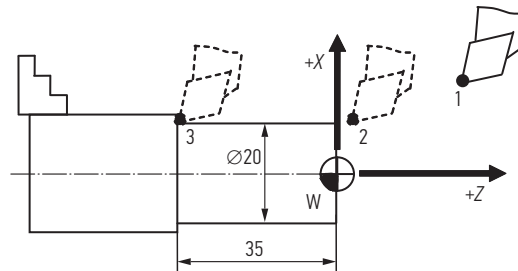
Absoliučiosios koordinatės				Greitojo pozicionavimo judesio greitis, mm/min	
1 taškas		2 taškas			
X (skersmeniui)	Z	X (skersmeniui)	Z	X	Z
360	180	20	10	7000	7000
200	50	100	0	10 000	10 000
250	80	30	0	7000	5000
300	50	40	-20	10 000	10 000
100	50	0	0	10 000	5000



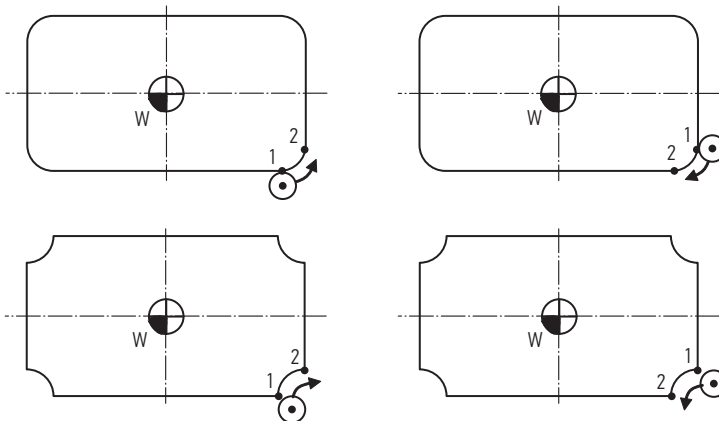
4. Kas yra tiesinės interpoliacijos judesys? Koku tikslu jis naudojamas? Kaip valdomas jo greitis programoje?
5. Koks yra tiesinės interpoliacijos eilutės formatas tekimo ir frezavimo staklėse?
6. Parašykite programos eilutes kontūrai (žr. tolesnį pav.) frezuoti absoliučiosiomis koordinatėmis ir priegaiais, kai įrankis yra taške 1 ir juda nuo šio taško tokiu keliu: 1–2–3–4–5–6–7–8–9–2–1. Frezos skersmens nevertinti, laikyti, kad su minėtais taškais turi būti sutapdinta frezos ašis.

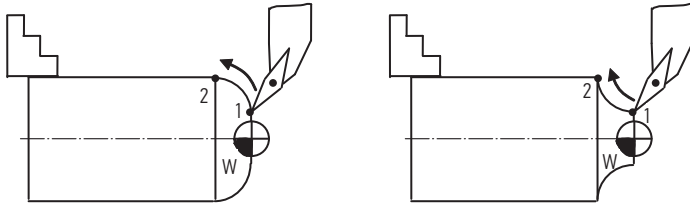


7. Parašyti programos eilutes detalei (žr. tolesnį pav.) tekinti iki $\varnothing 20$ skersmens ir 35 mm ilgio, jeigu peilio viršūnė yra taške 1, kurio koordinatės yra X45 Z40 detalės koordinatinių sistemoje. Programos fragmentą parengti naudojant absoliučiąsias koordinates ir prieaugius. Detalės koordinatinių sistemos pradžia yra detalės ašies ir galinės plokštumos susikirtimo taške. Nuo taško 1 iki taško 2, kurio koordinatės yra X20 Z2, įrankis turi judėti pagreitinamai, iki taško 3 – su darbine 0,2 mm/sūk. pastūma. Taško 2 X koordinatė yra 20, o ne 10, nes tekimo staklėse X koordinatės programavimo patogumui dažniausiai nurodomos skersmeniui, t. y. dvigubinamos.

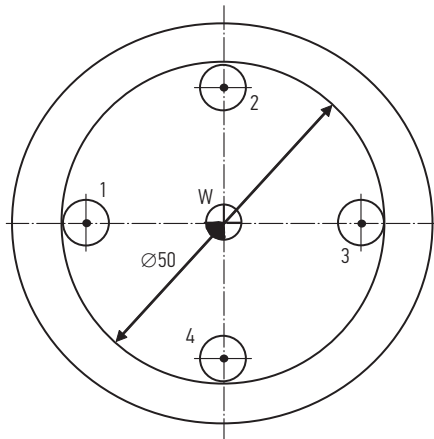


8. Kas yra apskritiminės interpoliacijos judesys? Koku tikslu jis naudojamas? Kaip valdomas apskritiminės interpoliacijos judesio greitis?
9. Kokie du įrankio apskritiminės interpoliacijos judesių variantai galimi CNC staklėse? Kaip nustatoma judesio kryptis?
10. Koks yra apskritiminės interpoliacijos judesių eilutės formatas? Kokiais būdais galima užprogramuoti judesio trajektorijos lanko spindulį?
11. Kaip nustatyti atstumų I , J arba K ženklus? Kaip pasikeis judesio trajektorija, jei bus nurodyta neigiama spindulio adreso R reikšmė?
12. Parinkite teisingus kodus G02/G03 apskritiminės interpoliacijos judesiui iš taško 1 į tašką 2 (paveikslai pateikti toliau) programuoti.





13. Parašykite valdymo programos eilutes kontūrai, pateiktam paveiksle prie 2 skyriaus 7 kontrolinio klausimo, frezuoti. Programos eilutes paruošti, kai koordinatinių sistemos pradžia yra W_1 , W_2 ir W_3 , taip pat absoliučiosiomis koordinatėmis ir prieaugiais. Frezos skersmens nevertinti, su kontūro taškais turi sutapti jos ašis. Sudaryti programos eilutes atvejams, kai freza juda taškais 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-1 ir kitu keliu: 1-10-9-8-7-6-5-4-3-2-1.
14. Parašykite valdymo programos eilutes suapvalinimams, parodytiems pirmiau pateiktame paveiksle (išgaubtam ir įgaubtam), tekinti. Detalės skersmuo – 30 mm, o suapvalinimo spindulys – 10 mm. Parengti eilutes, kai įrankis juda iš taško 1 į tašką 2 ir atvirkščiai.
15. Kokie yra viso apskritimo judesio programavimo ypatumai? Kokiais atvejais frezavimo staklėse reikia tokio judesio?
16. Parašykite programos eilutes apskritimui judesiui apvaliai kišenei frezuoti detalės koordinatinių sistemoje W, kai įrankio judesio pradinis ir galinis taškas yra 1, 2, 3 ir 4. Judesį programuoti pagal ir prieš laikrodžio rodyklę. Frezos skersmuo – 6 mm, kišenės skersmuo – 50 mm.



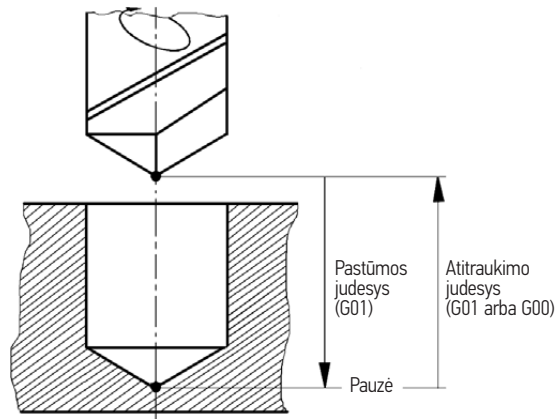
PAUZĖ, ARBA UŽDELSIMAS

Pauzė, arba uždelsimas, yra programuojamos trukmės laiko tarpas, kurio metu poslinkiai pagal visas valdomas koordinačių ašis nevyksta (suklys sukasi, jeigu buvo paleistas programa), o visos kitos komandos ir režimai nesikeičia ir lieka aktyvūs. Praėjus programoje nurodytam laiko tarpui programa vykdoma toliau nuo kitos eilutės (esančios po tos, kurioje užprogramuota pauzė). Pauzė iš pradžių gali atrodyti nereikalinga, tačiau gana dažnai naudojama. Pauzė būna reikalinga pjaunant, kai įrankis kontaktuoja su ruošiniu ir kai pjovimas nebevyksta. Panagrinėsime šiuos atvejus atskirai.

Pjaunant pauzė yra reikalinga drožlėms laužyti gręžiant, tekinant griovelius ir atpjaunant tekinimo staklėmis. Tokiu būdu išvengiama ilgų ištisinių drožlių, kurios drasko apdirbtą paviršių ir yra nepageidautinos, nes jas sunku transportuoti drožlių konvejeriais nuo staklių iki saugyklos. Tokios drožlės užima daugiau vietos negu sulaužytos, todėl jas nepatogu gabenti automobilių ar kitu transportu iš gamyklos į perdirbimo įmones. Pauzių metu apdirbant sunkiai apdirbamas medžiagas dar gali būti siekiama ataušinti įrankį. Be to, kartais naudinga užprogramuoti pauzė įrankiui (pavyzdžiui, grąžtui) pasiekus galinę judesio poziciją norint pašalinti užvartą, kuri susidaro įrankiui išeinant iš metalo prie ruošinio krašto dėl spaudimo (pvz., gręžiant, ištekinant). Dar vienas atvejis, kai pauzė naudojama, yra kai įrankis, judėdamas su didele pastūma, priartėja prie galinio judesio taško (pvz., prie skylės dugno), o po to greitai atitraukiamas nuo ruošinio, nespėjant jam arba įrankiui apsisukti. Toks atvejis dažniausiai pasitaiko tekinant, gręžiant lengvai apdirbamus metalus, apdirbant skylės gilintuvais, kai dirbama didelėmis pastūmomis, bet mažu pjovimo greičiu. Tokiu atveju dalis metalo lieka nenuimta. Todėl kai įrankis atsiduria judesio pabaigos taške, dažnai užprogramuojama pauzė, kurios metu nevyksta pastūmos judesiai, o tik sukasi suklys. Pauzės metu taip pat bus pašalintas tampriai deformuotas metalo sluoksnis. Pavyzdžiui, tekinant griovelius dėl veikiančios radialinės pjovimo jėgos dedamosios ruošinys atitraukiamas nuo peilio, dalis metalo lieka nenupjauta. Uždelsus peilio atitraukimą iš griovelio pašalinama likusi medžiaga, padidinamas matmenų tikslumas ir sumažinamas paviršiaus šiurkštumas. Visais tokiais ir panašiais atvejais pastūmos judesio gale yra programuojama pauzė, panašiai kaip parodyta 5.1 pav. skylės gręžimo vertikaliosiomis frezavimo staklėmis atveju. Užprogramavę pastūmos judesį išilgai Z

ašies ir po to iš karto grąžto atitraukimą pagal tą pačią ašį, gavome tokį valdymo programos fragmentą:

```
...;
G01 Z-42.0 F275.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi į tašką Z-42 su 275 mm/min
pastūma);
G00 Z2.0 (greitasis atitraukimo judesys Z ašies kryptimi į tašką Z2);
...;
```



5.1 pav. Skylės gręžimas su pauze

Greitojo pozicionavimo judesys, užprogramuotas eilutėje su G00 kodu, nepsidės tol, kol atraminis grąžto taškas nepasieks tiesinės interpoliacijos judesiu koordinatės Z-42, užprogramuotos prieš tai esančioje eilutėje. Į greitojo pozicionavimo judesio režimą G00 bus pereita labai greitai dėl valdymo sistemos gebėjimo skaityti programos eilutes „į priekį“. Tokiu būdu vos pasiekus įrankiui Z-42, iš karto prasidės greitojo pozicionavimo judesys į tašką Z2, skylės dugne gali likti nepašalintos medžiagos, kuri atsistato po įrankio spaudimo arba nespėjus įrankiui apsisukti. Tokiu atveju, jeigu keliama didesni reikalavimai atitinkamo skylės matmens tikslumui, gali būti užprogramuojama pauzė:

```
...;
G01 Z-42.0 F275.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi į tašką Z-42 su
275 mm/min pastūma);
G04 P1.0 (1 s trukmės pauzė);
G00 Z2.0 (greitasis atitraukimo judesys Z ašies kryptimi į tašką Z2);
...;
```

Tokiu atveju įrankis Z ašies kryptimi pagreitintai atsitrauks į poziciją Z2 tik po to, kai pozicijoje Z-42 bus išlaikyta 1 s pauzė, kuri užprogramuota prieš tai esančioje eilutėje.

Pažymėtina, kad daugumą iš minėtų technologinių operacijų ir pakopų (pvz., mūsų nagrinėtas atvejis – gręžimas, ištekinimas ir pan.) šiuolaikinėse staklėse patogiau atlikti naudojant staklių vidinius ciklus (*Canned Cycles*), su kuriais skaitytojas susipažins specialiai jiems skirtame skyriuje. Šie vidiniai ciklai sudaryti operatorių patogumui ir jais galima programuoti vienoje eilutėje grupę judesių, o ne vieną, ir taip sutaupyti programavimo laiką. Pavyzdžiui, norint nuo cilindrinio ruošinio nuimti 10 mm užlaidą, neužtenka vienos eigos, užlaidą reikia suskirstyti į dalis ir tekinti nuosekliai kiekvieną dalį programuojant kelias peilio eigas. Rašant tokią programą reikia nurodyti: pagreitiniai nustatyti peilį prie ruošinio (G00), įsipjauti pjovimo gyliu (G01), tekinti (G01), vėl grąžinti peilį prie ruošinio galo (G00), įsipjauti pjovimo gyliu (G01), vėl tekinti (G01) ir t. t. Toks programavimas yra gana nuobodus, nes būtina programuoti pasikartojančius judesius, ir tai užima daug laiko. Norint sutaupyti laiką, visą programos fragmentą, kuriame programuojami tokie judesiai, galima pakeisti viena eilute, tiksliau, vienu G kodu, kuris ir vadinamas vidiniu ciklu. Tokioje eilutėje (kartais reikia ir kelių eilučių) nurodomas pasirinkto vidinio ciklo G kodas ir jo parametrai, tarp kurių gali būti ciklo pradinio taško koordinatės, galinio taško koordinatės, kiekvienos eigos pjovimo gylis, pastūma, pjovimo greitis ir kiti. Pagal šiuos parametrus valdymo sistema pati suplanuos ir atliks operaciją arba pakopą. Vidinių ciklų skaičius priklauso nuo staklių, jų būna įvairių: rupiojo tekinimo, glotniojo tekinimo, ištekinimo, gręžimo, kišenių frezavimo ir pan. Šiuose cikluose tarp parametrų dažnai naudojama ir pauzė (pvz., gręžimo cikluose). Tokiu atveju kodas G04 *nenaudojamas*, pauzės nereikia programuoti tiesiogiai jos kodu, o tarp ciklo parametrų reikia nurodyti pauzės adresą ir pauzės trukmę (žr. 11 sk.). Valdymo sistema tokiu atveju pati padarys nustatytos trukmės pauzę reikalingoje apdirbimo ciklo vietoje be operatoriaus pagalbos. Nepaisant to, senesniuose įrengimuose gali nebūti ciklų, be to, negalima numatyti ciklais visų atvejų, todėl programuotojui vis dėlto yra naudinga gebėti užprogramuoti pauzę ir žinoti jos kodo formatą.

Kai pjovimas nebevyksta, pauzė dažniausiai reikalinga įvairių papildomų staklių įtaisų judesiams atlikti, norint užtikrinti, kad jų judesiai pasibaigtų prieš toliau vykdant programą ir išvengti galimų įrankio susidūrimų su staklių junginiais ir įtaisais. Tarp tokių įtaisų gali būti strypo tiekimo įrenginys, arkliukas, detalių gaudyklė, pasukamas stalas, hidrauliniai ir pneumatiniai tvirtinimo įtaisai (pvz., griebtuvas, spaustuvai) ir panašiai. Kai kuriose staklėse (dažniausiai tekinimo staklės) reikia pauzės prieš keičiant staklių pavaras, po suklio sustabdymo. Pauzė taip pat gali būti reikalinga po suklio paleidimo komandos, jeigu iš karto po jos atliekamas pjovimo judesys, kad suklys spėtų įsibėgėti iki nurodytų sūkių, ypač, kai sūkliai yra labai dideli. Pauzės trukmė šiuo atveju nustatoma gamintojų ir informacija apie tai pateikiama staklių operatoriaus vadove.

Reikia paminėti, kad naudojant šiuolaikinius pirmiau išvardytus staklių įtaisus ir įrangą dažniausiai pauzės programuoti nereikia, programa tiesiog nebus vykdoma toliau, kol nebus užbaigtas jų judesys (pvz., nebus suspaustos griebtuvo žiaunos ir

panašiai) ir gautas atitinkamos relės signalas. Tačiau kai kuriais atvejais pauzė reikalinga. Tokie atvejai aprašomi staklių arba jų papildomų įrenginių operatorių vadovuose.

Staklėse dažnai naudojamos gamintojo sudarytos specialios programos suklio junginiui įsidirbti, išbandyti arba staklėms įšildyti. Šios programos yra panašios, tik suklio įsidirbimo programos yra ilgesnės ir naudojamos staklėse po pirmojo įjungimo arba po suklio arba staklių suklio galvutės remonto. Įšildymo atveju programa (jos trukmė sudaro 20–30 min) paleidžiama, kai staklės kelias dienas nedirbo arba prieš prasidedant pamainai šaltuoju metų laiku, kad staklių darbinių junginių ir tepalo temperatūra pasiektų darbinę. Abiem atvejais pagal programą laipsniškai didinami suklio sukiai nuo mažiausių iki didžiausių, kiekvienoje pakopoje išlaikoma tam tikros trukmės pauzė. Tokios programos pavyzdys pateiktas skyriaus pabaigoje.

„Fanuc“ firmos valdymo sistemose pauzė programoje nurodoma kodu G04, kurio formatas dažniausiai yra toks:

G04 X... (arba P..., arba U...);

čia X, P ir U – pauzės adresas, po kurio nurodomas laikas, išreikštas sekundėmis arba milisekundėmis (1 s = 1000 ms), priklausomai nuo adreso.

Kaip valdymo sistemos bus suprstas laukimo laikas – sekundėmis ar milisekundėmis – priklauso nuo to, kokį adresą – X, P ar U (U naudojamas tik tekinimo staklėse) – parenka programuotojas. Adresas X naudojamas visų tipų (frezavimo ir tekinimo) staklėse išskyrus šių staklių vidinius ciklus. Adresas U gali būti naudojamas tik tekinimo staklėms sudarytose programose. Adresas P naudojamas visų tipų staklėse, taip pat ir tarp šių staklių vidinių ciklų parametrų. Po adreso P nurodoma pauzės trukmė išreikšta milisekundėmis (leidžiama naudoti 5 skaičius, pvz., P10000 – 10 000 ms trukmės pauzė, didžiausia pauzė – P99999 – 99 999 ms (99,999 s) trukmės pauzė), po adresų X ir U – sekundėmis, dažniausiai galima naudoti 5 skaičius prieš ir tris skaičius po kablelio (pvz., X5.332 – 5 s ir 332 ms trukmės pauzė, ilgiausia pauzė – P99999.999 – 99999,999 s (27 h 46 min 39,999 s), trumpiausia – 0,001 s).

Kai kuriose sistemose visai nenaudojami adresai X ir U su kodu G04. Pavyzdžiui, „HAAS“ firmos valdymo sistemoje pauzės trukmė nurodoma tik adresu P, t. y. pauzės eilutės formatas yra toks:

G04 P...;

Pauzės trukmės vienetai priklauso nuo to, ar yra skyrimo taškas adreso P reikšmėje. Jeigu laikas užrašomas su tašku (pavyzdžiui, G04 P15.5, G04 P20.), sistema skaičių supranta kaip pauzės trukmę, išreikštą sekundėmis, jeigu taško nėra (pvz., G04 P155, G04 P20) pauzės vienetai yra milisekundės.

Toliau pateiktuose programos eilučių pavyzdžiuose užprogramuotos vienodos 3 sekundžių trukmės pauzės. Pirmasis užrašymas programuojant pauzę sekundėmis naudojamas visų tipų staklėse su „Fanuc“ firmos valdymo sistemomis. Antroje eilutėje pateiktas užrašymas naudojamas programuojant trumpas pauzes, išreikštas milisekun-

dėmis. Trečiajame pavyzdyje užprogramuota 3 s pauzė išreikšta sekundėmis ir gali būti taikoma tik tekinimo staklių su „Fanuc“ firmos valdymo sistemomis programose.

G04 X3.0 (3 s trukmės pauzė);
 G04 P3000 (3000 ms = 3 s trukmės pauzė);
 G04 U3.0 (3 s trukmės pauzė tekinimo staklėms);

Pusės sekundės pauzė gali būti užprogramuota taip:

G04 X0.5 (0,5 s trukmės pauzė);
 G04 P500 (500 ms = 0,5 s trukmės pauzė);
 G04 U0.5 (0,5 s trukmės pauzė tekinimo staklėms);

Nepaisant to, kad X ir U (tekinimo staklėse) adresai sutampa su koordinacių adresais, judesiai pagal ašis neįvyks, kai šie adresai naudojami su kodu G04.

„HAAS“ firmos staklių programose 3 sekundžių pauzė gali būti užprogramuota taip:

G04 P3.0 (3 s trukmės pauzė);
 G04 P3. (3 s trukmės pauzė);
 G04 P3000 (3000 ms = 3 s trukmės pauzė);

o 0,5 s trukmės pauzė:

G04 P0.5 (0,5 s trukmės pauzė);
 G04 P500 (500 ms = 0,5 s trukmės pauzė);

Šios firmos sistemose X ir U adresai nenaudojami, programuotojui nekyla asociacijų su ašių koordinatėmis. „Fanuc“ firmos valdymo sistemose taikant adresą P, skyrimo taškas yra neleidžiamas. Adresai X ir U taip pat gali būti naudojami be skyrimo taškų, tada trukmė bus suprantama milisekundėmis, pvz., pateiktos toliau eilutės yra ekvivalentinės:

G04 X2.0 (2 s trukmės pauzė);
 G04 X2000 (2000 ms = 2 s trukmės pauzė);

Kodas G04 yra nemodalinis, jis galioja tik toje eilutėje, kur užrašytas. Kitaip tariant, užrašius programoje dvi eilutes vieną po kitos:

N05 G04 P3000 (3000 ms = 3 s trukmės pauzė);
 N06 P2000 (2000 ms = 2 s trukmės pauzė);

5 s trukmės pauzės nebus, nemodalinis kodas G04 nebegalios eilutėje N06, pasirodys klaidos pranešimas. 5 s pauzė bus, kai užrašyta yra taip:

N05 G04 P3000 (3000 ms = 3 s trukmės pauzė);
 N06 G04 P2000 (2000 ms = 2 s trukmės pauzė);

Dar paprasčiau būtų užprogramuoti reikiamos trukmės pauzė vienoje eilutėje, kaip dažniausiai ir daroma:

N05 G04 P5000 (5000 ms = 5 s trukmės pauzė);

arba

N05 G04 X5.0 (5 s trukmės pauzė);

Paminėtina, kad „Fanuc“ firmos ir daugelyje panašių valdymo sistemų (tačiau ne visose, pavyzdžiui, firmos „HAAS“), priklausomai nuo vidinių nustatymų galima programuoti pauzes ir sekundėmis ar milisekundėmis, ir suklio sūkiais. Jeigu bus nustatyti laiko vienetai, eilutėje po G04 nurodytas tas pats skaičius bus suprastas kaip pauzės laikas, o kai nustatyti sūkiai – kaip suklio sūkiai, kuriuos reikia praleisti prieš vykdant programą toliau. Pavyzdžiui, eilutės G04 P1000 arba G04 X1.0, arba G04 U1.0, esant vienam nustatymui, reikš, kad reikia išlaikyti 1000 ms arba 1 s pauzė, esant kitam – 1 suklio sūkio trukmės pauzė.

Pauzės trukmės pasirinkimas

Pauzė yra neproduktyvus uždelsimas, ji didina ciklo laiką (ir atitinkamai vienetinę operacijos laiką), nes jos metu nevyksta apdirbimas. Dėl to mažėja per pamainą pagamintų detalių, didėja gaminio savikaina. Taigi pauzės turi būti tik ten, kur jų iš tikrųjų reikia, jos turi būti kuo trumpesnės, bet ne trumpesnės negu reikia. Dažnai programuotojai programuoja ilgesnes pauzes negu reikia pagal apdirbimo sąlygas, jų trukmė gali būti gerokai sumažinta. Ypač tai aktualu srovinės automatizuotos gamybos sąlygomis, kur operacijų trukmė yra maža, o gamybos apimtys didelės. Pateiksime pavyzdį.

Tegul viename iš programos blokų naudojama 5 s trukmės pauzė, reikalinga užvartai nuimti gręžiant skylę ir geriau apdirbti skylės kraštą. Detalės apdirbimo ciklo trukmė įskaitant detalės pastatymą ir nuėmimą (tai yra operacijos vienetinis laikas) yra 2,5 min. Per vieną pamainą teoriškai galima pagaminti $(8 \text{ h} \times 60 \text{ min}) / 2,5 \text{ min} = 192$ detales. Dabar panagrinėsime, ar reikalinga tokia pauzė ir kokios trukmės ji apskritai reikalinga. Suklys gręžimo pakopoje sukasi 600 sūk./min (arba 10 sūk./s) greičiu. Norint nuimti likusią medžiagos dalį apie skylės kraštą pakanka, kad suklys apsisuktų vieną–du kartus. Vieną sūkį suklys padaro per $1/10 = 0,1$ s, du sūkius – per 0,2 s. Pakeitus pauzės trukmę nuo 5 s iki 0,2 s, vienetinis laikas sumažės nuo 2,5 min iki 2,42 min. Per pamainą galima bus pagaminti jau $(8 \text{ h} \times 60 \text{ min}) / 2,42 \text{ min} = 198$ detales. Tai paskaičiuota atvejui, kai programoje yra tik viena pauzė, o jų gali būti ir daugiau (taip pat ir vidiniuose staklių cikluose). Taigi pauzių trukmės optimizavimas leidžia gerokai padidinti darbo našumą.

Pauzės trukmė, kuri atitinka reikiamą sūkių skaičių, bendruoju atveju gali būti nustatyta iš formulės:

$$T_{pz} = \frac{60n}{n_s}, \quad (5.1)$$

čia: T_{pz} – pauzės trukmė, atitinkanti reikalaujamą suklio sūkių skaičių, s; n – suklio sūkių skaičius, kuriam daroma pauzė, sūk.; n_s – suklio sūkliai, sūk./min.

Optimizuojant pauzių trukmes patogiau programuoti ne laiko vienetais, bet suklio sūkliais. Tačiau šis režimas galimas ne visoms staklėms ir paprastai nevaldomas programos kodais, o pasirenkamas specialiaame valdymo sistemos nustatymų puslapyje. Minėti du režimai negali būti perjungiami vykdant vieną programą, galima pasirinkti tik vieną režimą, o paskui paleisti programą.

Programos su kodu G04 pavyzdys

Frezavimo staklių „iššildymo“ programa

S300 M03 (suklys paleidžiamas suktais pagal laikrodžio rodyklę 300 sūk./min greičiu);

G04 X240.0 (keturių minučių pauzė);

S750 (sūkliai didinami iki 750 sūk./min);

G04 X240.0 (keturių minučių pauzė);

S1500 (sūkliai didinami iki 1500 sūk./min);

G04 X240.0 (keturių minučių pauzė);

S3000 (sūkliai didinami iki 3000 sūk./min);

G04 X240.0 (keturių minučių pauzė);

S5000 (sūkliai didinami iki 5000 sūk./min);

G04 X240.0 (keturių minučių pauzė);

S7500 (sūkliai didinami iki 7500 sūk./min);

G04 X240.0 (keturių minučių pauzė);

M30 (programos pabaiga ir grįžtama į pradžią);

Kontroliniai klausimai

1. Kokiems atvejams CNC staklėse reikalinga pauzė, arba uždelsimas?
2. Koks yra pauzės eilutės formatas staklių programose? Kokie adresai naudojami pauzės trukmei nurodyti firmų „Fanuc“ ir „HAAS“ sistemose? Kaip nurodoma pauzės trukmė minėtose sistemose?
3. Nustatykite laiką, kuris reikalingas tam, kad įrankis (frezuojant) arba detalė (tekinant) atliktų 3 sūklus. Suklys sukasi 2000 sūk./min greičiu. Užrašykite programos eilutę pauzei padaryti „Fanuc“ ir „HAAS“ valdymo sistemoms.

DARBO PLOKŠTUMOS IR JŲ PASIRINKIMAS

Žinoma, kad įrankio judesys gali būti užprogramuotas išilgai vienos ašies, išilgai dviejų ašių, išilgai trijų ašių. Atskirais atvejais judesį galima užprogramuoti ir apie daugiau ašių. Frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose įrankių poslinkiai programuojami mažiausiai trijų ašių (X , Y ir Z) kryptimis (tačiau toli gražu ne visada pagal visas tris vienu metu). Paprasčiausiu atveju tekinimo staklėse įrankio poslinkiai programuojami dviejų ašių X ir Z kryptimis. Šios ašys sudaro vieną ir vienintelę darbo plokštumą ZX , kurioje atliekami judesiai. Taigi darbo plokštumų pasirinkimas tekinimo staklėse dažniausiai nereikalingas (jeigu jose nėra valdomos Y ašies arba atskirais atvejais pasirenkama XY plokštuma ir tekinimo centruose, kuriuose valdomos X , Z ir C ašys, o Y ašis ne, užprogramuotas judesys Y ašies kryptimi tokiu atveju keičiamas poslinkiais pagal X ir C (sukimosi ašis) ašis). Tačiau paprasčiausių trijų ašių frezavimo staklių valdymo sistemai dažnai reikia nurodyti, kokioje plokštumoje (XY , XZ ar YZ) bus vykdomas poslinkis. Aišku, kad toks poslinkis bus dvimatis. Plokštuma turi būti nurodoma ne visada, o tik tam tikrais atvejais. Greitajam įrankio pozicionavimui kodu $G00$ ir tiesinės interpoliacijos judesiui kodu $G01$ galima naudoti tiek ašių, kiek įmanoma valdyti. Jokių apribojimų ir specialių nurodymų programoje daryti nereikia, tik turi būti užtikrintas saugus judesys staklių darbo erdvėje. Iš toliau pateiktų valdymo programų fragmentų matoma, kad naudojant šių judesių kodus pakanka nurodyti tik atvykimo taškų koordinates, norint gauti judesį bet kurioje plokštumoje ir erdvėje. Jokių papildomų kodų naudoti nereikia.

$G00 X150.0 Y-300.5$ (greitojo pozicionavimo judesys XY plokštumoje (judesys pagal dvi ašis) į tašką $X150 Y-300,5$);

$G00 X20.7 Z22.3$ (greitojo pozicionavimo judesys XZ plokštumoje (judesys pagal dvi ašis) į tašką $X20,7 Z22,3$);

$G00 Y120.5 Z-15.0$ (greitojo pozicionavimo judesys YZ plokštumoje (judesys pagal dvi ašis) į tašką $Y120,5 Z-15$);

$G00 X55.2 Y45.0 Z5.0$ (greitojo pozicionavimo judesys erdvėje (judesys pagal tris ašis) į tašką $X55,2 Y45 Z5$);

$G01 X18.0 Y35.2 F250.0$ (tiesinės interpoliacijos judesys XY plokštumoje (judesys pagal dvi ašis) į tašką $X18 Y35,2$ su 250 mm/min pastūma);

G01 X-2.7 Z2.3 F122.6 (tiesinės interpoliacijos judesys XZ plokštumoje (judesys pagal dvi ašis) į tašką X-2,7 Z2,3 su 122,6 mm/min pastūma);

G01 Y-10.5 Z-12.0 F78.0 (tiesinės interpoliacijos judesys YZ plokštumoje (judesys pagal dvi ašis) į tašką Y-10,5 Z-12 su 78 mm/min pastūma);

G01 X5.2 Y5.0 Z-15.0 F100.5 (tiesinės interpoliacijos judesys erdvėje (judesys pagal tris ašis) į tašką X5,2 Y5 Z-15 su 100,5 mm/min pastūma);

Pasitaiko atvejų, kai judesiams atlikti reikia pasirinkti ir nurodyti programoje darbo plokštumą, kurioje įvyks judesys. Štai šie atvejai:

1. Apskritiminis judesys arba judesys pagal apskritimo lanką valdomas kodais G02 ir G03.
2. Įrankio spindulio kompensacijos pritaikymas kodais G41 arba G42.
3. Kai kuriais atvejais naudojant vidinius ciklus G81–G89 arba G73, G74 ir G76.

Įrankio kompensacijos ir vidiniai ciklai bus nagrinėjami vėliau, kol kas išnagrinėsime bendrus plokštumų pasirinkimo principus.

Anksčiau išvardytais atvejais judesys gali būti vykdomas tik vienoje iš trijų plokštumų: XY, ZX ir YZ. Pavyzdžiui, apskritiminės interpoliacijos judesys gali būti atliktas tik plokštumoje, bet ne erdvėje. Čia svarbu, kaip ašys išdėstytos. Pavyzdžiui, XY ir YX plokštumos iš esmės yra tos pačios, tačiau norint vienareikšmiškai nustatyti judesio kryptį (pagal arba prieš laikrodžio rodyklę) turi galioti tam tikras susitarimas dėl ašių padėties.

Toks apibrėžimas yra pagrįstas matematiškai, pagal kurį pirma plokštumos raidė nurodo horizontaliąją ašį, antra raidė – vertikaliąją ašį, kai žiūrima į tą plokštumą. Šią taisyklę galima atsiminti labai paprastai, reikia užrašyti du kartus ašių X, Y ir Z raides abėcėlės tvarka, paskui išskaidyti į tris raidžių poras iš eilės, kaip parodyta toliau:

$$XYZXYZ \Rightarrow XY ZX YZ$$

Kiekvienoje iš gautų plokštumų pirmoji raidė nurodo horizontaliosios ašies pavadinimą, antroji – vertikaliuosios ašies pavadinimą (išskyrus XZ plokštumą, kur yra atvirkščiai). Tarp šių „matematiškai“ apibrėžtų plokštumų ir staklių koordinačių plokštumų yra skirtumas, kuris aiškinamas toliau.

Vertikaliosiose frezavimo staklėse arba vertikaliajame apdirbimo centre galime išskirti tris standartines plokštumas, priklausomai nuo to, iš kokios pusės žiūrima: XY plokštuma (vaizdas iš viršaus į stalą iš operatoriaus padėties (2.5, pav., a)), XZ plokštuma (vaizdas iš priekio iš operatoriaus padėties) ir YZ plokštuma (vaizdas iš dešiniojo staklių šono). Šios plokštumos parodytos 6.1 pav., taip pat parodytos (viršuje) matematinės plokštumos.

Matome, kad XY ir YZ plokštumos yra identiškos – ir matematinė, ir staklių. Skiriasi tik plokštumų XZ ašių išsidėstymas, XZ staklėse matoma iš priekio, o ne iš kairės, kaip apibrėžta matematinė XZ plokštuma. Jeigu norėtume, kad matematinė ir staklių plokštumos sutaptų, turėtume žiūrėti į staklių XZ plokštumą ne iš staklių operatoriaus padėties, o iš priešingos pusės, t. y. apėjus stakles iš kitos pusės. Tai matoma 6.2 pav., kuriame matematinės plokštumos ZX ašys nuosekliai transformuojamos iki sutapimo su staklių plokštumos XZ ašimis.

Viršutinė – XY	Kairioji – ZX	Dešinioji – YZ
Matematinės plokštumos		
Viršutinė – XY	Priekinė – XZ	Dešinioji – YZ
Vertikaliojo apdirbimo centro plokštumos		

6.1 pav. Standartinių matematinė ir vertikaliojo apdirbimo centro koordinatinių plokštumų palyginimas (Smid 2003)

	1	Matematinė plokštuma ZX
	2	Pasukta matematinė plokštuma ZX taip, kaip matome ją iš staklių galo
	3	Pasukta apie Z ašį matematinė plokštuma yra staklių plokštuma XZ

6.2 pav. Matematinės ZX plokštumos transformavimas į vertikaliojo apdirbimo centro plokštumą XZ (Smid 2003)

Programuojant apskritiminės interpoliacijos judesius staklių plokštumose XY ir YZ, judesiu pagal laikrodžio rodyklę laikomas judesys nuo vertikaliosios ašies (G02), priešingu atveju jis laikomas judesiu pagal laikrodžio rodyklę (G03). Tai iliustruojama 6.1 pav. Painsiava gali būti tik staklių plokštumoje XZ, nes ašių išsidėstymas (ir jude-

sio kryptis) joje nesutampa su matematiniu apibrėžimu. Čia apskritiminės interpoliacijos judesiu pagal laikrodžio rodyklę laikomas judesys nuo horizontaliosios ašies (G02), o judesiu prieš laikrodžio rodyklę laikomas judesys nuo vertikaliosios ašies prie horizontaliosios. Jeigu pažiūrėsime į matematinę plokštumą ZX, pamatysime, kad joje judesių kryptys atitinka apibrėžimą „pagal laikrodžio rodyklę“ ir „prieš laikrodžio rodyklę“, tačiau mes programuojame judesius ne matematinėje, bet staklių plokštumoje, o patys judesiai yra „pririšti“ prie matematinių plokštumų.

Judesių kryptis geriau iliustruoja 6.3 pav.

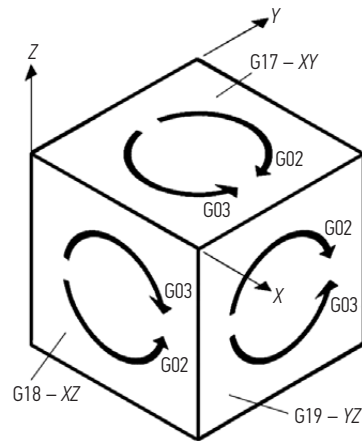
„Fanuc“ ir panašiose valdymo sistemose (taip pat ir firmos „HAAS“) trys kodai G17, G18 ir G19 naudojami trims darbo plokštumoms (6.3 pav.) pasirinkti – XY (kodu G17), XZ (kodu G18) ir YZ (kodu G19). Tai reiškia, kad prieš programos fragmentą, kuriame užprogramuoti minėti judesiai (G02, G03, kompensacijos ir kiti), turi būti pasirinkta plokštuma, kurioje bus atliktas apskritiminės interpoliacijos judesys arba pritaikyta kompensacija. Jeigu joks kodas iš G17, G18 arba G19 nenurodytas, staklių valdymo sistema vis tiek priima plokštumą pagal nustatytuosius parametrus. Frezavimo staklėse plokštuma pagal nustatytuosius parametrus yra XY, t. y. nors ir nenurodytas, aktyvuojamas kodas G17, tekinimo staklėse – ZX, t. y. kodas G18. Kaip matoma iš 4.3 poskyrio pavyzdžių, šiose plokštumose dažniausiai programuojami judesiai frezuojant ir tekinant. Todėl labai dažnai frezavimo staklių programose visai nenurodomas kodas G17, o tekinimo – G18. Operatorius pasikliauja staklių nustatymais.

Darbo plokštumos programoje gali būti keičiamos daug kartų, tačiau vienu metu aktyvi gali būti tik viena. Kitaip tariant, plokštumos pasirinkimas kodais G17/G18/G19 atšaukia prieš tai pasirinktą plokštumą. Šie kodai yra modaliniai ir atšaukia vienas kitą.

Horizontaliosiose frezavimo staklėse (2.5 pav., b) situacija yra panaši. Šiuo atveju XY ir XZ plokštumų ašių kryptys sutampa su matematiškai apibrėžtomis. YZ plokštumoje ašys nesutampa ir tai turi įtakos apskritiminės interpoliacijos judesių kryptims, nes jos keičiasi į priešingas. Panašiai yra vertikaliųjų frezavimo staklių plokštumoje XZ.

Tekinimo staklėse vienintelė (jeigu staklės yra be valdomos Y ašies) darbo plokštuma ZX sutampa su matematine plokštuma ZX, todėl judesiai joje bus atliekami taip, kaip parodyta 4.19 pav.

Nustatysime, kam programinio valdymo įrenginiui reikia „žinoti“, kokioje plokštumoje vyks apskritiminės interpoliacijos judesys. Toliau pateikti programų eilučių su kodais G17/G18/G19 pavyzdžiai frezavimo staklėms. Juose programuojami apskritiminės interpoliacijos judesiai kodais G02 ir G03.



6.3 pav. Apskritiminių judesių kryptys vertikaliajame apdirbimo centre (Smid 2003)

G17 G02 X150.2 Y75.5 R25.0 (arba adresai I ir J vietoje R);
 G18 G03 X28.4 Z-11.2 R12.4 (arba adresai I ir K vietoje R);
 G19 G02 Y17.2 Z-110.5 R45.0 (arba adresai J ir K vietoje R);

Derėtų priminti, kad apskritiminės interpoliacijos kodų G02/G03 eilutėje visų judesio galinio taško koordinatinių adresų porų (t. y. X ir Y, X ir Z, Y ir Z) nebūtina nurodinti. Jeigu viena iš koordinatinių nesikeičia nuo užprogramuotos anksčiau, ji eilutėje gali būti nenurodoma, o valdymo sistema pagal aktyvų atitinkamos darbo plokštumos kodą pati nustatys kitą koordinatę. Pavyzdžiui, tokios programos eilutės:

G01 X100.0 Y50.0 F125.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką X100 Y50 su 125 mm/min pastūma);
 Z5.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką Z5 su 125 mm/min pastūma);
 G18 G03 X124.8 R12.4 (apskritiminės interpoliacijos judesys plokštumoje XZ su 125 mm/min pastūma į tašką X124,8 Z5);

Vykdamas paskutinę eilutę valdymo sistema pagal aktyvų kodą G18 (plokštuma XZ) nustatys, kad trūksta galinio taško Z koordinatės (o ne Y) ir paims ją kaip paskutinę prieš tai užprogramuotą Z koordinatę, t. y. Z5. Akivaizdu, kad šiuo atveju įrankio trajektorija bus pusė apskritimo.

Gana įdomi situacija yra, kai nurodytos dvi galinio taško koordinatės, tačiau viena iš jų nepriklauso aktyviajai plokštumai. Pavyzdžiui,

G17 G02 X15.2 Z10.0 R25.0;

Šiuo atveju aktyvi yra plokštuma XY (G17), tačiau vietoje judesio pabaigos taško Y koordinatės nurodyta kitai plokštumai priklausanti koordinatė (Z). Valdymo sistema šiuo atveju turi du pasirinkimus:

1. Nepaisyti koordinatės Z ir judesį XY plokštumoje atlikti laikant, kad judesio pabaigos taško Y koordinatė lygi paskutinei užprogramuotai.
2. Nepaisyti kodo G17 (XY) ir atlikti judesį XZ plokštumoje.

Priklausomai nuo valdymo sistemos gali būti pasirinkti abu variantai. Pavyzdžiui, „Fanuc“ valdymo sistema pagal joje gamintojo nustatytą duomenų prioriteto taisyklę pasirinks antrąjį atvejį. Pagal šią taisyklę koordinatės turi pirmenybę prieš plokštumos pasirinkimo komandą. Todėl judesys bus atliktas plokštumoje XZ (G18), o G17 kodas (XY plokštuma) bus ignoruojamas. „HAAS“ valdymo sistema atliks apskritiminės interpoliacijos judesį XY plokštumoje, t. y. bus pasirinktas 1-asis variantas. Z koordinatė taip pat bus naudojama judesiui atlikti, tačiau pagal šią ašį įrankis judės pagal tiesę. Šiuo atveju įrankio trajektorija bus spiralė, tokia, kaip parodyta 6.4 pav.

Spiralinį judesį gausime, kai kartu su plokštuma ir apskritiminės interpoliacijos judesio kodais G02/G03 nurodytos visos trys judesio pabaigos taško koordinatės: X, Y ir Z, pvz.:

G00 X50.0 Y0.0 Z0.1 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką X50 Y0 Z0,1);

G17 G03 X50.0 Y0.0 I-50.0 Z-5.0 F150.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys prieš laikrodžio rodyklę plokštumoje XY (G17) su 150 mm/min pastūma);

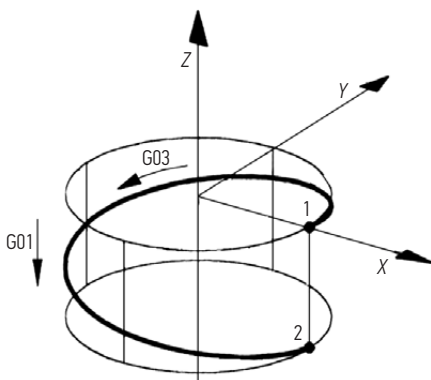
Firmos „HAAS“ valdymo sistemoje, kurioje prioritetą turi plokštumos kodas G17/G18/G19, o ne koordinatės, galima nenurodyti galinio taško koordinatinių, jei jos sutampa su pradinio judesio taško koordinatėmis, t. y. antroji eilutė gali būti užrašyta ir taip:

G17 G03 I-50.0 Z-5.0 F150.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys prieš laikrodžio rodyklę plokštumoje XY (G17) su 150 mm/min pastūma);

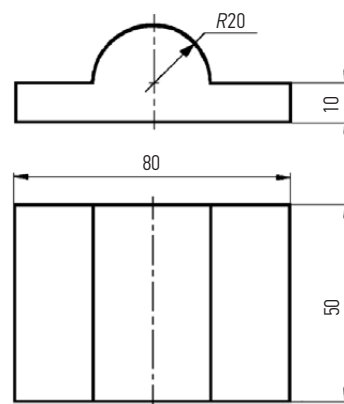
Tokiu atveju, jeigu staklėse galima valdyti vienu metu 3 ašis (visose šiuolaikinėse frezavimo staklėse tai daryti galima), įvyks vadinamasis spiralinis judesys, kurio trajektorija parodyta 6.4 pav. Apskritiminės interpoliacijos judesys vyks kodais G17/G18/G19 aktyvuotoje plokštumoje (mūsų atveju tai XY), o likusios ašies kryptimi (mūsų atveju Z) tuo pačiu metu bus atliktas tiesinės interpoliacijos judesys. Tokiu būdu suminė judesio trajektorija yra spiralė, kurios pradinio taško koordinatės yra užprogramuotos paskutinėje prieš judesį eilutėje (mūsų atveju X50 Y0 Z0,1), o pabaigos – X50 Y0 Z-5. Toks judesys naudojamas frezuojant išorinį ir vidinį sriegį sriegimo frezomis (žr. I dalį, 5.1.9 skirsnį), taip pat yra labai naudingas įsipjovimo judesiams programuoti norint pasiekti reikiamą gylį, kai necentrinio (taip pat ir centrinio) pjovimo pirštinėmis frezomis frezuojamos uždarnos kišenės. Tokiu atveju nereikia gręžti skylių frezai įgilinti į metalą, tolygiai apkraunamas įrankis.

Programos pavyzdys

Reikia parengti valdymo programą 6.5 pav. pavaizduotai detalei apdirbti. Ši detalė apdirbama vertikaliomis frezavimo staklėmis pirštine freza su suapvalintu galu. Norint apdirbti, reikia užprogramuoti tris pagrindinius judesius: tiesinės interpoliacijos judesį virš kairiosios detalės plokštumos (G01), apskritiminės interpoliacijos judesį



6.4 pav. Spiralinis judesys: 1 – judesio pradžios taškas; 2 – judesio pabaigos taškas



6.5 pav. Apdirbama detalė (Smid 2003)

virš spinduliu $R20$ suapvalinto paviršiaus (G02) ir tiesinės interpoliacijos judesį virš dešinėsios plokštumos (G01). Toliau judesiai kartojami iš dešinės į kairę, kaip parodyta 6.6 pav., šiek tiek pajudant frezai Y ašies kryptimi.

Programa atrodys taip:

O12563

N1 (programa kupros frezavimui XZ plokštumoje);

N2 T01 M06 (pasirenkamas įrankis Nr. 1 dėtuveje – 4 mm skersmens pirštinė rutulinė freza);

N3 S700 M03 (paleidžiamas suktais suklys pagal laikrodžio rodyklę, sukiai – 700 suk./min);

N4 G18 (pasirenkama darbo plokštuma XZ);

N5 G90 G54 (absoliučiosios koordinatės, pasirenkama detalės koordinatinių sistema);

N6 G00 X-5.0 Y0.0 (įrankis pagreitinai pozicionuojamas už detalės ribų plokštumoje XY, kodas G18 greitajam judesiui neturi jokios reikšmės);

N7 G43 Z15.0 H01 (įrankis pagreitinai pozicionuojamas virš detalės kairiosios plokštumos 15 mm aukščiau detalės Z0 (apatinė plokštuma), taikoma ilgio kompensacija iš 1-os įrankių kompensacijų eilutės (H01));

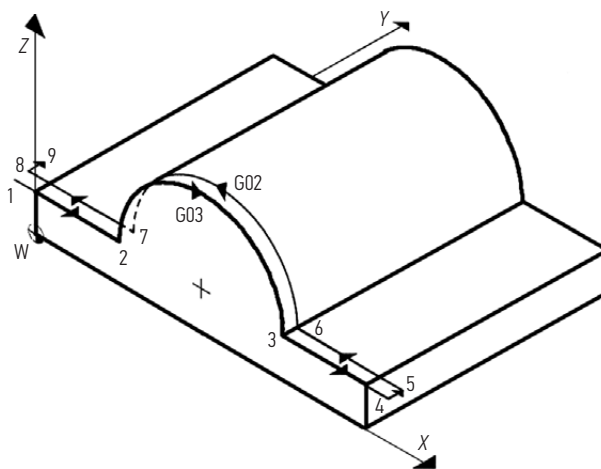
N8 G01 Z10.0 F100.0 M08 (įrankis pastūmos greičiu nuleidžiamas iki aukščio Z10 mm (taškas 1, 6.6 pav.); prieš įrankiui pajudant įjungiamas TAS siurblys);

N9 X18.0 (frezuojama kairioji detalės plokštuma, tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 2, įvertinant frezos spindulį – 2 mm);

N10 G03 X62.0 I22.0 (frezuojamas spinduliu $R20$ suapvalintas paviršius apskritiminės interpoliacijos judesiu į tašką 3, eilutė užrašyta sutrumpintai, visa atrodytų taip: G03 X62.0 Z10.0 I22.0 K0.0);

N11 G01 X85.0 (frezuojama dešinioji plokštuma, tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 4);

N12 G91 Y1.2 (pastūmos judesys teigiamąja Y ašies (1,2 mm ilgio tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 5) kryptimi, prieaugiais (G91));



6.6 pav. Frezos judesių detalės koordinatinių sistemoje trajektorijos (Smid 2003)

N13 G90 X62.0 (frezuojama dešinioji plokštuma (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 6), įvertinant frezos spindulį 2 mm, čia ir toliau koordinatės absoliučiosios (G90));

N14 G02 X18.0 I-22.0 (frezuojamas spinduliu R20 suapvalintas paviršius (apskritiminės interpoliacijos judesys į tašką 7), eilutė, užrašyta sutrumpintai, visa atrodytų taip: G02 X18.0 Z10.0 I-22.0 K0.0);

N15 G01 X-5.0 (frezuojama kairioji plokštuma (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 8));

N17 G91 Y1.2 (vėl 1,2 mm ilgio frezos judesys teigiamąja Y ašies kryptimi į tašką 9, koordinatė nurodyta priearčiau);

N18 G90 X18.0 (frezuojama kairioji detalės plokštuma, įvertinant frezos spindulį 2 mm, absoliučiosios koordinatės);

(Toliau vėl kartojami judesiai nuo N10);

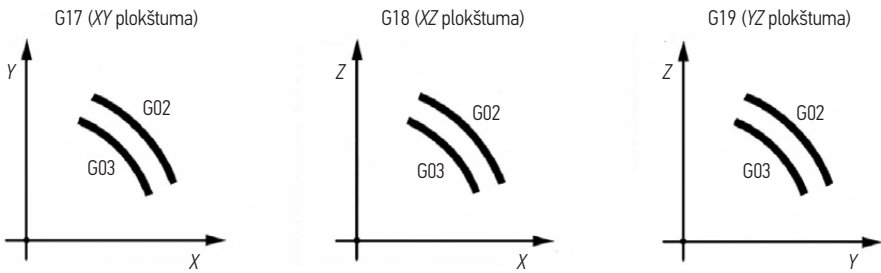
...;

N... M30 (programos pabaiga ir grąžinimas į pradžią);

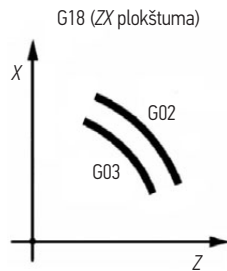
Programoje O12563, nors ji yra ne visa (pateiktas fragmentas ne visam detalės pločiui frezuoti, o tik 2,4 mm pločio pagal Y ašį ruožui), galima pastebėti daug pasikartojančių eilučių, 50 mm pločio detalei apdirbti programa būtų labai ilga. Po kiekvienos eigos detalės paviršiumi atliekamas judesys Y ašies kryptimi, kuriuo perdengiamos frezos eigos X ir Z ašių kryptimis tam, kad po frezos pjovimo briaunomis kiekvieną kartą atsidurtų vis nauji (neapdirbti) paviršiaus ruožai. Po šio judesio atliekami vienodi judesiai $G01 X18.0 \rightarrow G03 X62.0 \rightarrow G01 X85.0$, kai freza juda iš kairės į dešinę (6.6 pav.) ir judesiai $G01 X62.0 \rightarrow G02 X18.0 \rightarrow G01 X-5.0$, kai freza juda iš dešinės į kairę. Eilučių skaičius galėtų būti labai sumažintas, jei pasikartojantys judesiai būtų užprogramuoti vieną kartą paprogramėje, kuri būtų kviečiama kiekvieną kartą po to, kai freza atliko judesį Y ašies kryptimi. Toks programavimo metodas bus apžvelgtas 12 skyriuje.

Kontroliniai klausimai

1. Kokiais atvejais turime pasirinkti darbo plokštumą?
2. Kokie G kodai naudojami pasirenkant darbo plokštumas? Kokioje plokštumoje apskritiminės interpoliacijos judesiai atliekami dažniausiai dirbant frezavimo staklėmis? Tekinimo staklėmis?
3. Kokioje plokštumoje bus atliktas apskritiminės interpoliacijos judesys frezavimo ir tekimo staklėse, jeigu programoje nenurodytas joks plokštumos pasirinkimo kodas? Kodėl?
4. Kokia kryptimi bus atlikti apskritiminės interpoliacijos judesiai G02/G03 vertikalųjų frezavimo staklių plokštumose XY, XZ ir YZ? Parodykite toliau pateiktoje schemoje rodyklėmis. Kokia išimtis yra programuojant judesį plokštumoje XZ? Kodėl yra būtent taip?



5. Kokia kryptimi bus atlikti apskritiminės interpoliacijos judesiai G02/G03 tekimo staklių plokštumoje ZX? Parodykite toliau pateiktoje scheme rodyklėmis.



6. Kas yra spiralinis judesys? Kokiems tikslams jis naudojamas, kaip programuojamas?

METRINĖS IR COLINĖS SISTEMŲ VIENETAI

Valdymo programose po koordinacių adresų (X, Y, Z, I, J ir R) nurodomos koordinacių reikšmės, kurių vienetai gali būti *colinės* (*English*) arba *metrinės* (*Metric*) matų sistemos. Matavimo vienetai pasirenkami rengiant programas. Metrinėje sistemoje koordinacių (turima omenyje linijinių ašių koordinacių, kampinių – vienetai abiejose sistemose yra laipsniai) vienetai yra milimetrai. Todėl staklių valdymo sistemos, jei programoje pasirinkti metriniai vienetai, po koordinacių adresų nurodyti skaičiai bus suprantami kaip milimetrai (pvz., X5.236 – atvykimo taško X koordinatė yra 5,236 mm). Jeigu programoje pasirinkti coliniai vienetai – tie patys skaičiai valdymo sistemos bus suprantami kaip coliai (pvz., X5.2360 – atvykimo taško X koordinatė yra 5,2360 colių, t. y. 132,994 mm (1 colis = 25,4 mm)). Priklausomai nuo pasirinktų vienetų galima programuoti skirtingą ženklų skaičių prieš ir po kablelio (metrinėje sistemoje paprastai mažiausias prieaugis sudaro 0,001 mm arba 1 μ m, colinėje – 0,0001 colio arba apytiksliai 0,003 mm). Valdymo sistema skirtingai interpretuos ir pastumą, kuri nurodyta adresu F. Metrinėje sistemoje pastūma nurodoma mm/min arba mm/sūk., o colinėje vienetų sistemoje sudarytose programose pastūma išreiškiama coliais/min arba coliais/sūk. Pjovimo greitis, kai palaikoma pastovaus pjovimo greičio funkcija tekimo staklėse, nurodomas pėdomis/min, skirtingai nuo metrinės – m/min. Paprastosios trupmenos ($\frac{1}{4}$, $\frac{1}{2}$ ir pan.) CNC valdymo programose neleidžiamos.

Colinė vienetų sistema naudojama JAV, kai kur Kanadoje ir Jungtinėje Karalystėje. Lietuvoje, kaip ir kitose Europos valstybėse, taip pat Japonijoje naudojama metrinė sistema. Šios sistemos vienetus mes ir naudojome visose be išimties ankstesnių skyrių programose ir jų fragmentuose. Sunkai tikėtina, kad kuriam nors iš skaitytojų kada nors kils noras programoje koordinates nurodyti coliais, o pastumą – coliais/min arba coliais/sūk. Tačiau nereikia pamiršti, kad detalių apdirbimo programas reikia sudaryti pagal užsakovų brėžinius ir reikalavimus, o kartais jie gali būti pateikti ir pagal colinę sistemą. Be to, galimi atvejai, kai užsakovo brėžinys gali būti jau su sudaryta (pvz., naudojant CAM sistemą) programa. Tokiais atvejais paprasčiau naudoti gautąją programą, negu perdaryti ją į metrinės sistemos vienetus. Pagaliau programuotojas turi žinoti, kas yra vienetų kodai G20/G21, kad dėl nežinojimo nepanaudotų programoje nereikalingų kodų.

Staklėse su „Fanuc“ firmos valdymo sistemomis, taip pat ir kitomis (pavyzdžiui, „HAAS“ firmos) koordinatės programuoti galima ir coliniais, ir metriniais vienetais. Gamintojai paprastai negamina staklių specialiai Amerikos arba Europos rinkai. Staklės yra universalios ir jomis galima dirbti pagal abi sistemas. Pasirinkti galima dvejopai. Pirmiausia vienetai gali būti pasirinkti kaip staklių valdymo sistemos nustatymai (specialiame valdymo įrenginio vaizduoklio puslapyje) nupirkus stakles (dažniausiai vienetai jau yra nustatyti staklių gamykloje, priklausomai nuo to, į kokią šalį eksportuojamos staklės). Taip valdymo sistema bus nustatoma pagal nustatytuosius parametrus, kai programoje nenurodytas joks vienetų kodas. Programoje vienetai taip pat gali būti perjungiami kodais G20/G21. Kodu G20 pasirenkami colinės sistemos vienetai, kodu G21 – metriniai. Kodai yra modaliniai, t. y. programoje nurodytas kodas lieka aktyvus nuo tos vietos, kur yra užrašytas, iki tos programos vietos, kur nurodytas kitas kodas, arba kol nepasibaigs programa. Paleidus kitą programą pagal nustatytuosius parametrus priimama staklių sistema, kol bus sutiktas kitas kodas.

Valdymo sistemos nustatymai išlieka ir išjungus stakles iš tinklo, kol bus pakeisti kitais. Todėl, jeigu žinoma, kad staklės nenaudojamos kitų asmenų (arba žinoma, kad niekas neperjungia nustatymų), o detalės įmonėje visą laiką gaminamos tais pačiais vienetais, programose galima visai nenurodinėti kodų G20/G21. Dažniausiai taip ir daroma, tačiau dėl darbų saugos naudinga programos pradžioje nurodyti atitinkamą kodą G20 arba G21. Jeigu jis sutampa su valdymo sistemos nustatymais – klaidos nebus, valdymo sistema ignoruos šį kodą, priešingu atveju perjungs, tai gali padėti išvengti rimtų avarijų ir staklių gedimų.

Laisvai pereiti iš vienos sistemos į kitą vienoje programoje nėra taip paprasta, kaip atrodo. Taip yra todėl, kad visos valdymo sistemos yra suprojektuotos pagal metrinę sistemą. Taip daroma, nes metrinė sistema yra tikslesnė (pvz., colinėje vienetų sistemoje mažiausias galimas poslinkis pagal staklių ašį X, Y arba Z sudaro 0,0001 colio, t. y. apytiksliai tik 0,003 mm, metrinėje šis poslinkis yra 0,001 mm). Kai sistemos perjungiamos iš vienos į kitą kodais G20/G21, esamos įrankių koordinatės reikšmės programoje neperskaičiuojamos, o tik paprasčiausiai perkeliamas kabelis. Perskaičiuojamos tik kai kurios įrankių kompensacijų lentelių reikšmės, bet ir tai ne visos.

Toliau pateikti pavyzdžiai rodo, kaip dirba valdymo sistema, kai toje pačioje programoje pereinama iš metrinės sistemos į colinę.

...;

G21 (pasirenkama metrinė sistema);

G00 X60.0 (greitojo pozicionavimo judesio X ašies kryptimi galinio taško koordinatė – 60 mm);

G20 (prieš tai užprogramuota X koordinatės reikšmė bus pakeista į 6 colių (iš tikrųjų turėtų pasikeisti tik į $60/25,4 = 2,3622$ colio), toliau programoje nurodyti vienetai bus coliai);

...;

...;

G20 (pasirenkama colinė sistema);

G00 X6.0 (greitojo pozicionavimo judesio X ašies kryptimi galinio taško koordinatė – 6 coliai);

G21 (prieš tai buvusi X koordinatės reikšmė bus pakeista į 60,0 mm (iš tikrųjų turėtų pasikeisti į $6 \times 25,4 = 152,4$ mm), toliau programoje nurodyti vienetai bus milimetrai);

...;

Taip pat reikia turėti omenyje, kad sistemų pakeitimas turi įtakos ne tik X, Y, Z koordinatėms ir adresų I, J, R reikšmėms bei kai kurių įrankių kompensacijų reikšmėms, bet ir pastūmos, pjovimo greičio reikšmėms (kai aktyvi pastovaus pjovimo greičio funkcija tekinimo staklėse), kurios turi visai kitą dimensiją, kaip jau buvo akcentuota skyriaus pradžioje. Pasikeis koordinatėms ir pastūmų reikšmių po kablelio skaičius (pavyzdžiui, staklių valdymo sistemoje galima įvesti koordinatas 0,0001 colio tikslumu, kai aktyvi yra colinė sistema, ir 0,001 mm – kai metrinė; pereinant iš vienos sistemos į kitą pertekliniai skaičiai bus atmesti), pasikeis rankinio ašių perstumimo diskretiškumas ir kai kurie kiti valdymo sistemos nustatymai (pavyzdžiui, įrankio atitraukimo eigų dydžiai ir pan.

Todėl taisyklė šiuo atveju yra akivaizdi:

► **Niekada nereikia perjungti skirtingų sistemų vienoje programoje**

Taigi išvada yra viena. Vienetai gali būti keičiami tik vieną kartą programoje ir keitimo kodas G20 arba G21 gali būti užrašytas atskiroje eilutėje (nors nebūtinai atskiroje, tiesiog taip patogiau programą patikrinti ir peržiūrėti) programos pradžioje prieš bet kokius judesių kodus (G00, G01, G02, G03), prieš pritaikant detalės koordinatėms sistemą (G54 arba kitą) ir kompensacijas (G41, G42, G43).

„HAAS“ valdymo sistemoje kodai G20/G21 visai nereikalingi, nes šioje sistemoje naudojami tik sistemos nustatymai. Vienetams perjungti naudojamas 9-as nustatymas, vadinamas *Dimensioning* (vienetai), ir gali turėti dvi reikšmes: *Inch* (coliai) ir *Metric* (metriniai). Jeigu 9-as nustatymas yra *Inch*, o programoje nurodytas kodas G21 (metriniai vienetai), programa nebus vykdoma nuo tos vietos, kur nurodytas G21 kodas. Pasirodys klaidos pranešimas. Jeigu 9-as nustatymas yra *Metric*, programoje nurodytas kodas G20 (coliniai vienetai) nebus vykdomas, programa bus priverstinai sustabdyta. Taigi „HAAS“ sistemoje nurodant programoje G20/G21 kodus galima tik patikrinti, ar programoje nurodyti vienetai sutampa su sistemos nustatytais. Pavyzdžiui, jeigu sistemos 9-as nustatymas buvo be operatoriaus žinios pakeistas iš *Metric* į *Inch*, o programoje nurodytas metrinių vienetų kodas G21, tokia programa bus priverstinai sustabdyta ir negalės būti paleista tol, kol nebus grąžintas sistemos nustatymas į reikiamą būseną.

Kontroliniai klausimai

1. Kokie yra koordinacių vienetai metrinėje ir colinėje vienetų sistemose? Kokiais vienetais išreiškiama pastūma bei pjovimo greitis vienoje ir kitoje vienetų sistemose? Kokiose pasaulio šalyse naudojama viena ir kita sistemos?
2. Kiek skaičių po kablelio galima naudoti koordinatėms metrinėje ir colinėje vienetų sistemose?
3. Kokiais G kodais pasirenkama vienetų sistema CNC staklių programose? Kur geriausiai nurodyti šiuos kodus programoje?
4. Kaip nenaudojant G kodų programoje galima pakeisti vienetų sistemą staklėse?

GRĮŽIMAS Į STAKLIŲ KOORDINAČIŲ SISTEMOS PRADŽIĄ – NULĮ

CNC staklių valdymo sistemoje yra svarbi galimybė grąžinti darbinės staklių dalis į staklių nulio arba pradinę padėtį. Ši padėtis yra tokia, kada staklių darbinio junginio atraminis taškas pagal kiekvieną iš valdomų koordinačių ašių yra vienoje iš dviejų ribinių padėčių. Nulio padėtį nustato staklių gamintojas. Ši padėtis vartotojo negali būti keičiama. Į šią padėtį grąžinama automatiškai, operatoriui paspaudus mygtuką programinio valdymo įrenginio skydelyje (paprastai tam skiriami net keli mygtukai), arba programos kodais.

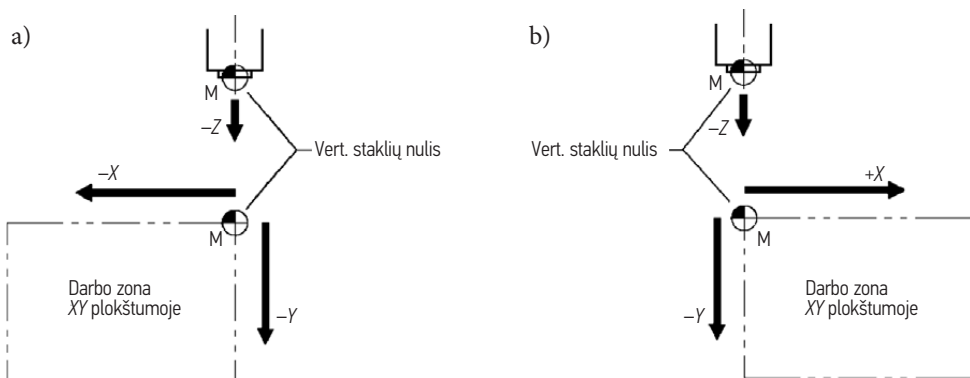
CNC staklėse (ir kitose CNC technologinėse mašinose bei kai kuriuose papildomuose CNC staklių įrenginiuose) nulinė padėtis reikalinga kaip atraminė. Norint pasiekti didesnę apdirbimo tikslumą, nepakanka vien turėti tiksliai pagamintas stakles. Darbinės staklių dalys turi turėti judesių atramos tašką, nuo kurio atskaitomi visi jų poslinkiai staklių koordinačių sistemoje, kurio padėtis yra pastovi, ir bet kurio metu gali būti pakankamai tiksliai pakartotinai atkurta. Toks taškas ir yra staklių nulio arba pradinė padėtis (*Machine Zero Position* arba *Machine Home Position*). Įjungus CNC stakles valdymo pulte negalima paleisti programos arba valdyti įrankio poslinkius pagal koordinačių ašis rankinės pastūmos režimu tol, kol darbinės staklių dalys nebus nukreiptos į nulį. Tik po to, kai staklių junginiai (frezavimo staklių suklio galvutė, stalas, tekinimo staklių revolverinė galvutė) atsidurs šioje pozicijoje, o vaizduoklyje, staklių koordinačių sistemos ekrane, ties kiekviena valdoma koordinate pasirodys nuliai, galima pradėti dirbti su staklėmis.

Tokia padėtis turi būti dėl kelių priežasčių. Visu pirma, CNC staklėse grąžtamojo ryšio sistemoje dažniausiai naudojami santykinės padėties keitikliai. Išjungus iš tinklo stakles ir įjungus jas valdymo sistema gali prarasti įrankio padėtį staklių koordinačių sistemoje, pradės painioti koordinates, o tai gali baigtis avarija. Nulis yra kraštinė darbinės dalies padėtis, mechaninė atrama, į kurią atsirėmus staklių koordinatės „numentamos“ ir tampa lygios nuliui. Toliau sistema gali atskaityti poslinkius (tiksliau skaičiuoti valdomų ašių pastūmų variklių rotorų sukčius, reikalingus šiems poslinkiams atlikti). Be to, operatoriui bus ramiau, kai jis, įjungęs stakles ir nustatęs į nulinę padėtį ašis, savo akimis įsitikins, kad staklių darbinės dalys pasiekė kraštinę poziciją, o staklių koordinačių sistemos ekrane pasirodys nuliai. Tai reiškia, kad staklių programinė įranga dirba teisingai ir staklės paruoštos darbui.

Nulio padėtis skirtingų tipų CNC staklėse (kartais ir tų pačių tipų, bet skirtingų modelių arba gamintojų) yra skirtinga. Skaitytojas jau šiek tiek galėjo susipažinti su įvairių tipų staklių nulio padėtimis 2.2 poskyryje, kuriame nagrinėtos staklių ir detalės koordinatinių sistemos. Priminsime galimus atvejus dar kartą.

Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai

Vertikaliosiose frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose nulio taškas XY plokštumoje dažniausiai išdėstomas viršutiniame dešiniajame plokštumos XY kampe (aki-vaizdu, kad darbo erdvėje), kai žiūrima į tą plokštumą (kitaip, į staklių stalą) iš operatoriaus darbo pozicijos, panašiai kaip parodyta 8.1 pav., a. Virš šio taško turi būti suklio (ir įrankio) ašis, kai įrankis perstumtas į kraštinę poziciją teigiamosiomis ašių X ir Y kryptimis staklių (ir detalės) koordinatinių sistemoje (iš tikrųjų stalas juda neigiamosiomis minėtų ašių kryptimis, bet prisiminsime pagrindinį susitarimą apie tai, kad reikia laikyti, jog juda įrankis). Kai kuriose vertikaliosiose frezavimo staklėse ir centruose nulio padėtis yra viršutiniame kairiajame kampe, kaip parodyta 8.1 pav., b. Čia įrankį reikia stumdyti neigiamąja X ašies kryptimi ir teigiamąja Y ašies kryptimi staklių koordinatinių sistemoje (stalas juda priešingomis kryptimis). Yra staklių modelių, kur nulis XY plokštumoje yra ir kituose taškuose iš 4 galimų, t. y. apatiniame dešiniajame arba apatiniame kairiajame taškuose, tačiau tai pasitaiko retai. Z ašies pozicija yra vienoda visose vertikaliosiose frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose. Z ašies nulis visada yra ten, kur keičiamas įrankis, t. y. labiausiai nutolusiame nuo stalo plokštumos taške pagal Z ašį. Tai ir parodyta 8.1 pav. Apibendrinant galima teigti, kad daugumoje vertikalinių frezavimo staklių nulio padėtis yra didžiausio teigiamo įrankio poslinkio bet kurios iš X , Y ir Z ašies kryptimi taške staklių koordinatinių sistemoje. Toliau įrankis slenkasi tik neigiamosiomis ašių X , Y ir Z kryptimis staklių koordinatinių sistemoje.

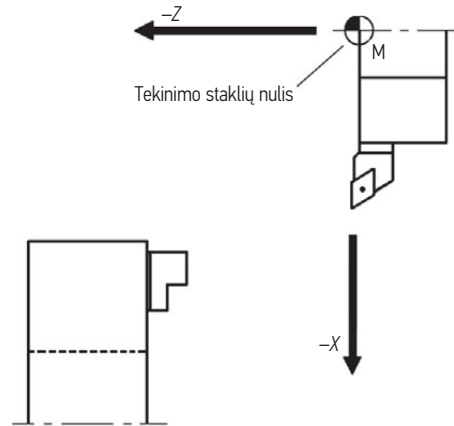


8.1 pav. Vertikalinių frezavimo staklių nulio padėtys: a – viršutinis dešinysis darbo plokštumos XY kampas; b – viršutinis kairysis darbo plokštumos XY kampas (Smid 2003)

Panašiai yra ir horizontaliosiose frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose (2.5 pav., b, taip pat žr. I dalį). Čia staklės bus „įnulinintos“ tada, kai įrankis, judėdamas dažniausiai teigiamosiomis ašių X , Y ir Z kryptimis, pasieks šių ašių kraštines padėtis. Pasukamas stalas (B ašis) taip pat pasisuks į pradinę poziciją.

Tekinimo staklės

Tekinimo staklėse viskas yra panašiai, kaip ir frezavimo, tik jose dažniausiai yra mažiau valdomų ašių (mažiausiai X ir Z), kaip parodyta 8.2 pav. Matome, kad tekinimo staklių nulinio padėties bus tada, kai revolverinė galvutė bus kiek galima toliau



8.2 pav. Tekinimo staklių nulinio padėtis (Smid 2003)

nuo griebtuvo pagal abi valdomas X ir Z ašis. Šioje pozicijoje revolverinę galvutę bus saugiausia pasukti keičiant įrankį (tačiau ne visada siūsti ten galvutę įrankiui pakeisti yra efektyvu pagalbinio laiko požiūriu), o operatoriui bus patogiau keisti detales griebtuve. Toliausiai nuo suklio ašies poslinkis teigiamąja X ašies kryptimi staklių (ir detalės) koordinatinių sistemoje nusako tekinimo staklių nulinio X koordinatę, o didžiausias poslinkis nuo suklio galo teigiamąja Z ašies kryptimi staklių koordinatinių sistemoje riboja tekinimo staklių nulinio Z koordinatę. Tolesnis įrankio poslinkis galimas tik neigiamosiomis ašių X ir Z kryptimis staklių koordinatinių sistemoje.

Grąžinimo į nulį metodai ir kodai, susiję su staklių nuliu

Jau minėta, kad staklių darbinės dalys gali būti grąžinamos į nulinio padėtį mygtukais operatoriaus valdymo pulte derinant stakles ir programos kodais. Derinimo metu „Fanuc“ valdymo sistemos operatoriaus pulte naudojamas jungiklis *Select Mode*, kuriame pasirenkamas režimas *Home*. „HAAS“ valdymo įrenginyje (I dalis, 4.86, 4.87 pav.) grąžinti staklių junginius pagal ašis į nulinio padėtį prieš tai pasirinkus grąžimo režimą mygtuku *Zero Ret*, galima spaudžiant mygtukus *HOME G28* (pagreitintai grąžtama pagal visas ašis arba tik pagal vieną, pasirinktą atitinkamu klaviatūros mygtuku), *All* (grąžtama pagal visas ašis), *Singl* (pagal vieną, prieš tai pasirinktą atitinkamu mygtuku ašį). Be to, prieš pradėdant darbą, vos įjungus, darbinės dalis pagal visas ašis rekomenduojama grąžinti į nulį *Power Up/Restart* mygtuku. Jį paspaudus, be ašių pasisuks į nulinę padėtį staklių įrankio dėtuve (frezavimo) arba revolverinė galvutė (tekinimo).

„Fanuc“ valdymo sistemų programose dažniausiai naudojami keturi G kodai, susiję su staklių nulinio tašku. Šie kodai yra:

G27 – nulinio padėties patikra (senesnių modelių staklių kodas).

G28 – ašių grąžinimas į nulinio padėtį per tašką.

G29 – įrankio grąžinimas iš staklių nulio padėties.

G30 – ašių grąžinimas į kitą nulio padėtį (jeigu yra daugiau negu vienas nulis).

Šiuolaikinės „HAAS“ firmos valdymo sistemos apsiriboja kodais G28, G29, kurių atliekamos funkcijos yra visiškai tokios pačios, kaip ir „Fanuc“ firmos valdymo sistemos.

Iš šių keturių kodų, apdirbant dviejų arba trijų valdomų ašių staklėmis, dažniausiai naudojamas kodas G28. Jis leidžia darbinės staklių dalis pagal reikiamas ašis grąžinti į nulį per tam tikrą koordinatinės erdvės tašką (į kurį bus nukreiptas įrankis), kurio koordinatės nurodomos programos eilutėje su kodu G28. Nuo jo ir pradėsime kodų apžvalgą. Kodas G30 naudojamas staklėms, kuriose yra dar viena nulio padėtis. Tai dažniausiai būdinga frezavimo staklėms su palečių keitikliu, kuriose yra papildomas nulis, naudojamas dešininei ir kairinei paletėms išlyginti prieš keičiant.

Kodas G28 (kaip ir kiti trys kodai) yra nedomalinis. Jie aktyvūs tik toje programos eilutėje, kurioje užrašyti. Pavyzdžiui, jeigu norime grąžinti į nulį ne visas ašis iš karto, o po vieną, kodą būtina kartoti kiekvienoje eilutėje. Toliau pateiktas pavyzdys yra neteisingas:

...;

N110 G28 Z... (suklio galvutė grįžta į nulį pagal Z ašį per tašką, kurio koordinatė Z...);

N120 X... Y... (stalas nebus grąžinamas į nulį pagal X ir Y ašis vykdant šią eilutę, o bus atliktas judesys pagal X ir Y ašis priklausomai nuo to, koks paskutinis judesio kodas – G00 ar G01 buvo užprogramuotas);

...;

Teisingas toks užrašymas:

...;

N110 G28 Z... (suklio galvutė grįžta į nulį pagal Z ašį per tašką, kurio koordinatė Z...);

N120 G28 X... Y... (stalas grįžta į nulį pagal X ir Y ašis per tašką, kurio koordinatės X... Y...);

...;

Kodas G28 grąžina staklių junginius tik pagal nurodytas po kodo ašis arba pagal visas (jeigu po G28 nenurodyti ašių adresai, tačiau taip yra ne visose staklėse) ašis į nulį visada *pagreitintai*. Greitojo pozicionavimo režimas G00 įjungiamas automatiškai, jo atskirai programuoti nereikia. „Fanuc“ valdymo sistemose visada būtina nurodyti ašis, kurios turi būti grąžinamos į nulį. Pavyzdžiui, eilutėje:

G28 Y...;

į nulį siunčiama tik pagal Y ašį, per tašką, kurio koordinatė Y... Eilutėje:

G28 X... Z...;

į nulį bus grąžinama pagal dvi Z ir X ašis. Kitame pavyzdyje parodyta, kaip turi būti užrašyta norint grąžinti visas tris valdomas frezavimo staklių ašis:

G28 X... Y... Z...;

Kai kuriose valdymo sistemose (pavyzdžiui, „HAAS“) galima ir nurodinėti ašiu, tokiu atveju į nulį bus grąžintos iš karto visos ašys, kaip ir prieš tai nurodytame pavyzdyje (nors jei nurodysime ir visas tris ašis, kaip pirmiau pateiktoje eilutėje, klaidos nebus), t. y.:

G28;

Programuojant grįžimą į nulį pagal daugiau kaip vieną ašį, reikia atsiminti, kad judesys bus atliktas didžiausiu greičiu, kaip ir greitojo pozicionavimo judesys, programuojamas kodu G00, tik ne į nurodytą, o į nulio tašką (8.1, 8.2 pav.). 4.1 poskyryje buvo parodyta, kad tokių judesių trajektorijos ne visada yra tiesės, jungiančios pradinį tašką su pabaigos tašku, ir kartais būna sunkiai prognozuojamos.

Pateiktuose pavyzdžiuose po adresų X, Y ir Z buvo užrašyti daugtaškiai, o ne skaičiai. Be abejo, tokio užrašymo valdymo sistema nepriima. Taigi po šių adresų turi būti vadinamojo *tarpinio* taško koordinatčių reikšmės pakeliui į nulio padėtį. Šis taškas yra įrankio atraminio taško, o ne staklių darbinės dalies. Nurodant jo koordinatas dažnai galima sutrumpinti valdymo programą viena eilute. Paaiškinsime pavyzdžiu. Sakykime, įrankį (grąžtą), išgręžus skylę, reikia išsiųsti į staklių nulio padėtį pagal ašis X ir Y nuo skylės centro, kurio koordinatės yra X70 Y60 detalės koordinatčių sistemoje (8.3 pav.). Jeigu šis judesys bus atliktas tiesiogiai iš šio taško pagal X ir Y ašis, grąžtas (jeigu, aišku, jis nėra nutolęs saugiu atstumu nuo detalės paviršiaus pagal Z ašį) gali užkabinti viršutinį dešinįjį prispaudiklį (8.3 pav.) ir lūžti. Todėl saugiausia atlikti judesį į nulį per saugų tarpinį tašką, kurio koordinatės yra, pvz., X180 Y60 (gali būti ir kitos, šiuo atveju svarbiausia, kad nesikeistų Y koordinatė). Programos eilutė, dėl kurios įrankis judėtų į nulį tiesiogiai iš paskutinio užprogramuoto taško, o ne per tarpinį tašką, toliau pateiktoje programoje yra N08:

N01 G90 G54 (absoliučiosios koordinatės, detalės koordinatčių sistema G54);

N02 T1 M06 (dėtuvės įrankis Nr. 1 (grąžtas) įstatomas į sukli);

N03 S1000 M03 (įrankiui suteikiamas sukimosi judesys pagal laikrodžio rodyklę, sūkiai – 1000 sūk./min);

N04 G00 X70.0 Y60.0 (greitojo pozicionavimo judesys į skylės centrą plokštumoje XY);

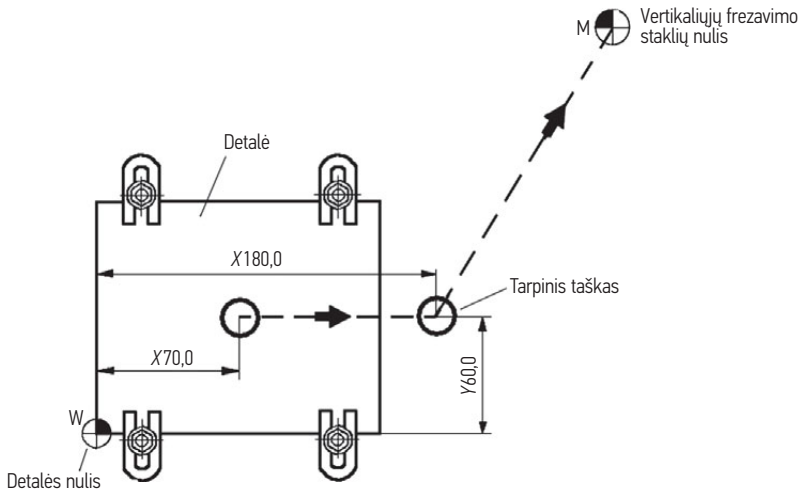
N05 G43 H01 Z2.0 M08 (greitojo pozicionavimo judesys pagal Z ašį 2 mm aukščiau detalės Z0 (viršutinė plokštuma) pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės, pradėti tiekti TAS);

N06 G01 Z-10.0 F220.4 (skylės gręžimas 10 mm gyliu nuo detalės Z0 su pastūma 220,4 mm/min);

N07 Z2.0 M09 (grąžto ištraukimas pagal Z ašį tiesinės interpoliacijos judesiu į tašką Z2 su 220,4 mm/min pastūma, TAS tiekimo nutraukimas);

N08 G28 X70.0 Y60.0 (judesys į staklių nulį XY plokštumoje per tašką X70 Y60 (t. y. per tą, kuriame yra įrankis));

...;



8.3 pav. Vertikaliųjų frezavimo staklių įrankio grįžimo į staklių nulį trajektorija XY plokštumoje (Smid 2003)

Šiame pavyzdyje įrankis judės į nulį X ir Y ašių kryptimis tiesiogiai iš taško, kurio koordinatės yra $X70 Y60$, t. y. iš paskutinio judesio galinio taško, į kurį jis buvo patekęs XY plokštumoje kodu $G00$ vykdant eilutę $N04$. Taip yra todėl, kad po kodo $G28$ nurodytos ne tarpinio taško koordinatės, o einamosios įrankio koordinatės. Situacija pasikeis, jeigu eilutė $N08$ bus užrašyta taip:

$N08 G28 X180.0 Y60.0$ (judesys į nulį XY plokštumoje iš taško $X70 Y60$ per tarpinį tašką $X180 Y60$);

Šiuo atveju įrankis pagreitintai judės į tarpinį tašką, kurio koordinatės yra $X180 Y60$ (judės tik pagal X ašį, nes Y koordinatė nesikeičia), o tik paskui į staklių nulį pagal X ir Y ašis vienu metu. Taip yra todėl, kad po kodo $G28$ nurodytos tarpinio taško koordinatės, o ne einamosios. Jeigu tarpinio taško koordinatinių negalima būtų nurodyti po $G28$, dėl darbo saugumo reikėtų atlikti greitojo pozicionavimo judesį į tašką $X180 Y60$ kodu $G00$, o tai prailgintų programą viena eilute, tas pats programos fragmentas atrodytų taip:

...;

$N07 Z2.0 M09$ (grąžto ištraukimas pagal Z ašį tiesinės interpoliacijos judesiu į tašką $Z2$ su $220,4$ mm/min pastūma, TAS tiekimo nutraukimas);

$N08 G00 X180.0$ (greitojo pozicionavimo judesys į tašką $X180 Y60$);

$N09 G28 X180.0 Y60.0$ (judesys į nulį XY plokštumoje per tašką $X180 Y60$);

...;

Tokiu būdu galimybė įvesti tarpinio taško koordinatės po $G28$ leido sutrumpinti programą viena eilute. Aišku, šiame pavyzdyje galima būtų pagreitintai pakelti įrankį į

saugų atstumą virš prispaudiklio (t. y. aukščiau negu Z2 mm) ir toliau pagal visas ašis iš karto grąžinti į nulį suklio galvutę ir stalą nebijant užkabinti prispaudiklį, tačiau yra situacijų, kai negalima to atlikti (pvz., apdirbant aukštas detales ir pan.). Nepaisant to, tokios situacijos yra nedažnos ir dažniausiai frezavimo staklių ašys grąžinamos visos vienu metu be tarpinio taško, po G28 nurodant einamąsias įrankio koordinatas arba nieko nenurodant („HAAS“ sistemoje ir pan.).

Reikėtų dar kartą atkreipti dėmesį į tai, kad po G28 kodo nurodomos *įrankio* atraminio taško koordinatės, o ne staklių *darbinės dalies*, nors į staklių nulį atvyks atraminis darbinės dalies taškas.

Anksčiau pateiktuose pavyzdžiuose aktyvus buvo absoliučiuųjų koordinacių režimas, įjungtas programos pradžioje kodu G90. Pasirinktas koordinacių režimas (absoliučiuųjų koordinacių arba prieaugių) turi didelę įtaką kodo G28 naudojimui. Dviejų valdymo programų fragmentų, pateiktų toliau, rezultatas yra tas pats:

```
G90;
...;
G01 X70.0 Y60.0 F125.0;
G28 X70.0 Y60.0 (judesys į nulį iš karto iš taško X70 Y60);
...;
G90;
...;
G01 X70.0 Y60.0 F125.0;
G28 G91 X0.0 Y0.0 (judesys į nulį iš karto iš taško X70 Y60, aktyvus prieaugių režimas G91);
...;
```

Antrame pavyzdyje parodyta, kad prieaugiai pagal abi X ir Y ašis iš prieš tai užprogramuoto taško iki tarpinio yra lygios nuliui, todėl grįžimas į staklių nulį bus atliktas iš prieš tai užprogramuoto taško X70 Y60. Kiti du pavyzdžiai taip pat yra visiškai identiški. Juose judesys į nulį bus atliktas per tarpinį tašką, kurio koordinatės X180 Y60.

```
G90;
...;
G01 X70.0 Y60.0 F125.0;
G28 X180.0 Y60.0 (judesys į nulį iš taško X70 Y60 per tarpinį tašką X180 Y60);
...;
G90;
...;
G01 X70.0 Y60.0 F125.0;
G28 G91 X110.0 Y0.0 (judesys į nulį iš taško X70 Y60 per tarpinį tašką X180 Y60, koordinacių prieaugiai iki jo nuo esamo taško yra 110 mm pagal X ašį ir 0 mm pagal ašį Y);
...;
```

Antrajame pavyzdyje įjungiamas prieaugių režimas ir valdymo sistemai nurodomas prieaugis iki tarpinio taško 110 mm teigiamąja X ašies kryptimi. Pagal Y ašį judesio nebus, prieaugis lygus 0. Tokiu atveju vis tiek įrankis iš pradžią pateks į tą patį tarpinį tašką, kurio koordinatė $X180 (70 + 110) Y60 (60 + 0)$ detalės koordinačių sistemoje (kaip ir pirmuoju atveju). Vėliau įrankis bus nukreiptas į nulinę padėtį pagal X ir Y ašis.

Kuris ašių nustatymo į nulinę padėtį metodas yra geresnis? Sunku pasakyti. Persijungti į prieaugių režimą yra neblogas sprendimas, kai judesys į nulį planuojamas iš einamosios įrankių pozicijos. Tokiu atveju nereikia po G28 rašyti einamųjų koordinačių, užtenka nurodyti nulius po atitinkamų ašių pavadinimų. Šio metodo trūkumas tas, kad kitoje eilutėje prieš programuojant kitus poslinkius reikia vėl persijungti į absoliučią koordinačių režimą kodu G90. Užprogramuoti kitą judesį iš staklių nulio prieaugiais yra labai sunku. Šis metodas yra neblogas, kai einamosios įrankio koordinatės programuotojui nežinomos arba sunkiai nustatomos. Tai gali atsitikti tada, kai programoje yra paprogramių, kurios vykdomos daug kartų ir poslinkiai jose užprogramuoti prieaugiais. Pavyzdžiui, ar lengva nustatyti paskutines įrankio koordinates, kai toliau pateikta eilutė kartotinai vykdoma 11 kartų:

```
G91 G01 X2.156 Y15.625;
```

Tokiu atveju, jeigu reikia grąžinti staklių junginius pagal ašis į nulį, norint nustatyti įrankio koordinates, reikia 2,156 mm ir 15,625 mm daugininti iš 11 ir rezultatą pridėti prie paskutinių prieš paprogramę užprogramuotų koordinačių. Atrodo gana nepatraukliai, ar ne? Šiuo atveju tikrai vietoje eilutės:

```
G28 X??? Y???
```

labiau tiktų tokia:

```
G28 G91 X0.0 Y0.0;
```

Tačiau jeigu prieaugių režimas (G91) aktyvus, o eilutėje su G28 kodu bus aktyvuotas absoliučią koordinačių režimas, judesys į nulį bus per tarpinį tašką $X0 Y0$ detalės koordinačių sistemoje, to pasekmės gali būti tiesiog katastrofiškos. Dėl tos pačios priežasties labai svarbu nepamiršti perjungti režimo į absoliučiąsias koordinates.

Jeigu frezavimo staklių ašys programoje nukreipiamos į nulinę padėtį tik vienu tikslu – pakeisti įrankį, tam nebūtina grąžinti į nulį pagal visas ašis, užtenka tik pagal vieną. Vertikaliosiose frezavimo staklėse tai ašis Z (8.1 pav.):

```
G91 G28 Z0.0;
```

```
T... M06;
```

```
G90 ...;
```

arba kai aktyvus absoliučią koordinačių režimas:

```
G28 Z... (Z... – paskutinė užprogramuota įrankio Z koordinatė);
```

T... M06;

...;

Horizontaliosioms frezavimo staklėms tai yra ašis Y (2.5 pav., b), tačiau dėl saugumo, kad nebūtų užkabintas gretimas įrankis dėtuvėje, taip pat nukreipiama į nulinę padėtį ir Z ašis, t. y.:

G91 G28 Y0.0 Z0.0;

T... M06;

G90...;

arba kai aktyvus absoliučiuųjų koordinačių režimas:

G28 Y... Z... (Y... Z... – paskutinės užprogramuotos įrankio Y ir Z koordinatės);

T... M06;

...;

Pažymėtina, kad daugumoje frezavimo staklių ir apdirbimo centrų (taip pat ir firmos „HAAS“) grąžinti suklio galvutės į nulį pagal Z ašį (arba Y), keičiant įrankį (kai kuriose staklėse būtina), visai nereikia – valdymo sistema pati atliks tai, kas nurodoma komanda M06. Nurodžius programoje:

T1 M06 (pakeisti įrankį įrankiu, esančiu dėtuvės lizde Nr. 1);

staklių suklio galvutė pasikels į nulį automatiškai, kur ir bus pakeistas įrankis.

Pasukamieji staklių junginiai (jeigu jų kampinė padėtis yra valdoma programiškai) lygiai taip pat turi savo nulinę padėtį (kampines). Joms nustatyti į nulinę padėtį naudojamos lygiai tos pačios komandos, pavyzdžiui:

G91 G28 B0.0;

eilute į nulį iš esamos kampinės pozicijos bus grąžinta apdirbimo centro ašis B (I dalis). Kitame pavyzdyje nustatomos į nulinę padėtį iš karto dvi ašys – Y ir B :

G91 G28 Y0.0 B0.0;

Pagal tas pačias taisykles, galiojančias linijinėms ašims, nustatomos į nulinę padėtį ir sukimosi ašys absoliučiuųjų koordinačių režimu.

Kyla klausimas – kam grąžinti į nulį frezavimo staklių ašis programoje, jeigu tik nekeičiant įrankio? Žinome, kad daugumoje šiuolaikinių staklių įrankiai keičiami nereikalaujant suklio galvutės nukreipimo į nulinę padėtį kodu G28. Paprastai į nulį grąžinama tik įrankio (suklio) galvutė (t. y. pagal ašį Z) programos pabaigoje, nes pasibaigus programai, likus įrankiui prie detalės galo, sunku pakeisti ją kitu rošiniu. Pakelti įrankį pagal Z ašį galima ir kodu G00, tačiau tokiu atveju detalės koordinačių sistemoje sunku nustatyti didžiausią atstumą, kuriuo jį galima pakelti. Pakėlus įrankį didžiausiu atstumu virš detalės eilutėmis G28 Z... arba G91 G28 Z0.0, nereikia daug galvoti, žinoma, kad atstumas šiuo atveju visada bus didžiausias. Be to, norint išimti iš

staklių detalę, kartais patogiau programos pabaigoje nusiųsti į nulį ir likusias ašis. Tuo dažniausiai ir apsiribojama šiuolaikinėse frezavimo staklėse bei apdirbimo centruose.

Šiek tiek kitokia situacija yra su tekinimo staklėmis. Kaip žinoma, tekinimo staklėse nėra įrankių dėtuvių, o yra revolverinė galvutė (arba peilių įtvartas), kuri pasukama tam, kad į darbo padėtį būtų pastatytas kitas įrankis. Norint pakeisti įrankį, nebūtina grįžti į nulį, pakanka padaryti tai saugiu atstumu nuo detalės, kad nebūtų užkabinti iš galvutės kyšantys įrankiai. Tačiau čia grąžinti ašis į nulį labai naudinga prieš pasirenkant įrankį programoje pirmą kartą, jos pradžioje. Taip dirbti saugiau, nes, pasibaigus programai ir operatoriui nutolus nuo staklių, kažkas gali perstumti galvutę arčiau ruošinio, operatorius gali neatkreipti į tai dėmesio. Paleidus programą iš naujo, programoje pirmasis keitimas kodu T... bus atliktas einamojoje pozicijoje, o tai gali baigtis avarija. Todėl tekinimo staklių revolverinė galvutė taip pat gali būti nukreipta į nulinę padėtį programoje ir kur kas paprasčiau tai daroma prieaugių režimu. Daugumoje „Fanuc“ firmos ir kitose (taip pat ir „HAAS“) tekinimo staklių valdymo sistemose tam nenaudojamas kodas G91, o norint pereiti į prieaugių režimą, pakanka naudoti vietoje X ir Z adresus U ir W. Pavyzdžiui, eilutės

G28 U0.0;

G28 W0.0;

grąžina revolverinę galvutę pagal X ir Z ašis į nulį be tarpinio taško, panašiai kaip frezavimo staklėse būtų nurodytas kodas G91, o paskui žodžiai X0.0 ir Z0.0. Ašys bus grąžintos po vieną, nes nurodytos skirtingose eilutėse, iš pradžių X (U), paskui Z (W). Taip dažniausiai daroma dėl darbo saugumo, kad galvutė neužkabintų arkliuko (4.3 pav.). Jeigu jo nėra, galima drąsiai grąžinti į nulį pagal abi ašis vienu metu:

G28 U0.0 W0.0;

arba

G28 („HAAS“ tekinimo staklės);

Kitame pavyzdyje parodyta, kaip nustatomos į nulinę padėtį tekinimo staklių ašys absoliučiąjį koordinačių ir prieaugių režimu, kai nurodomas tarpinis taškas (8.4 pav.).

N01 G28 U0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį iš einamosios pozicijos pagal X ašį);

N02 G28 W0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį iš einamosios pozicijos pagal Z ašį);

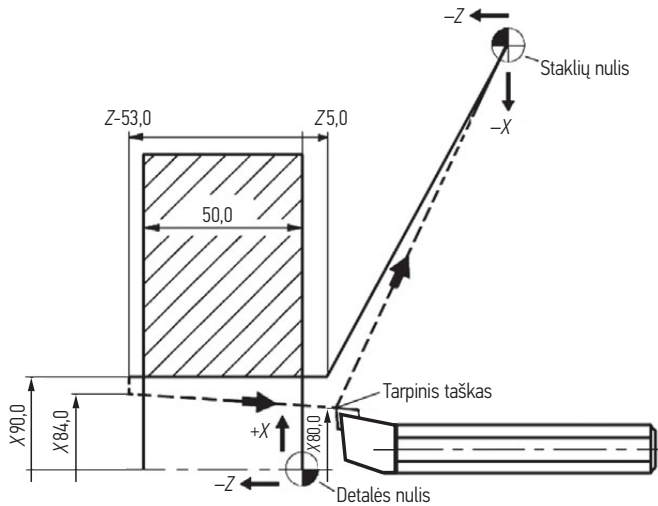
N03 T03 (įrankis Nr. 3 revolverinėje galvutėje (ištekinimo peilis) kviečiamas į darbo poziciją);

N04 S1500 M03 (paleidžiamas sukis į priekį suklys, sukiai – 1500 suk./min);

N05 G00 X90.0 Z5.0 (pagreitintas įrankio judesys į tašką X90 Z5 detalės koordinačių sistemoje);

N06 G01 Z-53.0 F0.15 M08 (skylės ištekinimas tiesinės interpoliacijos judesiu į tašką X90 Z-53 detalės koordinačių sistemoje su 0,15 mm/sūk. pastūma, prieš judesį įjungiamas TAS tiekimas);

N07 G00 X84.0 M09 (pagreitintas peilio atitraukimas nuo paviršiaus X ašies kryptimi, TAS tiekimo nutraukimas);



8.4 pav. Skylės ištekinimas (Smid 2003)

N08 G28 X80.0 Z5.0 (revolverinės galvutės grįžimas į nulį pagal X ir Z ašis vienu metu per tarpinį tašką X80 Z5, absoliučiosios koordinatės);
 N09 M30 (programos pabaiga ir grąžinimas į pradžią);

Jeigu reiktų užprogramuoti galvutės grįžimą į nulį prieaugiais, pakaktų N08 eilutę pakeisti tokia:

N08 G28 U-6.0 W58.0; (grįžimas pagal X ir Z ašis vienu metu į nulį per tarpinį tašką X84 Z5, prieaugiai);

Į tarpinį tašką taip pat bus nukreiptas atraminis įrankio taškas, o ne revolverinės galvutės, nors staklių nulyje atsiras pastarasis.

Kaip matyti iš 8.4 pav. ir iš anksčiau pateiktos programos, tekinimo staklėse taip pat būna naudinga grąžinti revolverinę galvutę į nulį (arba nebent pagal vieną X ašį) tiesiog tam, kad būtų patogiau išimti ruošinį iš griebtuvo. Jeigu įrankis, pasibaigus programai, liks pozicijoje X80 Z5, tai bus padaryti gana sunku. Aišku galima atitraukti įrankį į reikiamą atstumą pagal X arba pagal Z ašis kodu G00, tačiau tai jau skonio reikalas.

G27

G27 yra kitas kodas, susietas su staklių nuly. Jo paskirtis – patvirtinti, ar užprogramuota po G27 įrankio pozicija yra staklių nulis, ar ne. Kai tam tikra ašis yra nulio padėtyje, valdymo pulte užsidega atitinkama lemputė. Jeigu nors vienos ašies pozicija yra ne nulinė, programa sustabdoma ir valdymo įrenginio vaizduoklyje pasirodo klaidos pranešimas.

G27 kodo formatas yra panašus į G28:

G27 X... Y... Z...;

Bent viena iš ašių koordinacių turi būti nurodyta po G27.

Kai valdymo sistema programoje sutinka šį kodą, įrankis automatiškai pagreitintai grąžinamas į poziciją, nurodytą eilutėje po G27 kodo, ir patikrinama, ar ši pozicija yra staklių nulis (ne pagal visas valdomas ašis, o pagal nurodytąsias). Jeigu staklių junginys nors pagal vieną ašį yra ne nulio padėtyje, programa sustabdoma; jeigu viskas gerai, lemputės užsidega ir programa vykdoma toliau.

Pažymėtina, kad šiuolaikinėse staklėse šis kodas nenaudojamas, jis buvo taikomas senesnio tipo tekinimo staklėse, kartu su kodu G50 (įrankio pozicijos registravimas) bei frezavimo staklėse, kur buvo naudojamas G92 vietoj G50 (žr. 9.4 posk.). Šiose staklėse dar nebuvo patogiai nustatomų detalės koordinacių sistemų, atstumai iki kurių pradžių nuo staklių nulio būtų saugomi specialioje kompensacijų lentelėje ir aktyvina mi kodu G54–G59 arba pasirenkant įrankius programoje. Todėl norint surišti staklių ir detalės koordinacių sistemas, prieš paleidžiant programą reikėjo nurodyti atstumus nuo tam tikros įrankio pozicijos (laisvai pasirenkamos) iki detalės nulio pagal visas ašis pačioje programoje, o kodu G27 buvo galima patikrinti, ar jie teisingi. Išjungus stakles iš tinklo, atstumus iki detalės nulio reikėjo nurodyti iš naujo. Tie atstumai galėjo būti ir kiti. Tačiau atstumai nuo detalės nulio iki staklių nulio lieka tie patys. Todėl jeigu detalės nulio padėtis įrankio einamosios pozicijos atžvilgiu apibrėžta teisingai, bet kuriuo atveju, grįžtant į po kodo G27 nurodytą erdvės tašką detalės koordinacių sistemoje, staklių nulio padėtis bus pasiekta, užsidegs atitinkama lemputė ir programa bus vykdoma toliau. Priešingu atveju programa bus sustabdyta, operatorius sužinos, kad atstumai buvo neteisingi. Be to, kad įrankis grįžtų į staklių nulį, reikia, kad būtų atjungta įrankio skersmens kompensavimo funkcija kodu G40 (žr. 9.2 poskyrį). Norint tai patikrinti programoje galima įterpti eilutę su kodu G27, tada, jei kompensacija atjungta, ašys bus grąžintos, jei ne – bus rodoma klaida ir reikės tikrinti programą.

G29

G29 yra kodas, kuriuo sukliamas veiksmas visiškai priešingas kodo G28 (G30) veiksmui. Jeigu G28 grąžina darbinės staklių dalis pagal valdomas ašis į nulį per tarpinį įrankio tašką, tai kodas G29 nukreipia įrankį iš nulio į naują padėtį per nurodytą eilutėje su kodu G28 tarpinį tašką.

Dažniausiai kodas G29 programuojamas po kodo G28 arba G30. Taisyklės dėl adresų ir režimų yra tokios pat kaip ir G28 atveju. Įrankis juda pagreitintai per tarpinį tašką, kurio koordinatės buvo nurodytos ankstesnėje G28 eilutėje. Pavyzdžiui, norima, kad revolverinė galvutė judėtų iš įrankio taško A į tekinimo staklių nulį M per tarpinį įrankio tašką B, o toliau įrankis judėtų į naują poziciją C (8.5 pav.) per tą patį tašką B. Programos fragmentas atrodo taip:

...;

G28 U300.4 W80.5 (grįžti į staklių nulį per tarpinį tašką B (8.5 pav.), nutolusį nuo esamos pozicijos A 150,2 mm pagal X ašį ir 80,5 mm pagal Z ašį, abi kryptys teigiamosios, koordinatės prieaugio);

G29 U-200.6 W90.8 (grįžti iš staklių nulio per tarpinį įrankio tašką B (8.5 pav.) į tašką C, nutolusį nuo tarpinio taško B 100,3 mm pagal X ašį (neigiamąją kryptimi) ir 90,8 mm pagal Z ašį (teigiamąją kryptimi), koordinatės priaugio);

...;

Absoliučiąjį koordinatinių režimu (tegu taško A koordinatės detalės koordinatinių sistemoje $X0 Z0$) tas pats programos fragmentas atrodo taip:

...;

G28 X300.4 Z80.5 (grįžti į staklių nulį per tarpinį tašką B (8.5 pav.), kurio koordinatės detalės koordinatinių sistemoje yra X300,4 Z80,5, koordinatės absoliučiosios);

G29 X99.8 Z171.3 (grįžti iš staklių nulio per tarpinį tašką B (8.5 pav.) į tašką C, kurio koordinatės detalės koordinatinių sistemoje yra X99,8 Z171,3, koordinatės absoliučiosios);

...;

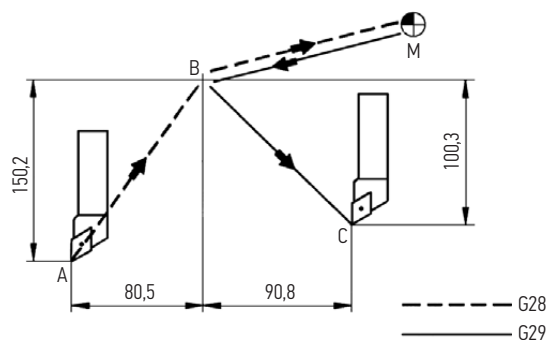
8.5 pav. pavaizduota įrankio atraminio taško trajektorija. Tarp G28 ir G29 gali būti užprogramuoti tam tikri veiksmai, pavyzdžiui, įrankio keitimas. Kodas G29 paprastai turi būti naudojamas, kai įrankio spindulio kompensacijos yra išjungtos (G40, 9.2 poskyris), taip pat turi būti atšaukti vidiniai ciklai (G80, 11 skyrius).

Pažymėtina, kad programuotojai „nemėgsta“ G29 ir labai retai prisimena šį kodą naudodami vietoje jo kodą G00 (greitasis pozicionavimas) ašims grįžus į nulį, tačiau tai pasirinkimo reikalas. Taip fragmentas be kodo G29, o su G00 atrodytų taip (kai naudojamas G00, reikėtų dirbti absoliučiosiomis koordinatėmis, nes gana sunku nurodyti priaugius nuo staklių nulio):

G28 X300.4 Z80.5;

G00 X99.8 Z171.3;

Tokiu atveju įrankis judėtų iš staklių nulio iš karto į tašką C (8.5 pav.) nesilankant taške B. Tai yra vienintelis skirtumas tarp fragmentų.



8.5 pav. Kodų G28 ir G29 veikimas tekimo staklėse (Smid 2003)

Staklėse, kur galima nurodyti vien kodą G28 be tarpinio taško koordinatinių (pavyzdžiui, firmos „HAAS“), vykdant toliau pateiktą pirmąją fragmento eilutę, visos ašys bus nukreiptos į nulį be tarpinio taško, o paskui, vykdant antrąją eilutę, įrankis iš karto atsidurs taške, kurio koordinatės nurodytos po kodo G29.

G28;
G29 X99.8 Z171.3;

Tokiu atveju trajektorija bus tokia pat, kaip ir naudojant kodą G00 vietoje G29.

Panašiai naudojamas kodas G29 frezavimo staklėse. 8.3 pav. pateiktam atvejui užrašysime:

...;
G28 X180.0 Y60.0 (judesys į nulį XY plokštumoje per tarpinį tašką X180 Y60);
G29 X50.0 Y25.0 (judesys iš nulio XY plokštumoje į tašką X50 Y25 per tarpinį tašką X180 Y60);
...;

arba tą patį prierašais:

...;
G91 G28 X110.0 Y0.0 (judesys į nulį XY plokštumoje per tarpinį tašką, kuris nutolęs nuo to, kuriame yra įrankis, 110 mm pagal X ašį (kryptis teigiama) ir 0 mm pagal Y ašį);
G29 X-130.0 Y-35.0 (judesys iš nulio XY plokštumoje į tašką X50 Y25 per tarpinį tašką X180 Y60);
...;

Jeigu tarp eilučių su kodais G28 ir G29 užprogramuotas įrankio keitimas, reikia nepamiršti prieš nuleidžiant jį pagal aukštį (Z ašies kryptimi) įjungti kito įrankio ilgio kompensaciją kodu G43 (9.2.1 skirsnis), kitaip gali įvykti avarija.

G30

Kaip jau minėta, kai kuriose CNC staklėse ir centruose yra papildomas nulis (arba net keli nuliai), į kurį taip pat gali būti grąžintos darbinės staklių dalys. Tai būdinga ne visoms staklėms, ne visoms papildomas nulis yra reikalingas. Dažniausiai jo reikia horizontaliesiems apdirbimo centrums su palečių keitimo įrenginiais, atstumas tarp įrenginio nulio ir staklių nulio nustatytas gamintojo ir yra labai svarbus. Šio kodo formatas yra lygiai toks pat kaip ir G28, tik šiuo atveju atsiranda papildomas adresas P:

G30 P... X... Y... Z...;

Čia po adreso P gali būti skaičiai nuo 1 ir daugiau, priklausomai nuo staklių nulių skaičiaus. Po adresų X, Y ir Z turi būti nurodomos įrankio tarpinio taško koordinatės, kaip ir G28 atveju. Koordinatės gali būti absoliučiosios arba prieaugio. Galioja visos taisyklės, taikomos G28 kodui.

Jeigu staklėse yra tik vienas papildomas nulis, adresas P gali būti ir nenurodomas, t. y. toliau pateiktos eilutės valdymo sistemos bus interpretuojamos vienodai:

G30 X... Y...;
G30 P1 X... Y...;

Programos pavyzdys

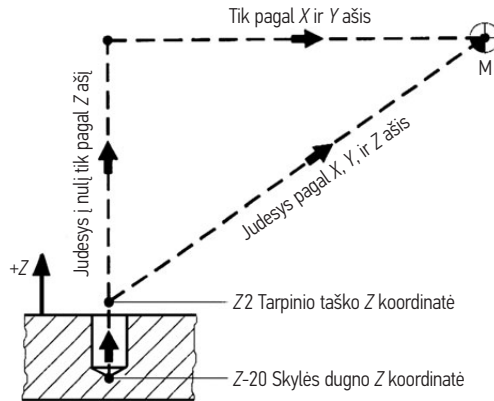
Paruošime programą skylėi detalėje gręžti vertikaliosiomis frezavimo staklėmis. Skylės centro padėtis detalės koordinacių sistemoje yra X230,5 Y120,85, gylis – 20 mm. Išgręžę skylę grąžinsime vertikaliųjų frezavimo staklių ašis į nulį (8.6 pav., taškas M). Grąžinti ašis į nulį iš karto iš galinės gręžimo pozicijos (skylės dugno) negalima, nes bus sulaužytas grąžtas arba suklys, todėl reikia iš pradžių ištraukti grąžtą iš skylės saugiu atstumu pagal Z ašį. Gali būti trys variantai:

1. Ištraukti įrankį virš detalės galinės plokštumos, grąžinti visas ašis X, Y ir Z į nulį vienu metu.
2. Grąžinti iš pradžių suklio galvutę į nulį pagal Z ašį, toliau stalą pagal likusias ašis.
3. Grąžinti visas ašis į nulį vienu metu per tarpinį tašką.

Sudarysime valdymo programas visiems atvejams. Viršutinėje 8.1 lentelės dalyje parodyta programos dalis, bendra visiems atvejams, apatinėje dalyje parodyti jos tęsiniai, atitinkantys 1-ąjį, 2-ąjį ir 3-įjį variantą (iš kairės į dešinę).

8.1 lentelė. Valdymo programos variantai (8.6 pav.)

<p>N1 T01 M06 (détuvėje pasirenkamas įrankis Nr. 1 – reikiamo skersmens spiralinis grąžtas); N2 S1400 M03 (suklys paleidžiamas suktytis pagal laikrodžio rodyklę 1400 sūk./min greičiu); N3 G90 G54 G00 X230.5 Y120.85 (įrankis pagreitintai pozicionuojamas virš skylės centro pagal X ir Y ašis detalės koordinacių sistemoje G54, absoliučiosios koordinatės G90); N4 G43 H01 Z2.0 (pritaikoma įrankio ilgio kompensacija, įrankis pagreitintai pozicionuojamas 2 mm aukščiau detalės galinės plokštumos); N5 G01 Z-12.0 F90.0 M08 (gręžiama skylė 12 mm gyliu (nuo detalės Z0 plokštumos – detalės viršutinės plokštumos) su 90 mm/min pastūma, prieš judesį pradedamas tiekti TAS); N6 G00 Z-10.0 (grąžtas pakeliamas 2 mm nuo pozicijos Z-12 norint sulaužyti drožlę); N7 G01 Z-20.0 (gręžiama iki galo 20 mm gyliu nuo detalės viršutinės plokštumos);</p>		
<p>N8 G00 Z2.0 M09 (greitasis grąžto ištraukimas iš skylės 2 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos – detalės Z0); N9 G28 X230.5 Y120.85 Z2.0 (grįžimas į staklių nulį per paskutinį užprogramuotą tašką pagal X, Y ir Z ašis iš karto); N10 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);</p>	<p>N8 G28 Z-20.0 M09 (grįžimas į staklių nulį per paskutinį užprogramuotą tašką Z ašies kryptimi); N9 G28 X230.5 Y120.85 (grįžimas į staklių nulį per paskutinį užprogramuotą tašką pagal X ir Y ašis vienu metu); N10 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);</p>	<p>N8 G28 X230.5 Y120.85 Z2.0 M09 (grįžimas į staklių nulį per tarpinį tašką X230,5 Y120,85 Z2 pagal X, Y ir Z ašis iš karto); N9 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);</p>



8.6 pav. Įrankio atraminio taško judėjimo trajektorijos vertikalųjų frezavimo staklių plokštumoje XZ (Smid 2003)

Pirmuoju atveju į nulį bus grįžtama gana saugiai, tik jeigu virš detalės paviršiaus 2 mm atstumu nebus jokių kliūčių įrankiui užkabinti. Įrankis bus pagreitintai atitrauktas į tašką Z2, toliau iš šio taško pagal visas valdomas X, Y ir Z ašis vienu metu judės į nulį (8.6 pav.). Judėjimo trajektorija pagal dvi ir daugiau valdomų ašių, kaip žinome iš 4.1 poskyrio, nėra tiesė, jungianti pradinį ir galinį judesio taškus, todėl tenka išanalizuoti tokio judesio pasekmes dėl įvairių kliūčių įrankio kelyje (pvz., kyšantys detalės elementai, prispaudikliai ir pan.) ir nuspręsti, ar palikti eilutę kaip yra, pakelti įrankį aukščiau į saugesnį atstumą negu Z2 arba pasirinkti 2-ąjį variantą.

Antruoju atveju suklio galvutė judės į nulį iš pradžių pagal Z ašį, o toliau pagal X ir Y ašis vienu metu (8.6 pav.). Toks būdas gali būti pavadintas saugiausiu iš visų.

Trečiuoju atveju judesys į nulio tašką vyks dviem pakopomis: iš pradžių įrankis pakils 2 mm atstumu virš detalės Z0 – viršutinės plokštumos, paskui iš taško X230,5 Y120,85 Z2 visos ašys vienu metu pradės judėti į staklių nulį kaip ir pirmuoju atveju. Šis metodas yra efektyviausias programuojant (matome, kad valdymo programa sutrumpėjo viena eilute) ir ciklo trukmės atžvilgiu, tačiau klaida koordinatėse gali labai brangiai kainuoti. Jeigu nurodytos eilutėje su kodu G28 tarpinio taško X ir Y koordinatės yra taško, kuriame yra įrankis, judesys, iki tarpinio taško bus atliktas tik pagal Z ašį. Suklydus ir nurodžius kito taško X ir Y koordinates, judesys vyks X arba Y ašių kryptimis, dar neišėjus grąžtui iš skylės, ir gali įvykti avarija. Todėl šiuo atveju geriau pereiti į prieaugių režimą, kai užtenka nurodyti nulius prie X ir Y adresų, kad neįvyktų judesys pagal šias ašis nepasiekus tarpinio taško, pvz., G91 G28 X0.0 Y0.0 Z22.0. Reikia atsiminti, kad pasiekus Z2 aukštį, judesys į staklių nulį vyks iš karto pagal tris ašis vienu metu, jo trajektorija nėra tiesė, todėl reikia įsitikinti, kad įrankio kelyje nebus jokių kliūčių.

Pažymėtina, kad daugumoje šiuolaikinių frezavimo staklių įrankis kodu G28 dažniausiai nebus grąžintas iš einamosios pozicijos pagal tris ašis vienu metu. Dėl saugu-

mo į nulį pirmiausia bus grąžinta suklio galvutė pagal Z ašį, o tik paskui pagal X ir Y ašis vienu metu (tekinimo staklėse revolverinė galvutė pirmiausia grįš pagal X, po to pagal Z). Tokiu atveju avarija neįvyks ir kai bus nurodyta grįžti iš einamosios pozicijos visoms ašims, tačiau tai galioja ne visose staklėse, tad norint išmokti programuoti saugiai, geriau apie tai pamiršti.

Kontroliniai klausimai

1. Kam reikalinga staklių nulio padėtis?
2. Kokiais atvejais reikia grąžinti staklių darbinės dalis pagal koordinacių ašis į nulio padėtį nuo staklių valdymo pulto? Kada reikia daryti tai programoje kodais?
3. Koks kodas naudojamas norint grąžinti staklių ašis į nulį? Koks jo formatas?
4. Kokio taško koordinatės paprastai turi būti nurodytos po kodo G28? Kaip užprogramuoti grįžimą į nulį tik pagal vieną ašį? Dvi ašis? Tris ašis?
5. Kam naudojamas kodas G29? Koks judesys bus atliktas vykdant kodą G29? Kokio taško koordinatės turi būti nurodytos po šio kodo? Koks taškas yra bendras kodams G28 ir G29?

DETALĖS KOORDINAČIŲ SISTEMOS IR ĮRANKIŲ KOMPENSACIJOS

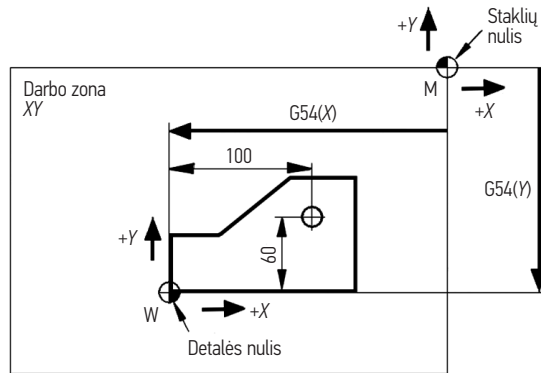
9.1. Detalės koordinačių sistema

9.1.1. Detalės koordinačių sistemos kompensacijos

Vertikaliosios frezavimo staklės ir vertikalieji apdirbimo centrai

Detalės koordinačių sistemos (*Work Coordinate System*) arba detalės kompensacijų (*Work Offsets*) naudojimas pakeitė įrankių padėties nustatymą, naudojamą seno tipo sistemose, ir yra kur kas patogesnė bei efektyvesnė priemonė įrankių poslinkiams valdyti.

Gali kilti šie klausimai: kam reikalinga detalės koordinačių sistema, kodėl negalima dirbti staklių koordinačių sistemoje? Atsakymai į šiuos klausimus pateikti 2.2 poskyryje. Apibendrinant galima pasakyti, kad tai yra svarbi priemonė, kuri leidžia programuoti įrankio trajektoriją apdirbant detalę (aišku, ne tik pastūmos judesius, bet ir pagalbinius) nežinant tikrosios jos padėties ant staklių stalo. Tokiu būdu programoje užprogramuotos įrankio koordinatės tampa nepriklausomos nuo detalės padėties ant staklių stalo. Jų nereikia taisyti programoje, kai padėtis keičiama. Detalės koordinačių sistema jau buvo naudota visuose pateiktuose frezavimo staklių programų pavyzdžiuose, pereinant į ją kodu G54. Nuo programos eilutės su kodu G54 visos koordinatės buvo atskaitomos nuo detalės koordinačių sistemos G54 pradžios (tam buvo pritaikomos atitinkamos koordinačių sistemos kompensacijos), o ne nuo staklių koordinačių sistemos pradžios. Pateiksime dar vieną pavyzdį. Reikia išgręžti skylę detalėje, pavaizduotoje 9.1 pav. Naudojant staklių koordinačių sistemą programuoti poslinkius būtų gana sudėtinga. Pavyzdžiui, kai staklių suklys su įrankių nustatytas į nulio padėtį taške M, jo atraminio taško koordinatės yra $X_0 Y_0 Z_0$ staklių koordinačių sistemoje. Jei norima prieš gręžiant pagreitintai sutapdinti įrankio ašį su skylės ašimi XY plokštumoje, reikia žinoti jos centro koordinatas staklių sistemoje. Prisilietus žinomo skersmens įrankiu prie kairiojo ir apatinio detalės šonų galima nuskaityti nuo valdymo pulto ekrano taško W koordinatas staklių koordinačių sistemoje. Tegul jos būna $X=300,250 Y=280,025$. Po to galima užprogramuoti pirmą greitąjį judesį skylės centro link, įvertinus skylės centro padėtį taško W atžvilgiu, t. y. $X100,0 Y60,0$ (9.1 pav.).



9.1 pav. Detalės ir vertikalųjų frezavimo staklių koordinatinių sistemų

Tada skylės centro koordinatės staklių koordinatinių sistemoje yra šios: $X-200,250$ ($-300,250+100,0$) $Y-220,025$ ($-280,025+60,0$). Eilutė atrodys taip:

G00 X-200.25 Y-220.025;

Taip skaičiuojant kiekvieno taško koordinatas galima lengvai suklysti, be to, pakeitus ruošinio padėtį ant stalo (pavyzdžiui, keičiant detalę spaustuose) reikia redaguoti programą. Toks darbas yra labai nenašus, todėl dirbama detalės koordinatinių sistemoje, prieš tai staklių valdymo įrenginiui „parodžius“, kur yra detalės koordinatinių sistemos pradžia W (nustatytus atstumus G54(X) ir G54(Y), 9.1 pav.). Tada įrankio trajektorijos taškų koordinatas nustatyti ir programuoti galima iš karto pagal brėžinį, mūsų pavyzdyje skylės centro padėtis detalės koordinatinių sistemoje yra X100 Y60 (9.1 pav.), todėl greitojo pozicionavimo judesį iki skylės centro pirmiau pateiktoje eilutėje detalės koordinatinių sistemoje galima užprogramuoti taip:

G54 G00 X100.0 Y60.0;

Jeigu detalė bus tvirtinama kitoje stalo vietoje, jos apdirbimo programos nereikia peržiūrėti, staklių valdymo įrenginiui reikia tik vėl „parodyti“, kur yra nauja detalės koordinatinių sistemos pradžia, išsaugojus naujus atstumus staklių kompensacijų lentelėje.

Atstumai G54(X) ir G54(Y) (9.1 pav.) paprastai vadinami detalės koordinatinių sistemos pradžios kompensacijomis arba detalės kompensacijomis (*Work Offsets*). Frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose šių kompensacijų reikšmės dažniausiai nustatomos visoms ašims (taip pat sukimo A ir B), išskyrus ašį Z, kurios pradžia paprastai apibrėžiama įrankių ilgių kompensacijomis, valdomomis kodais G43/G44, su kuriais susipažinsime vėliau – 9.2.1 skirsnyje.

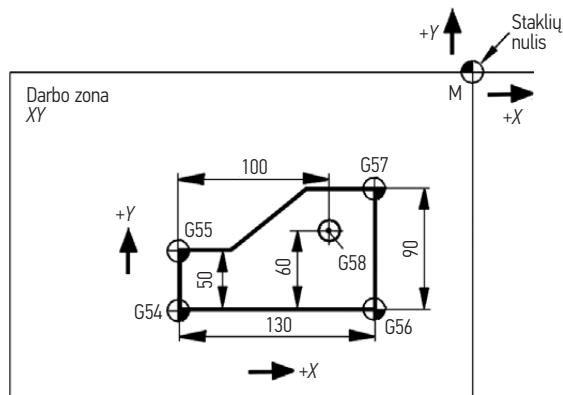
„Fanuc“ ir „HAAS“ firmų valdymo sistemose galima nustatyti šešių pagrindinių detalių koordinatinių sistemų pradžias ir pereiti iš vienos sistemos į kitą kodais G54, G55,

G56, G57, G58, G59. „HAAS“ valdymo sistemose, be šitų kodų, koordinacių pradžioms nustatyti dar naudojami ir G110–G129 kodai. Tad darbo koordinacių sistemų skaičius padidėja iki 26. Jeigu ir to nepakanka, galima naudoti kodą G154 su adresu Px , čia x – skaičius nuo 1 iki 99 (P1–P20 kreipiamasi į tas pačias pradžias, kaip ir G110–G129). Koordinacių pradžių skaičius padidėja iki 105. „Fanuc“ firmos valdymo sistemose detalės koordinacių sistemų gali būti irgi daugiau negu šešios. Dar 48 sistemos gali būti pasirinktos kodu G54.1, po kurio užrašomas adresas Px , čia x – skaičius nuo 1 iki 48. Daugumoje „Fanuc“ firmos valdymo sistemų galima nenurodinėti tos kodo G54.1 dalies, kuri yra po taško, todėl priklausomai nuo sistemos galima užrašyti G54 P1, G54 P2, ..., G54 P48. Dažniausiai pakanka pagrindinių šešių koordinacių sistemų G54–G59. Papildomos, priklausomai nuo gamintojo, gali būti staklių valdymo sistemos pasirinktimis, kurias reikia užsakyti atskirai. Visi be išimties koordinacių sistemos pradžių kodai yra modaliniai, jie galioja tol, kol bus pasirinkta kita koordinacių sistemos pradžia.

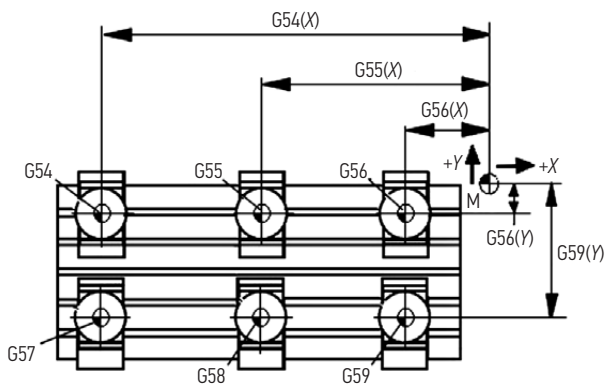
Šios detalių koordinacių sistemos gali būti naudojamos ir vienai, ir kelioms detalėms apdirbti. Pavyzdžiui, 9.2 pav. parodytoje detalėje yra nustatytos penkios detalių koordinacių sistemos. Skylės centro ir kitų taškų koordinatės kiekvienoje iš jų yra skirtingos. Įrankio greitis judesys į skylės centrą plokštumoje XY absoliučiosiomis koordinatėmis programuojamas skirtingai.

- G54 G00 X100.0 Y60.0 (greitis įrankio judesys į tašką X100 Y60 koordinacių sistemoje G54);
- G55 G00 X100.0 Y10.0 (greitis įrankio judesys į tašką X100 Y10 koordinacių sistemoje G55);
- G56 G00 X-30.0 Y60.0 (greitis įrankio judesys į tašką X-30 Y60 koordinacių sistemoje G56);
- G57 G00 X-30.0 Y-30.0 (greitis įrankio judesys į tašką X-30 Y-30 koordinacių sistemoje G57);
- G58 G00 X0.0 Y0.0 (greitis įrankio judesys į tašką X0 Y0 koordinacių sistemoje G58);

Kitas klasikinis atvejis parodytas 9.3 pav. Reikia išgręžti skylės šešių cilindrinė detalių centruose. Kad rečiau reikėtų keisti apdirbtas detales naujomis, šešios detalės



9.2 pav. Detalės ant vertikalųjų frezavimo staklių stalo koordinacių sistemos



9.3 pav. Šešių detalių skylių apdirbimas vertikaliomis frezavimo staklėmis

bus apdirbtos viena programa (tokios programos vykdymo metu operatorius turės daugiau laisvo laiko ir galės skirti jį kitoms staklėms prižiūrėti). Paimsime šešis spaustuvus (arba daugiaviečius spaustuvus, žr. I dalies 7 sk.) ir įtvirtinsime jas skirtingose vertikaliųjų frezavimo staklių stalo vietose. Užuoat apdirbę visas detales programuodami judesius nuo vienos koordinatinių sistemos pradžios, nustatysime koordinatinių sistemos pradžias kiekvienos detalės centre. Tokiu būdu galima parašyti paprogramę (apie paprogrames skaitykite 12 skyriuje), kurioje užprogramuoti grąžto judesiai Z ašies kryptimi gręžiant skylę su centro koordinatėmis $X_0 Y_0$, ir kreiptis į paprogramę kiekvieną kartą perėję iš vienos koordinatinių sistemos į kitą. Tokiu būdu sutaupysime laiko rašydami programą ir skaičiuodami skylių centrų koordinates vienoje sistemoje.

064589

(programa šešioms detalėms apdirbti);

T01 M06 (dėtuveje pasirenkamas įrankis Nr. 1 – spiralinis grąžtas);

G21 G00 G90 G54 X0.0 Y0.0 (aktyvuojama koordinatinių sistema G54, greitasis pozicionavimas taške X0 Y0 absoliučiosiose koordinatėse);

S1500 M03 (suklys paleidžiamas sukstis į priekį, sūkliai – 1500 sūk./min);

G43 H01 Z5.0 (grąžto ilgio kompensacija iš pirmos eilutės, grąžto galas pagreitintai pozicionuojamas taške, esančiame 5 mm aukščiau detalių viršutinių plokštumų – Z0);

M98 P3000 (paprogramės O3000 iškvietimas, kai aktyvi koordinatinių sistema G54);

G55 (perėjimas į koordinatinių sistemą G55);

M98 P3000 (paprogramės O3000 iškvietimas, kai aktyvi koordinatinių sistema G55);

G56 (perėjimas į koordinatinių sistemą G56);

M98 P3000 (paprogramės O3000 iškvietimas, kai aktyvi koordinatinių sistema G56);

G57 (perėjimas į koordinatinių sistemą G57);

M98 P3000 (paprogramės O3000 iškvietimas, kai aktyvi koordinatinių sistema G57);

G58 (perėjimas į koordinatinių sistemą G58);

M98 P3000 (paprogramės O3000 iškvietimas, kai aktyvi koordinatinių sistema G58);

G59 (perėjimas į koordinacijų sistemą G59);
 M98 P3000 (paprogramės O3000 iškvietimas, kai aktyvi koordinacijų sistema G59);
 G28 Z5.0 (suklio galvutės grąžinimas į staklių nulį pagal ašį Z per tašką, kuriame yra įrankis, tai yra Z5);
 M30 (programos pabaiga ir grąžinimas į pradžia);

O3000

(programos O64589 paprogramė);
 G00 X0.0 Y0.0 (greitasis judesys į aktyvios koordinacijų sistemos pradžia);
 G01 Z-15.0 F135.0 M08 (15 mm gylio skylės grėžimas taške X0 Y0 su 135 mm/min pastūma, įjungiamas TAS siurblys);
 G00 Z5.0 M09 (grąžto greitasis ištraukimas iš skylės 5 mm aukščiau virš detalės viršutinės plokštumos, TAS tiekimo nutraukimas);
 M99 (grįžimas į pagrindinę programą);

Pasikeitus nors vienos apdirbamos detalės padėčiai stalo atžvilgiu, programos taisyti nereikės, tik reikės nustatyti teisingas šios detalės koordinacijų sistemos pradžios kompensacijas G... (X) ir G... (Y) (9.3 pav.).

Naudoti kelias koordinacijų sistemas gali būti naudinga, pavyzdžiui, dirbant dviem pamainomis, kai stakles prižiūri du operatoriai, gaminantys skirtingas detales. Prie staklių stalo galima pritvirtinti du spaustuvus – kiekvienam darbininkui po vieną. Tokiu būdu kiekvienas darbininkas gali vieną kartą nustatyti savo kompensacijas ir dirbti savo koordinacijų sistemoje nekeičiant kito darbininko nustatymų.

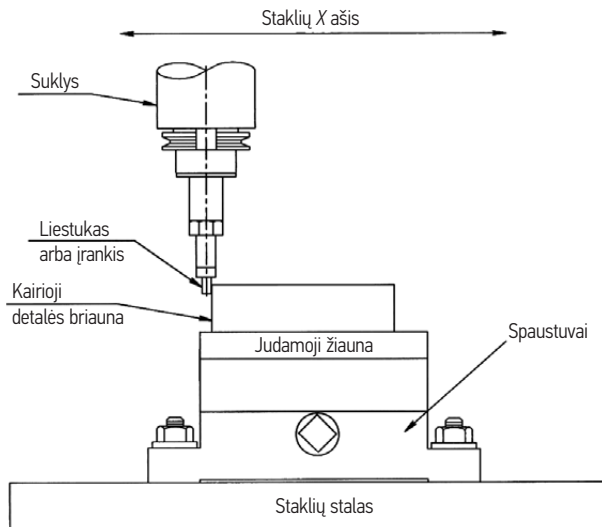
Staklių valdymo sistema neleidžia operatoriui dirbti savo (t. y. staklių) koordinacijų sistemoje (išskyrus atvejį, kai į ją pereinama kodu G53 programoje arba nurodytos nulinės kompensacijos), netgi paleidus programą, kurioje nenurodytas joks kodas iš G54–G59. Tokiu atveju, priklausomai nuo sistemos nustatymų, staklės liks G54 detalės koordinacijų sistemoje arba paskutinėje programoje pasirinktoje sistemoje. Dažniausiai pasirenkamas pirmasis variantas. Aktyvi sistema išliks išjungus stakles iš tinklo, po to vėl įjungus iš naujo. Iš tikrųjų staklės dirba savo koordinacijų sistemoje, t. y. staklių valdymo sistema, įvertinant kompensacijų reikšmes, perskaičiuoja judesio trajektorijos taškų koordinates, nurodytas detalės koordinacijų sistemoje, į staklių koordinacijų sistemos koordinates ir atlieka judesius joje. Operatorius staklių programinio valdymo įrenginio vaizduoklyje (9.4 pav.) gali pažiūrėti, kaip kinta įrankio atraminio taško koordinatės aktyvioje detalės (*Work*) ir staklių (*Machine*) koordinacijų sistemoje. Be to, operatorius dar gali stebėti atstumą, likusį iki užprogramuoto taško (*Dist to go*), kiekvienu laiko tarpsniu ir įrankio koordinates (*Operator*) iš kokio nors operatoriaus pasirinkto taško (tai neturi įtakos poslinkiams, tiesiog nuo jo atvaizduojamos įrankio koordinatės).

Toliau nagrinėjama, kaip nustatyti detalės kompensacijas ir kaip valdymo sistema perskaičiuoja taškų koordinates. Detalės koordinacijų sistemos pradžia nustatoma nurodžius atstumus G54(X) ir G54(Y) nuo jos iki staklių nulio, kaip parodyta 9.1 pav. Tai

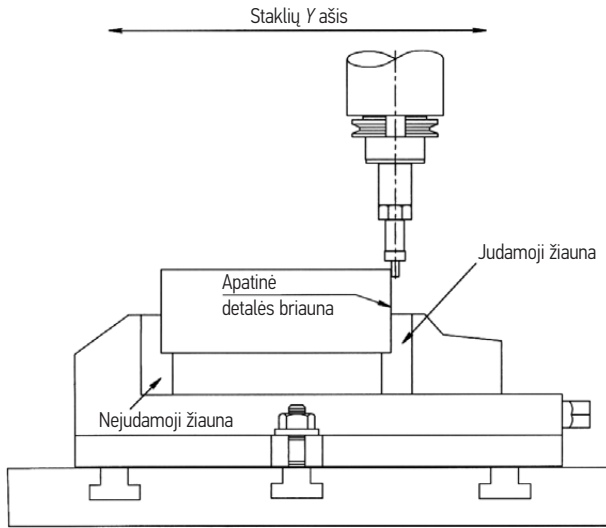
atlieka operatorius rankiniu staklių ašių poslinkių režimu (*Hand Jog*) fiziškai priartinęs ir prisilietęs specialiu liestuku, įstatomu į suklij vietoje įrankio, arba žinomo skersmens pjovimo įrankiu prie atitinkamų detalės šonų ir paspaudęs mygtuką *Part Zero Set* arba panašų, prieš tai nustatęs žymeklį tam tikroje detalės kompensacijų lentelės eilutėje ir stulpelyje. Pavyzdžiui, norėdamas 9.1 pav. pavaizduotai detalei suderinti stakles, operatorius turi prisiliesti liestuko arba įrankio (frezos, grąžto ir pan.) šoniniu paviršiumi prie kairiojo detalės šono (9.5 pav.) ir įrašyti kompensacijos reikšmę (ši reikšmė yra ne kas kita, kaip atstumas nuo staklių iki detalės nulio, išmatuotas pagal *X* ašį. Jį galima matyti vaizduoklyje, jo srityje, skirtoje staklių koordinatinių sistemos koordinatėms) į *G54* eilutės *X* ašies stulpelį. Po to jis analogiškai turi prisiliesti prie apatinio detalės šono (9.6 pav.) ir įrašyti nustatytą atstumą į tos pačios eilutės *Y* ašies stulpelį.

POSITION: (MM) JOG RATE 1.000				
OPERATOR	WORK	G 54	MACHINE	DIST TO GO
X	-428.000	0.000	-428.000	-428.000
Y	-200.000	0.000	-200.000	-200.000
Z	-103.119	-103.119	-103.119	-210.650

9.4 pav. „HAAS“ firmos CNC frezavimo staklių programinio valdymo įrenginio vaizduoklio dalis, kurioje vaizduojamos įrankio koordinatės įvairiose koordinatinių sistemose



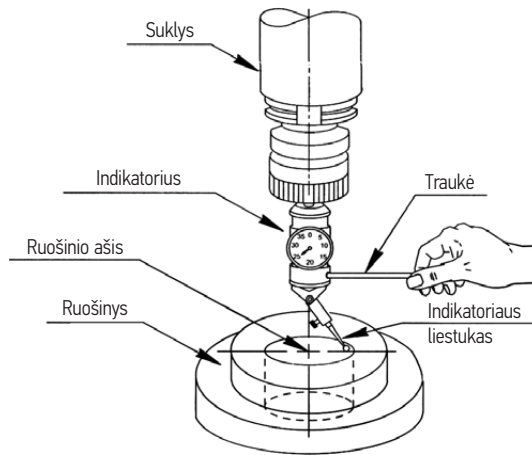
9.5 pav. Prizminės detalės koordinatinių sistemos pradžios *X* kompensacijos nustatymo schema (Quesada 2005)



9.6 pav. Prizminės detalės koordinacių sistemos pradžios Y kompensacijos nustatymo schema (Quesada 2005)

Prie kiekvieno iš atstumų reikia pridėti įrankio spindulį, norint gauti ne įrankio krašto, o įrankio (suklio) ašies koordinatę. 9.3 pav. pavaizduotam atvejui į atitinkamas kompensacijų lentelės eilutes G54–G59 reikia įrašyti kompensacijų reikšmes, kai įrankis XY plokštumoje yra pozicijoje, kurioje įrankio ašis sutampa su atitinkamos detalės ašimi. Detalė yra cilindrinė, todėl tam, kad įrankis atsidurtų šioje pozicijoje gana tiksliai, neužtenka tik prisiliesti prie šonų, reikia naudoti centro ieškiklį (9.7 pav.). Operatorius, stebėdamas indikatorius rodmenis ir valdydamas staklių stalo poslinkius, rankiniu režimu nustato jį į tokią padėtį suklio atžvilgiu, kad apvedus indikatorius liestuku vidinį arba išorinį cilindrinį paviršių, rodmenys nesikeistų. Tokiu būdu nustatomi atstumai tarp staklių ir detalės nulių arba koordinacių sistemų pradžių. Jie įvedami į lentelę (panašią į pavaizduotą 9.8 pav.) ir saugomi valdymo sistemos atmintyje. Kai programa nuskaito tam tikrą kodą (pavyzdžiui, G55, G58 ir pan.), atstumai iš atitinkamos kompensacijų lentelės eilutės bus pritaikyti perskaičiuojant nurodytas programoje koordinates.

G54, G55 ir kitos kompensacijos nustatomos pagal kiekvieną iš X ir Y ašių nuo staklių nulio iki detalės nulio (9.1 pav.), jokių būdu ne atvirksčiai. Daugumoje vertikaliųjų apdirbimo centrų X ir Y kompensacijos yra neigiamos (jeigu bazinis stalo taškas yra jo viršutiniame dešiniajame kampe), o Z ašies kompensacija dažniausiai iš viso nekeičiama (paliekama 0 reikšmė (9.8 pav.)). Detalės Z0 lygis nurodomas įrankių ilgių kompensacijomis, kurios bus aprašytos vėliau. Taigi detalės kompensacijų lentelė dažniausiai atrodo taip, kaip pavaizduota 9.8 pav. (*Work zero offset*). Šią lentelę „HAAS“ firmos valdymo įrenginyje galima iškviešti į ekraną mygtuku *OFFSET*



9.7 pav. Cilindro formos detalės koordinatinių sistemų pradžios X ir Y kompensacijos nustatymo schema (schemoje parodytas atvejis, kai apvedamas vidinis (skylės) paviršius, panašiai galima ieškoti centro apvedant ir išorinį paviršių) (Quesada 2005)

EDIT: LIST					
TOOL	COOLANT POSITION	H(LENGTH)		D(DIA)	
		GEOMETRY	WEAR	GEOMETRY	WEAR
1	0	-220.330	0.	32.000	0.
2	7	-208.960	0.	8.000	0.
3	10	-177.200	0.	0.	0.
4	6	-324.900	0.	4.000	0.
5	6	-320.900	0.	8.016	0.
6	8	-312.880	0.	7.000	0.
7	0	-277.300	0.	0.	0.
8	0	0.	0.	0.	0.
9	0	0.	0.	0.	0.
10	0	0.	0.	0.	0.

WORK ZERO OFFSET			
G CODE	X AXIS	Y AXIS	Z AXIS
G52	0.	0.	0.
G54	-428.000	-200.000	0.
G55	-380.770	-228.889	0.
G56	0.	0.	0.
G57	0.	0.	0.
G58	0.	0.	0.
G59	0.	0.	0.
G154 P1	0.	0.	0.
G154 P2	0.	0.	0.
G154 P3	0.	0.	0.

ENTER A VALUE

POSITION: (MM) MACHINE	LOAD	TIMERS & COUNTERS THIS CYCLE 00:00:00
---------------------------	------	--

9.8 pav. „HAAS“ firmos frezavimo staklių ar apdirbimo centrų detalės kompensacijų lentelės (apačioje) vaizdas valdymo įrenginio vaizduoklyje

(I dalis, 4.86 pav.). Lentelėje esančius skaičius galima redaguoti, pavyzdžiui, pridėti įrankio spindulį, įvesti naują kompensacijų reikšmę ir pan.

Programavimo praktikoje gero skonio ženklas – programoje nurodyti kodą G54 arba kitą, bet nepasitikėti priimtu pagal nustatytuosius parametrus, net jei staklėse visą laiką naudojama tik viena detalės koordinatinių sistemų, pavyzdžiui, G54, kaip dažnai

pasitaiko. To neatlikus, koordinacių sistema bus priimta pagal nustatytuosius parametrus – G54 arba paskutinė užprogramuota (priklauso nuo sistemos nustatymų). Staklėmis jokių būdu negalima dirbti be detalės koordinacių sistemos. Tačiau operatoriui bus paprasčiau tikrinti programą, kai kodas vis dėlto nurodytas. Bet kuriuo atveju teisingos kompensacijos turi būti įvestos į detalės kompensacijų lentelę, kitaip detalė bus blogai apdirbta arba gali įvykti avarija.

Programoje kodai G54–G59 gali būti nurodomi ir atskirose eilutėse, ir drauge su kitais kodais, dažniausiai programos pradžioje prieš judesio komandas. Kodai, kaip jau žinoma, yra modaliniai.

N1 G54;
N1 G17 G21 G90 G54;

Dažnai koordinacių sistemos pradžia nurodoma taip pat vienoje eilutėje su pirmo programoje pasirinkto įrankio pirmojo judesio komanda, pavyzdžiui, greitąjį įrankio judesį XY plokštumoje iki skylės centro (9.1 pav.) galima užprogramuoti taip:

G28 (grįžimas į staklių nulį pagal visas valdomas ašis);
T1 M06 (įrankis Nr. 1 iš dėtuvės įstatomas į suklij);
G90 G00 G54 X100.0 Y60.0 S2000 M03 (greitasis judesys XY plokštumoje į tašką X100 Y60 detalės koordinacių sistemoje G54, absoliučiosios koordinatės, suklys prieš judesį bus paleistas suktis pagal laikrodžio rodyklę, sukiai – 2000 suk./min);

Vykdamt paskutinę eilutę atraminis įrankio taškas (ašis) judės XY plokštumoje į tašką X100 Y60 detalės koordinacių sistemoje G54. Šios koordinatės bus atvaizduotos programinio valdymo įrenginio vaizduoklyje detalės koordinacių sistemos srityje (9.4 pav., *Work G54*). Iš tikrųjų judesiui atlikti staklių valdymo sistema atliks tokius aritmetinius veiksmus (tegu X ašies detalės kompensacija lentelės G54 eilutėje yra $-428,000$, o Y – $-200,000$, kaip parodyta 9.8 pav., suklys prieš judesį nustatytas į staklių nulinio padėtį pagal X ir Y ašis):

$$X = -428,000 + 100,000 = -328,000 \text{ mm}$$

$$Y = -200,000 + 60,000 = -140,000 \text{ mm}$$

Tokiu būdu valdymo sistema nustato, kad įrankio (ir suklio) atraminis taškas patektų į tašką X100,0 Y60,0 detalės koordinacių sistemoje G54, jis turi įveikti atstumus 328 ir 140 mm pagal X ir Y ašis atitinkamai neigiamosiomis šių ašių kryptimis. Sistema visada skaičiuoja atstumus, kuriuos reikia įveikti staklių koordinacių sistemoje, ir duoda komandą atlikti reikiamą sūkių skaičių atitinkamų koordinacių ašių pastūmų servovarikliams. Šie skaičiavimai dažniausiai nerūpi operatoriui, sistema atlieka juos be jo pagalbos.

Panagrinėsime, kas įvyktų, jeigu galinio judesio taško X ašies koordinatė per klaidą būtų nurodyta su neigiamu ženklu, tai yra:

G90 G00 G54 X-100.0 Y60.0 S2000 M03;

Atlikus skaičiavimus judesio ilgis iki užprogramuoto taško valdymo sistema būtų nustatytas taip:

$$X = -428,000 + (-100,000) = -428,000 - 100,000 = -528,00 \text{ mm.}$$

Įrankio ašis atsidurtų detalės koordinačių sistemos pradžios kairėje (9.1 pav.), 200 mm toliau negu reikia. Panaši situacija būna ir tada, kai kompensacijų lentelėje nurodyti neteisingi atstumai G54. Mūsų atveju suklio galvutė yra dar nustatyta į staklių nulį pagal Z ašį, todėl nieko blogo neįvyktų. Jeigu įrankis būtų arti detalės galo, jis galėtų užkabinti tvirtinimo įtaisą, detalės elementus ir pan. Šis pavyzdys dar kartą parodo, kokią reikšmę programuojant turi teisingai nurodytos koordinatės ir kompensacijos.

Jeigu įrankis judesio pradžioje būtų ne staklių nulio padėtyje pagal X ir Y ašis, o pavyzdžiui, taške X-75,5 Y-25,3 staklių koordinačių sistemoje sistema nustatytų reikiamą poslinkio dydį iki taško X100 Y60 detalės koordinačių sistemoje G54 taip:

$$X = -428,000 - (-75,500) + 100,000 = -252,500 \text{ mm,}$$

$$Y = -200,000 - (-25,300) + 60,000 = -114,700 \text{ mm.}$$

Jeigu vertikaliųjų frezavimo staklių nulis pagal X ir Y ašis yra dešiniajame viršutiniame stalo kampe, kaip parodyta 9.1 pav., a, įrankio poslinkiams pagal X ir Y ašis staklių koordinačių sistemoje nustatyti teisingos yra tokios formulės:

$$\Delta X = X_K - X_M + X_W, \quad (9.1)$$

$$\Delta Y = Y_K - Y_M + Y_W, \quad (9.2)$$

čia: ΔX , ΔY – poslinkiai pagal staklių ašis X ir Y, kuriuos reikia atlikti, kad įrankis patektų į tašką, kurio koordinatės detalės koordinačių sistemoje yra X_W ir Y_W ; X_K ir Y_K – detalės koordinačių sistemos pradžios kompensacijos pagal X ir Y ašis atitinkamai (neigiamieji dydžiai); X_M ir Y_M – įrankio pradinės koordinatės staklių koordinačių sistemoje; X_W ir Y_W – taško, į kurį reikia nukreipti įrankį, koordinatės detalės koordinačių sistemoje.

Norint užprogramuoti įrankio greitojo pozicionavimo judesį iki skylės centro (9.1 pav.) detalės koordinačių sistemoje G55 (9.2 pav.) programos fragmentas atrodys taip:

G28 (grįžimas į nulį pagal visas valdomas ašis);

T1 M06 (įrankis Nr. 1 iš dėtuvės įstatomas į sukli);

G90 G00 G55 X100.0 Y10.0 S2000 M03 (greitasis judesys XY plokštumoje į tašką X100 Y10 detalės koordinačių sistemoje G55, absoliučiosios koordinatės, suklys prieš judesį bus paleistas suktis pagal laikrodžio rodyklę, sukiai – 2000 suk./min);

Tokiu atveju į kompensacijų lentelės (9.8 pav.) eilutę G55 turi būti įvesti atstumai iki koordinačių sistemos G55 pradžios pagal X ir Y ašis. Iš 9.2 pav. galima matyti, kad pagal X ašį atstumas išlieka toks pat, t. y. -428 mm, o pradžios G55 Y koordinatė per-

sikėlė 50 mm arčiau staklių nulio. Todėl tam, kad judesys būtų atliktas iki skylės centro, detalės koordinacių sistemoje reikia įvesti (arba nustatyti prisilietimo metodu (9.5, 9.6 pav.) į G55 eilutę naujas kompensacijų reikšmes: X-428.000 Y-150.000 (-200 + 50).

Jau minėjome, kad frezavimo staklėse detalės koordinacių sistemos pradžia nustatoma dažniausiai tik X ir Y ašims. Z ašies kompensacija paprastai yra lygi nuliui, o įrankių išsikišimų ilgiai (atstumai nuo suklio galo (suklio galvutės atraminis taškas) ir įrankio galo (įrankio atraminis taškas)) kompensuojami ilgių kompensacijomis kodais G43 H... arba G44 H... (žr. 9.2.1 skirsnį). Todėl detalės koordinacių sistemų kompensacijų lentelėje dažniausiai galima pamatyti tokį vaizdą:

(G54) X-226.15 Y-155.14 Z0.0

(G55) X-186.55 Y-126.52 Z0.0

(G56) X-.... Y-... Z0.0

(G57) X-... Y-... Z0.0

...

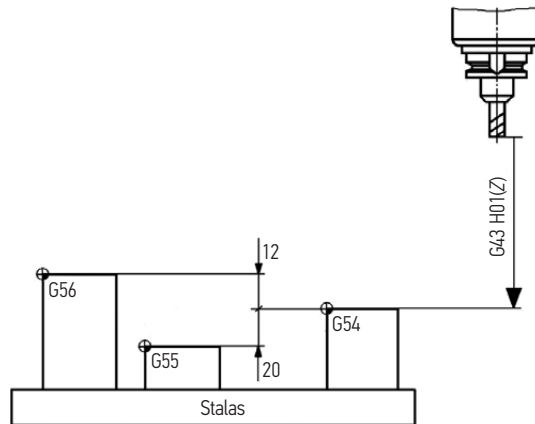
Kyla klausimas – kodėl negalima surišti kompensacijomis staklių ir detalės koordinacių sistemų pradžių Z ašies kryptimi? Tai padaryti būtų galima vienu atveju – jeigu būtų apdirbama tik vienu įrankiu. Tačiau programoje dažniausiai naudojami keli įrankiai, kurie skirtingu dydžiu iškišti iš laikiklio. Atstumai nuo kiekvieno įrankio galo iki detalės Z nulio yra skirtingi, todėl jie valdomi įrankio ilgių kompensacijomis, kurios bus aptartos vėliau. Galima nustatyti vieną koordinacių sistemos pradžių visiems programoje naudojamiems įrankiams (frezavimo staklėse, kaip žinoma, naudojami ašiniai įrankiai, besisukantys apie savo ašis, todėl imamas atstumas iki įrankio (suklio) ašies, kurios padėtis yra vienoda visiems įrankiams suklyje) tik XY plokštumoje. Tokiu būdu galima valdyti įrankio ašies poslinkius XY plokštumoje, o tai labai patogu. Įrankių (frezų, grąžtų ir kitų ašinių įrankių) skersmuo yra žinomas, todėl visada nesunku, kai reikia nukreipti įrankį už detalės ribų, pridėti arba atimti iš koordinacių reikšmių įrankio spindulį. Z stulpelis detalės kompensacijų lentelėje (9.8 pav.) yra paliktas vis dėlto ne veltui ir kartais jo reikšmėmis kompensuojama papildomai, dažniausiai tada, kai apdirbamos skirtingų aukščių detalės pagal vieną programą. Taip galima „pakelti“ arba „nuleisti“ Z0 plokštumą visiems programoje naudojamiems įrankiams vienodu atstumu. Tai yra ne vienintelis sprendimas, kaip bus parodyta tolesniuose poskyriuose, tačiau vienas iš efektyviausių.

9.9 pav. parodytas atvejis, kai įrankis susietas su viršutine detalės plokštuma pagal Z ašį viena ilgio kompensacija. Jos reikšmė (G43 H01(Z), 9.9 pav.) saugoma pirmoje (H01) ilgių kompensacijų lentelės eilutėje ir naudojama skirtingo aukščio detalėms, pastatytoms ant stalo, apdirbti. Detalių aukščių skirtumai yra žinomi ir sudaro 12 ir 20 mm. Detalės kompensacijų lentelė šiuo atveju atrodytų taip:

(G54) X-... Y-... Z0.000

(G55) X-... Y-... Z-20.000

(G56) X-... Y-... Z12.000



9.9 pav. Skirtingų aukščių detalių apdirbimas pagal vieną programą vertikaliomis frezavimo staklėmis (Smid 2003)

Vykdamt toliau pateiktus programos fragmentus, įrankio viršūnė atsidurs 5 mm aukščiau atitinkamai pirmos (G54), antros (G55) ir trečios (G56) detalės viršutinių plokštumų, nepaisant to, kad visur naudojama tik viena ilgio kompensacijos reikšmė.

...; G90 G54; G00 G43 Z5.0 H01; ...;	...; G90 G55; G00 G43 Z5.0 H01; ...;	...; G90 G56; G00 G43 Z5.0 H01; ...;
---	---	---

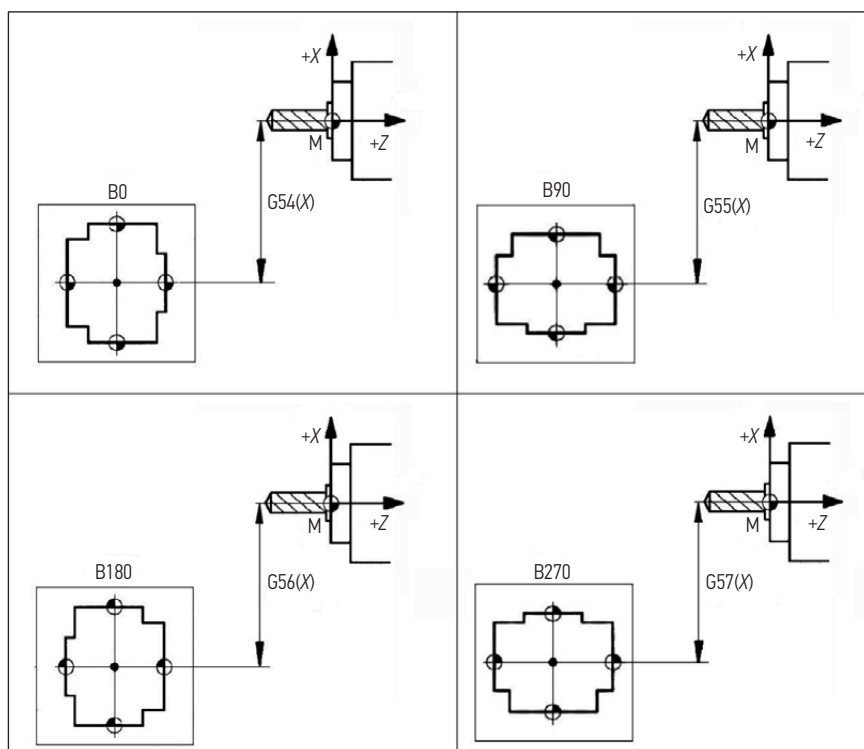
Įrankio galas, norint patekti į tašką Z5 virš kiekvienos detalės, turi įveikti skirtingo dydžio atstumus Z ašies kryptimi. Jeigu suklio galvutė yra staklių nulyje, o ilgio kompensacijos (atstumas nuo įrankio galo iki detalės galo) reikšmė, esanti H01, yra $-150,5$ mm, jeigu aktyvi koordinacių sistema G54, įrankis Z ašies kryptimi pajudės $-150,5 + 5 + 0 = -145,5$ mm atstumu, įrankio galas atsidurs plokštumoje, esančioje 5 mm aukščiau detalės G54 galo. Kai aktyvi koordinacių sistema G55, $-150,5 + 5 - 20 = -165,5$ mm atstumu, įrankio galas atsidurs plokštumoje, esančioje 5 mm aukščiau detalės G55 galo. Kai aktyvi koordinacių sistema G56, $-150,5 + 5 + 12 = -133,5$ mm atstumu, įrankio galas atsidurs 5 mm aukščiau G56 detalės galo. Palikus detalės kompensacijų lentelės Z stulpelyje nulius, įrankio galas patekti į tuos pačius taškus, nutolusius nuo detalių viršutinių plokštumų vienodu 5 mm atstumu, galėtų, pavyzdžiui, nurodžius jų Z koordinates G54 detalės atžvilgiu, t. y. įvertinant detalių aukščių skirtumus:

...; G90 G54; G00 G43 Z5.0 H01; ...;	...; G90 G55; G00 G43 Z-15.0 H01; ...;	...; G90 G56; G00 G43 Z17.0 H01; ...;
---	---	--

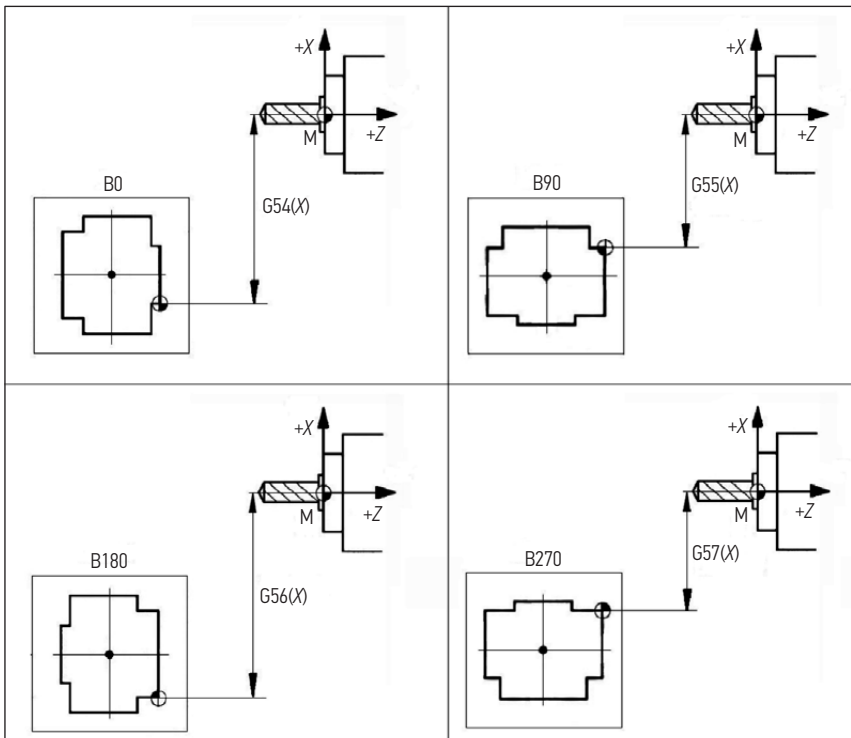
Gana nesudėtingas ir šis variantas. Yra dar ir kitų, todėl įvertinant aukščių skirtumus kitais būdais dažnai Z stulpelyje paliekami nuliai.

Horizontaliosios frezavimo staklės ir horizontalieji apdirbimo centrai

Panašiai kaip ir su vertikaliomis frezavimo staklėmis ir apdirbimo centrais, detalės koordinacių sistemos pradžia nustatoma ir horizontaliuosiuose apdirbimo centruose. Apdirbant kelis detalės šonus tokiomis staklėmis, dažniausiai neapsiribojama viena detalės koordinacių sistema. Kiekvienoje pasukamo stalo kampinėje padėtyje nustatoma sava koordinacių sistema iš G54–G59 ir, jeigu neužtenka, iš papildomų, pavyzdžiui, G110–G129 („HAAS“). Detalės koordinacių sistemos pradžia X ir Y ašims (2.5 pav., b) dažniausiai nustatoma taške, esančiame ant pasukamo stalo ašies (B ašis) ir detalės apatinės arba viršutinės briaunos, arba kokiame nors kitame prisilietis patogiam detalės šono taške. Pirmuoju atveju schema parodyta 9.10 pav., antruoju – 9.11 pav. Kiekvienos koordinacių sistemos pradžiai nustatyti stalas pasukamas kampu, kurio dydis priklauso nuo detalės konfigūracijos. Z ašies pradžia dažniausiai apibrėžiama įrankių ilgių kompensacijomis ir nustatoma kiekvienam programoje



9.10 pav. Horizontaliojo apdirbimo centro detalės koordinacių sistemos G54–G57, kurių X ašies pradžios sutampa su pasukamo stalo ašimi (parodytas vaizdas iš viršaus, Y ašis nematoma)



9.11 pav. Horizontaliojo apdirbimo centro detalės koordinatinių sistemų G54–G57, kurių pradžios nesutampa su pasukamo stalo ašimi (parodytas vaizdas iš viršaus, Y ašis nematoma)

naudojamam įrankiui dvejopai – arba ant pasukamo stalo ašies, arba ant kiekvieno detalės šono plokštumos. Pirmuoju atveju Z koordinatinių skirtumas tarp detalės šonų kompensuojamas programoje nurodytomis Z koordinatėmis, antruoju atveju galima naudoti skirtingas įrankio ilgių kompensacijas arba detalės koordinatinių sistemų Z kompensacijas (dažniausiai), panašiai kaip tai buvo daroma vertikaliuosiose frezavimo staklėse (9.9 pav.).

Tekinimo staklės

Tekinimo staklėse galima naudoti tas pačias detalių koordinatinių sistemas, kaip ir frezavimo staklėse. Visi kodai G54–G59, G54.1 P... („Fanuc“), G110–G129 („HAAS“), G154 P... („HAAS“) galioja ir joms, tačiau dažniausiai užtenka tik vienos koordinatinių sistemų, todėl joks kodas iš G54–G59 arba kitų paprastai nenurodomas, o darbas pagal nustatytuosius parametrus vyksta G54 koordinatinių sistemoje.

Kalbant apie tekinimo stakles reikia paminėti esminius skirtumus tarp jų ir frezavimo staklių. Tekinimo staklėmis dažniausiai dirbama vienoje koordinatinių sistemoje G54, tačiau lentelėje ties visomis ašimis paliekami nuliai (9.12 pav.), o atstumai iki de-

talės koordinacių pradžios kompensuojami *įrankių ilgių* arba dar vadinamomis *įrankių geometrijos kompensacijomis* (*Geometry Offsets*). Šios kompensacijos bus apžvelgtos 9.2.1 skirsnyje. Jos yra ne kas kita, kaip atstumai nuo staklių nulio iki detalės nulio, išmatuoti pagal X ir Z ašis staklių koordinacių sistemoje, pridedant prie jų įrankių atraminių taškų (viršūnių) išsikišimų iš revolverinės galvutės dydžius. Tekinant sukasi ruošinys, o peilio viršūnė juda plokštumoje ZX , todėl peilio ilgio kompensacijų visiškai užtenka detalės koordinacių sistemos pradžiai (kuri beveik visais atvejais yra detalės ašies ir galinės plokštumos susikirtimo taškas) plokštumoje ZX apibrėžti, skirtingai nuo frezavimo staklių, kur reikia nustatyti pradžios padėtį erdvėje XYZ . Frezavimo staklėse naudojami ašiniai įrankiai (pirštinės frezos, grąžtai ir pan.), kurių ašies judėjimo trajektorija XY plokštumoje yra valdoma programa ir jų skersmuo yra žinomas, todėl detalės nulio X ir Y koordinatės yra vienodos visiems įrankiams. Tekinimo staklėse įrankiai skirtingais ilgiais išsikišę iš revolverinės galvutės lizdų ir iškyšų dydžiai yra nežinomi. Todėl operatorius, iškvietęs kiekvieną įrankį į darbo poziciją, jo viršūne prisiliečia prie detalės nulio Z ir X ašių kryptimis ir registruoja atstumus pagal kiekvieną ašį geometrijos kompensacijų lentelėje. Daugumoje tekimo staklių šių kompensacijų reikšmės yra neigiamos.

Nepaisant to, tekimo staklėse lieka detalės kompensacijų lentelė, ji kartais naudojama. Tekinant detalės kompensacijomis visiems įrankiams galima pastumti detalės nulį, kuris nustatytas ilgių kompensacijomis. Dažniausiai tai daroma Z ašies kryptimi. Pavyzdžiui, yra dvejų rūšių detalės (ilgesnė ir trumpesnė, 9.13 pav.), kurios apdirbamos pagal vieną programą, nes jų matmenys nuo detalės nulio yra tos pačios, skiriasi tik ilgiai. Keičiant detales naudojama atrama staklių griebtuve, todėl ilgio kompensacijos nustatomos vieną kartą ir nekeičiamos. Tegul įrankių ilgių kompensacijos nustatytos tada, kai griebtuve užspausta trumpesnė detalė. Įstatant ilgesnę detalę matoma, kad detalės nulis persikėlė 8 mm į dešinę nuo tos padėties, kai griebtuve buvo trumpa detalė, pagal kurią buvo derinami įrankiai. Šį skirtumą galima kompensuoti detalės Z

ENTER A VALUE - F2 FOR X OFFSET TO CENTER LINE			
G CODE	WORK ZERO OFFSET		
	X AXIS	Z AXIS	
G52	0.	0.	
G54	0.	0.	
G55	0.	0.	
G56	0.	0.	
G57	0.	0.	
G58	0.	0.	
G59	0.	0.	
G154 P1	0.	0.	
G154 P2	0.	0.	
G154 P3	0.	0.	

9.12 pav. „HAAS“ firmos CNC tekimo staklių detalės kompensacijų lentelės vaizdas valdymo įrenginio vaizduoklyje

ašies kompensacija, įvedant į G54 eilutės Z stulpelį (9.12 pav.) reikšmę 8.000. Detalės nulis persikels į naują vietą ir nereikės derinti įrankių iš naujo. Apdirbant trumpas detalės reikšmę 8.000 reikia vėl ištaisyti į 0.000.

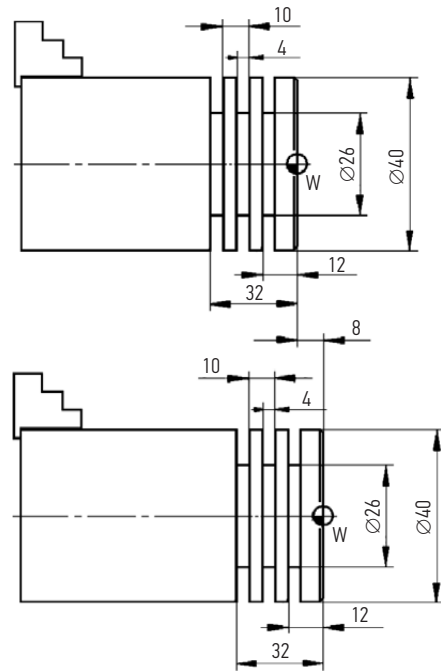
Detalės koordinacių sistemos pradžios kompensacijos (Z ašies kryptimi) tekini- mo staklėse taip pat naudojamos derinant įrankį specialiu staklių derinimo įtaisu (9.29 pav.).

9.1.2. Lokalinė detalės koordinacių sistema

Apdirbant CNC staklėmis (dažniausiai frezavimo) pasitaiko atvejų, kai dirbti nustatytoje G54–G59 kodais koordinacių sistemoje yra nepatogu. Pavyzdžiui, reikia apdirbti 9.14 pav. pavaizduotą detalę ir išgręžti joje skylių masyvą. Jeigu detalė būtų cilindrinė, jos (programos) nulį XY plokštumoje būtų galima pasirinkti detalės ašyje ir, naudojant centro iešiklį, nustatyti jo padėtį staklių koordinacių sistemoje, paskui įrašyti atstumus iki jo į staklių valdymo sistemos atmintį detalių koordinacių sistemų kompensacijų lentelės eilutėje, pavyzdžiui, G54. Šiuo atveju detalę patogiau frezuoti iš šonų, kai jos koordinacių sistemos pradžia išdėstyta kampe, o detalės skylių masyvą patogiau apdirbti, kai koordinacių sistemos pradžia yra masyvo centre. Tokia schema yra ne vienintelė, galima tiesiog perskaičiuoti skylių koordinates nuo krašto, tačiau tam reikia atlikti tam tikrus skaičiavimus. Be abejo, galima sukurti dvi koordinacių sistemas – G54 ir G55 – ir gręžiant skyles pereiti į koordinacių sistemą G55. Tačiau tada reikia nurodyti atstumus iki jos pradžios, o tai atlikti yra gana nepatogu, nes ši koordinacių sistemos pradžia kaip taškas neegzistuoja. Prie jos negalima prisiliesti įrankiais, sistemos pradžią galima nustatyti tik netiesioginiu būdu prie G54 sistemos pradžios koordinacių pridendant atstumus iki skylių masyvo centro.

Kita situacija bus, kai visos šešios koordinacių sistemos G54–G59 jau naudojamos programoje ir valdymo sistema gali naudoti tik šias sistemas (nėra papildomų, jungiamų kodais G54.1 P... arba kitais).

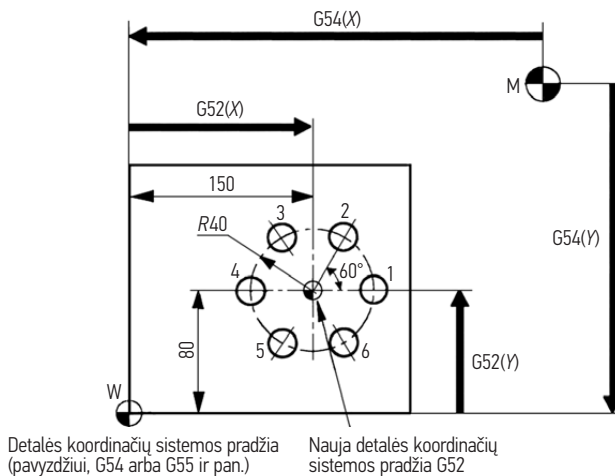
Tokiais ir panašiais atvejais galima naudoti dar vieną metodą – lokalinę koordinacių sistemą, kuri leidžia detalės koordinacių sistemos pradžią perkelti pačioje progra-



9.13 pav. Skirtingo ilgio detalių, pastatytų nuo atramos tekini- mo staklių griebtuve, koordinacių sistemos ir matmenys

moje (bet kurioje jos vietoje), o ne staklių derinimo metu. Pažymėtina, kad šios sistemos (jų galima naudoti daug) yra tik pasirinktos sistemos (pavyzdžiui, G54 arba G56) antrinės sistemos, jas galima programuoti tik tada, kai yra užprogramuota pagrindinė sistema (pvz., G54, G55 arba kita). Pažymėtina, kad dauguma programuotojų dažnai nenaudoja lokalinės koordinatinių sistemų, apsiribodami kitais metodais (pavyzdžiui, pasirenka kitą koordinatinių sistemą).

Lokalinė koordinatinių sistema ir frezavimo, ir tekimo (kur praktiškai nenaudojama) staklėse bei apdirbimo centruose programuojama kodu G52. Šis kodas visada nurodomas po koordinatinių sistemų kodų G54, G55 ir t. t., pirmiausia turi būti apibrėžta pagrindinė sistema (9.14 pav.).



9.14 pav. Apdirbamos ant vertikaliojo apdirbimo centro stalo (plokštuma XY) detalės pagrindinė ir lokalinė koordinatinių sistemų

Po kodo G52 nurodomos naujos koordinatinių sistemų pradžios koordinatės aktyvioje pagrindinėje detalės koordinatinių sistemoje. Pavyzdžiui, šešių skylių masivo atveju (9.14 pav.) programos fragmentas atrodys taip:

...;

N15 G90 G54 G00 X0.0 Y0.0 (greitasis įrankio pozicionavimas XY plokštumoje virš koordinatinių sistemų G54 pradžios – detalės kampo);

N20 G52 X150.0 Y80.0 (naujo detalės nulio skylių masivo centre nustatymas);

N25 X40.0 Y0.0 (greitasis grąžto pozicionavimas virš pirmos skylės centro, koordinatės atskaitomos jau nuo naujo detalės nulio);

N30 G43 H01 Z5.0 M08 (greitasis grąžto nuleidimas 5 mm aukščiau Z0 (viršutinė plokštuma), pritaikoma ilgio kompensacija iš 1-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės, prieš judesį pradeda tiekėti TAS);

N35 G01 Z-10.0 F155.0 (skylės gręžimas 10 mm gyliu nuo detalės viršutinės plokštumos su 155 mm/min pastūma);

N40 G00 Z5.0 (greitasis grąžto atitraukimas į pradinę Z poziciją prieš gręžiant);
 N45 X20.0 Y34.641 (greitasis grąžto pozicionavimas virš antros skylės centro);
 N50 G01 Z-10.0 (skylės gręžimas 10 mm gyliu nuo detalės viršutinės plokštumos su 155 mm/min pastūma);
 N55 G00 Z5.0 (greitasis grąžto atitraukimas į pradinę Z poziciją prieš gręžiant);
 N60 X-20.0 Y34.641 (greitasis grąžto pozicionavimas virš trečios skylės centro);
 N65 G01 Z-10.0 (skylės gręžimas 10 mm gyliu nuo detalės viršutinės plokštumos su 155 mm/min pastūma);
 N70 G00 Z5.0 (greitasis grąžto atitraukimas į pradinę Z poziciją prieš gręžiant);
 N75 X-40.0 (greitasis grąžto pozicionavimas virš ketvirtos skylės centro);
 ...;
 ...;
 N105 G52 X0.0 Y0.0 (nauji lokalinės koordinačių sistemos nuliniai poslinkiai, t. y. grįžimas į G54 koordinačių sistemą);
 N110 G00 X0.0 Y0.0 (greitasis įrankio pozicionavimas XY plokštumoje virš koordinačių sistemos G54 pradžios – detalės kampo);
 ... (programos tęsinys);

Kodas G52 yra nemodalinis, be jo lokalinės koordinačių sistemos padėtis negali būti pakeista. Po G52 nurodžius lokalinės koordinačių sistemos pradžios koordinates pagal X , Y ašis (galima ir pagal Z , A , B) nuo šios programos vietos, jos pateks į kompensacijų lentelės (9.8, 9.12 pav.) G52 eilutę ir bus pridėtos prie aktyvios detalės koordinačių sistemos pradžios kompensacijų. Skaičiuojant įrankio koordinates staklių koordinačių sistemoje pagal (9.1)–(9.2) formules bus pridėti ir koordinačių sistemos poslinkiai $G52(X)$ ir $G52(Y)$. Nuo kodo G52 eilutės įrankio koordinatės detalės koordinačių sistemoje bus atvaizduojamos vaizduoklyje jau nuo naujos kodo G52 nustatytos pradžios. Norint grįžti į aktyvią koordinačių sistemą (pvz., G54) reikia nurodyti tą patį kodą G52 ir po jo koordinačių sistemos pradžios atitinkamų ašių adresus su nulinėmis reikšmėmis, kaip anksčiau pateiktame programos fragmente. Po atšaukimo įrankis vykdys visus programuotus poslinkius jau pagrindinėje koordinačių sistemoje, t. y. G54 arba kitoje aktyvioje. Poslinkiai G52 taps nulinais taip pat pasiekus programos pabaigos kodą (M30), priverstinai sustabdžius programą mygtuku *Emergency Stop* ir pan. Stebėti koordinačių pradžios perstūmimo dydžius galima kompensacijų lentelėje valdymo įrenginio vaizduoklyje (pvz., HAAS firmos staklių parodytas 9.8, 9.12 pav.) eilutėje G52.

Minėta, kad mūsų atveju (9.14 pav.) programuotojas programoje gali tiesiog nurodyti skylių koordinates nuo detalės kampo, pridėjęs arba atėmęs atstumus, apskaičiuotus pagal skylių masyvo spindulį ir skylių išdėstymo kampą naudojant trigonometrines funkcijas. Pavyzdžiui, 1-os skylės koordinatės sistemoje G54 neperstumiant jos pradžios būtų $X(150+40)$ $Y(80)$, 2-os skylės koordinatės šioje sistemoje būtų $X(150+20)$ $Y(80+34,641)$, 3-ios skylės – $X(150-20)$ $Y(80+34,641)$. Be to, galima naudoti kitą koordinačių sistemą (pvz., G55), įrašant į detalės kompensacijų lentelės G55 eilutę tokius

pat atstumus, kaip ir iki pirmos koordinacių sistemos G54 pradžios, prie jų pridėjus atstumus 150 mm ir 80 mm pagal X ir Y ašis atitinkamai. Tada galima dirbti G55 koordinacių sistemoje, užrašius eilutę N20 taip:

G55 G00 X0.0 Y0.0 (greitasis įrankio judesys XY plokštumoje į skylės masyvo centrą – koordinacių sistemos G55 pradžią);

Tokie metodai taip pat yra teisingi, tačiau reikia apžvelgti visus įmanomus metodus, o operatorius gali pasirinkti jam suprantamiausią ir tinkamiausią, turėdamas vienintelį tikslą – išvengti programavimo klaidų. Duotuoju atveju skylių masyvo centro koordinatės (X150 Y80) ir spindulys (R40) yra be trupmeninės dalies, aritmetines operacijas atlikti su tokiais skaičiais yra nesunku be skaičiavimo priemonių. Tačiau jeigu skylės masyvo centro koordinatės būtų, pvz., X150,572 ir Y80,639, o spindulio reikšmė R40,258?

Tokiu būdu, naudodamas lokalinę koordinacių sistemą, operatorius programoje gali turėti begalybę koordinacių sistemų, nekeisdamas pagrindinių (G54–G59) ir papildomų koordinacių sistemų pradžių kompensacijų.

Paminėtina, kad „HAAS“ firmos frezavimo staklėse kodas G52 naudojamas lokalinės koordinacių sistemos pradžiai nustatyti tik tada, kai sistemos 33-iasis nustatymas *Coordinate System* yra nustatytas „Fanuc“ arba „HAAS“. Jeigu jis yra nustatytas „Yasnac“, kodas G52 tampa dar vienos, tokios pat kaip ir G54–G59, koordinacių sistemos pradžios modaliniu kodu (12 grupės) ir gali būti naudojamas programose kaip ir G54–G59. Tokiu atveju eilutėje G52 (9.8, 9.12 pav.) saugomi atstumai nuo staklių nulio iki koordinacių sistemos pradžios, kompensacijų reikšmės netampa nulinėmis išjungus stakles iš elektros tinklo.

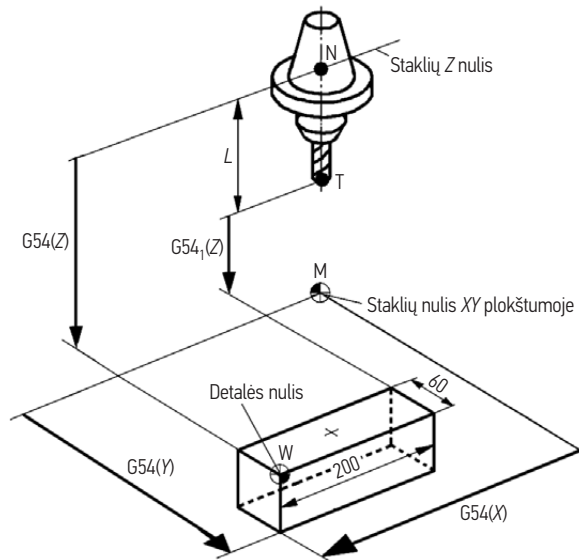
9.2. Įrankių kompensacijos

9.2.1. Įrankių ilgių kompensacijos

Vertikaliosios frezavimo staklės ir vertikalieji apdirbimo centrai

Įrankių *ilgių kompensacijos* naudojamos frezavimo staklėse (tekinimo staklėse panašias funkcijas atlieka vadinamosios įrankių *geometrijos kompensacijos*). Šios kompensacijos naudojamos norint valdyti įrankio atraminio taško (ašies ir galo susikirtimo taškas) poslinkius Z ašies kryptimi. Jau susipažinome, kaip valdyti įrankio ašies poslinkius X ir Y ašių kryptimis. Žinome, kad derindamas stakles operatorius nustato detalės koordinacių sistemos (G54–G59 ir papildomų) pradžią XY plokštumoje, nuo kurios programoje nurodomos įrankio judesio trajektorijos taškų koordinatės. Frezavimo staklėse naudojami ašiniai žinomo skersmens įrankiai (frezos, grąžtai ir pan.), todėl detalės koordinacių sistemos pradžios X ir Y koordinatės staklių koordinacių sistemoje yra pastovios visiems programoje naudojamiems įrankiams, tik neaišku, kaip yra su Z koordinate, nes suklyje naudojami skirtingo ilgio įrankiai. Įsivaizduokite tokią

situaciją. Prie vertikaliųjų frezavimo staklių stalo pritvirtinti spaustuvai su ruošiniu, kurio galinė plokštuma turi būti apdirbta galine freza ir šios plokštumos viduryje turi būti išgręžta skylė spiraliniu grąžtu (9.15 pav.). Derintojas nustatė detalės koordinatinių sistemos pradžią viename iš detalės kampų ir galinėje plokštumoje (prisilietimo būdu pagal ašis X , Y ir Z), kaip parodyta 9.5–9.6 pav. Tam jis iškvietė žinomo skersmens įrankį iš dėtuvės, prisilietė jį prie kairiojo detalės šono, įrašė kompensacijos reikšmę ($G54(X)$, 9.15 pav.) į kompensacijų lentelės $G54$ eilutės X stulpelį, pridėjo įrankio spindulį prie reikšmės. Tą patį jis atliko prisilietęs prie priekinio šono ir įrašęs į lentelės Y stulpelį atstumą $G54(Y)$. Tokiu būdu įrankio (arba suklio, jų ašys sutampa) ašis dabar „žino“, kur yra detalės nulis XY plokštumoje. Atstumus nuo staklių iki detalės nulio valdymo sistema gali visada nuskaityti iš detalės kompensacijų lentelės eilutės $G54$. Derintojui lieka tik „pririšti“ prie detalės nulio įrankį pagal Z ašį. Jam reikia nuspręsti, kokio įrankio taško trajektoriją reikia valdyti. Kaip žinoma, suklio junginio atraminis taškas, kurio padėtis valdoma staklių koordinatinių sistemoje, yra jo ašies ir galo susikirtimo taškas (2.7, 9.15 pav., taškas N). Bandysime priderinti šį tašką prie detalės Z ašies pradžios ir pažiūrėsime, kuo tai baigsis. Nuleidžiame suklio galvutę neigiamą Z ašies kryptimi ir prisiliečiame prie detalės viršutinės plokštumos suklio galu (naudosime žinomo storio matavimo plyteles, kurias padėsime ant detalės paviršiaus, kad netrukdytų suklio iškyšos) ir įrašysime neigiamą atstumą $G54(Z)$ nuo staklių Z nulio iki detalės Z nulio (9.15 pav.) į kompensacijų lentelės $G54$ eilutės Z stulpelį (9.8 pav.). Parengsime programą, kurioje 40 mm skersmens galine freza nuimsime nuo detalės viršutinės plokštumos 2 mm storio sluoksnį ir grąžtu išgręšime 10 mm gylio skylę detalės viršutinėje plokštumoje įstrižainių susikirtimo taške.



9.15 pav. Apdirbama detalė ir jos koordinatinių pradžių W kompensacijos

Sakykime, ruošinio matmenys (ilgis×plotis) yra 200×60 mm. Norint nufrezuoti galinę plokštumą reikia iš dėtuvės iškviesti galinę frežą, pagreitintai ją nustatyti į tašką X–25 Y10 Z2 detalės koordinacių sistemoje. Reikia, kad freza įsipjautų 2 mm giliau, negu yra ruošinio galinė plokštuma, už ruošinio ribų, todėl įvertinant frezos spindulį paliekamas 5 mm saugos tarpelis, t. y. X koordinatė yra –25, o ne –20. Po to frezos viršūnė nuleidžiama į darbinį gylį pagal Z ašį (2 mm nuo ruošinio viršutinės plokštumos (Z0)) ir frezuojama dviem išilginėmis eigomis (vienos eigos neužtenka, frezos skersmuo – tik 40 mm, o detalės plotis – 60 mm). Įrankiui suteikiamas judesys darbinės pastūmos greičiu pagal X ašį, Y ašį ir vėl X ašį. Po to freza pakeičiama grąžtu, jis nukreipiamas į tašką X100 Y30 Z0 (paliekamas 2 mm saugumo tarpelis tarp grąžto galo ir detalės), gręžiama 10 mm gilyn tiesinės interpoliacijos judesiu ir pagreitintai ištraukiamas grąžtas. Programa pateikta toliau.

012345

(programa frezuoti ir gręžti);

N01 T01 M06 (pasirenkama galinė freza, kurios numeris dėtuveje yra Nr. 1);

N02 G90 G54 G00 X–25.0 Y10.0 (absoliučiosios koordinatės, koordinacių sistema G54, greitis pozicionavimas už detalės ribų pagal X ašį);

N03 S3000 M03 (paleidžiamas sukis pagal laikrodžio rodyklę suklys, sukiai – 3000 suk./min);

N04 Z??? M08 (pagreitintas frezos nuleidimas 2 mm aukščiau virš ruošinio viršutinės plokštumos Z ašies kryptimi, pradeda į pjovimo zoną tiekti TAS);

N05 G01 Z??? F150.0 (frezos atraminio taško nuleidimas į darbinį gylį 2 mm su 150 mm/min pastūma);

N06 X205.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi, kurio metu bus pašalintas 2 mm storio sluoksnis nuo viršutinės plokštumos);

N07 Y45.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi, kad po frezos pjovimo briaunomis atsidurtų naujas nuimamos medžiagos sluoksnis);

N08 X–22.0 (eiga X ašies kryptimi, kurios metu bus iki galo nufrezuotas detalės paviršius);

N09 Z??? M09 (įrankio atitraukimas 2 mm aukščiau detalės paviršiaus su 150 mm/min pastūma, judesio pabaigoje nutraukiamas TAS tiekimas);

N10 T02 M06 (iš dėtuvės imamas spiralinis grąžtas, jo dėtuvės numeris yra Nr. 2, suklio galvutė automatiškai grįžta į staklių nulį pagal Z ašį);

N11 G00 X100.0 Y30.0 S2000 M03 (grąžtas pagreitintai pozicionuojamas virš skylės centro, suklys pradeda sukis pagal laikrodžio rodyklę 2000 suk./min greičiu);

N12 Z??? M08 (greitis grąžto atraminio taško (galo) nuleidimas 2 mm aukščiau virš detalės viršutinės plokštumos, į pjovimo zoną pradedamas tiekti TAS);

N13 G01 Z??? F100.0 (10 mm gylio skylės gręžimas nuo nufrezuotos viršutinės plokštumos su 100 mm/min pastūma);

N14 G00 Z??? M09 (greitis grąžto ištraukimas į pradinę Z poziciją 2 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos, nutraukiamas TAS tiekimas į pjovimo zoną);

N15 G28 Z??? (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį, kad būtų patogiau išimti detalę);

N16 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Yra problemų N04, N05, N09, N12–N15 eilutėse. Jose kol kas negalima nurodyti įrankio trajektorijos taškų Z koordinatinių. Jeigu šiose eilutėse nurodysime tiesiog reikiamų taškų koordinates detalės koordinatinių sistemoje, tai yra: Z2.0, Z-2.0, Z0.0, Z0.0, Z-12.0, Z0.0, Z0.0, atitinkamai šiuose taškuose atsidurs *suklio atraminis taškas* N (9.15 pav.). Tokiu atveju įvyks avarija, nes reikia, kad minėtuose taškuose atsidurtų *įrankio atraminis taškas* T (9.15 pav.). Valdyti šio taško judesius Z ašies kryptimi galima tik tuo atveju, jeigu žinosime įrankių iškyšų iš suklio ilgus L (9.15 pav.), kurie kiekvieno įrankio yra skirtingi. Šiuos atstumus galima išmatuoti. Tegul frezos šis atstumas yra 150,306 mm, o grąžto – 200,222 mm. Kad įrankio viršūnė atsidurtų reikiamame taške, programos eilutės atrodys taip:

N04 Z152.306 M08 (greitasis frezos nuleidimas 2 mm aukščiau virš ruošinio viršutinės plokštumos Z ašies kryptimi $Z(150,306 + 2)$, į pjovimo zoną pradedamas tiekti TAS);

N05 G01 Z148.306 F150.0 (įrankio atraminio taško nuleidimas į darbinį gylį 2 mm pagal Z ašį $Z(150,306 - 2)$ su 150 mm/min pastūma);

...;

N09 Z150.306 M09 (įrankio atitraukimas 2 mm aukščiau detalės paviršiaus pagal Z ašį $Z(150,306 + 0)$ su 150 mm/min pastūma, judesio pabaigoje nutraukiamas TAS tiekimas);

...;

N12 Z200.222 M08 (greitasis grąžto atraminio taško nuleidimas 2 mm aukščiau virš detalės viršutinės plokštumos (nuo jos jau nuimta 2 mm) pagal Z ašį $Z(200,222 + 2 - 2)$, į pjovimo zoną pradedamas tiekti TAS);

N13 G01 Z188.222 F100.0 (gręžiama 10 mm gylio $Z(200,222 - 10 - 2)$ skylė nuo nufrezuotos viršutinės plokštumos su 100 mm/min pastūma);

N14 G00 Z200.222 M09 (greitasis grąžto ištraukimas į pradinę Z poziciją 2 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos, nutraukiamas TAS tiekimas į pjovimo zoną);

N15 G28 Z200.222 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį, kad būtų patogiau išimti detalę);

Susitvarkėme su užduotimi, tačiau toks metodas yra nepatogus, nes visų pirma reikia žinoti įrankių iškyšų ilgus. Be to, pakeitus atšipusius bei sulūžusius įrankius laikikliuose, jų atraminio taško padėtis suklio atraminio taško atžvilgiu bus prarasta, reikės iš naujo matuoti ilgus L ir keisti Z koordinates atitinkamose programos eilutėse.

Pabandysime frezos galu prisiliesti prie detalės viršutinės plokštumos ir įvesti kompensacijos reikšmę ($G54_1(Z)$, 9.15 pav.) į detalės koordinatinių sistemos kompensacijų lentelės $G54$ eilutės Z stulpelį. Pririšus įrankį tokiu būdu nebereikės žinoti jo iškyšos ilgio L . Galima bus tiesiog nurodyti reikiamas Z koordinates programoje. Tada nagrinėtos eilutės atrodys taip:

N04 Z2.0 M08 (greitasis frezos atraminio taško nuleidimas 2 mm aukščiau virš ruošinio viršutinės plokštumos Z ašies kryptimi, į pjovimo zoną pradedamas tiekti TAS);

N05 G01 Z-2.0 F150.0 (atraminio taško nuleidimas į darbinį gylį 2 mm pagal Z ašį su 150 mm/min pastūma);

...;

N09 Z0.0 M09 (įrankio atitraukimas 2 mm aukščiau detalės paviršiaus pagal Z ašį su 150 mm/min pastūma, judesio pabaigoje nutraukiamas TAS tiekimas);

...;

N12 Z??? M08 (greitasis grąžto atraminio taško nuleidimas 2 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos pagal Z ašį, į pjovimo zoną pradedamas tiekti TAS);

N13 G01 Z??? F100.0 (gręžiama 10 mm gylio nuo nufrezuotos viršutinės plokštumos skylė su 100 mm/min pastūma);

N14 G00 Z??? M09 (greitasis grąžto ištraukimas į pradinę Z poziciją 2 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos, nutraukiamas TAS tiekimas į pjovimo zoną);

N15 G28 Z??? (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį, kad būtų patogiau išimti detalę);

Dabar yra problemų su kitu įrankiu (grąžtu), kuris yra išsikišęs kitokiu atstumu negu freza ir nepateks savo atraminio tašku į tą patį detalės koordinacių sistemos tašką, jei jam nurodysime tokias pat koordinatas. Turime žinoti išsikišimo ilgių skirtumus ir kompensuoti juos Z ašies koordinatėmis programoje, t. y. jeigu grąžtas išsikiša daugiau už frezą 49,916 mm (200,222 – 150,306), reikia nurodyti jo koordinatas taip:

N12 Z49.916 M08 (greitasis grąžto atraminio taško nuleidimas 2 mm aukščiau virš detalės viršutinės plokštumos pagal Z ašį $Z(49,916 + 2 - 2)$, į pjovimo zoną pradedama tiekti TAS);

N13 G01 Z37.916 F100.0 (gręžiama 10 mm gylio skylė nuo nufrezuotos viršutinės plokštumos $Z(49,916 - 10 - 2)$ su 100 mm/min pastūma);

N14 G00 Z49.916 M09 (greitasis grąžto ištraukimas į pradinę Z poziciją 2 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos, nutraukiamas tiekti TAS į pjovimo zoną);

N15 G28 Z49.916 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį, kad būtų patogiau išimti detalę);

Šis būdas neišsprendžia problemos, jeigu programoje naudojama daugiau įrankių. Tokioje programoje Z koordinatės priklauso nuo įrankio atraminio taško padėties suklio atraminio taško atžvilgiu. Idealus atvejis būtų, kai užprogramuotos Z koordinatės būtų nepriklausomos nuo padėties, t. y. programoje nurodžius taško Z koordinatę detalės koordinacių sistemoje į ją turi patekti bet kurio įrankio *atraminis taškas*, nepriklausomai nuo iškyšos ilgio. Tai pasiekti galima, kai taikomos įrankių *ilgių kompensacijos* (9.16 pav. parodytas vienas iš ilgių kompensacijų atvejų), kurios kiekvieno įrankio dėtuveje yra skirtingos. Programos eilutes reikėtų užrašyti taip:

N04 G43 H01 Z2.0 M08 (greitasis frezos nuleidimas 2 mm aukščiau ruošinio viršutinės plokštumos Z ašies kryptimi pritaikant ilgio kompensaciją (G43) iš 1-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės, į pjovimo zoną pradedamas tiekti TAS);

N05 G01 Z-2 F150.0 (atraminio taško nuleidimas į darbinį gylį 2 mm pagal Z ašį (ilgio kompensacija jau galioja nuo eilutės N04) su 150 mm/min pastūma);

...;

N09 Z0.0 M09 (įrankio atitraukimas 2 mm aukščiau detalės paviršiaus pagal Z ašį su 150 mm/min pastūma, judesio pabaigoje nutraukiamas tiekti TAS);

...;

N12 G43 H02 Z0.0 M08 (greitasis grąžto atraminio taško nuleidimas 2 mm aukščiau detalės nufrezuotos viršutinės plokštumos pagal Z ašį pritaikant ilgio kompensaciją (G43) iš 2-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės, į pjovimo zoną pradedamas tiekti TAS);

N13 G01 Z-12.0 F100.0 (gręžiama 10 mm gylio (grąžto ilgio kompensacija jau galioja nuo eilutės N12) nuo nufrezuotos galinės plokštumos skylė su 100 mm/min pastūma);

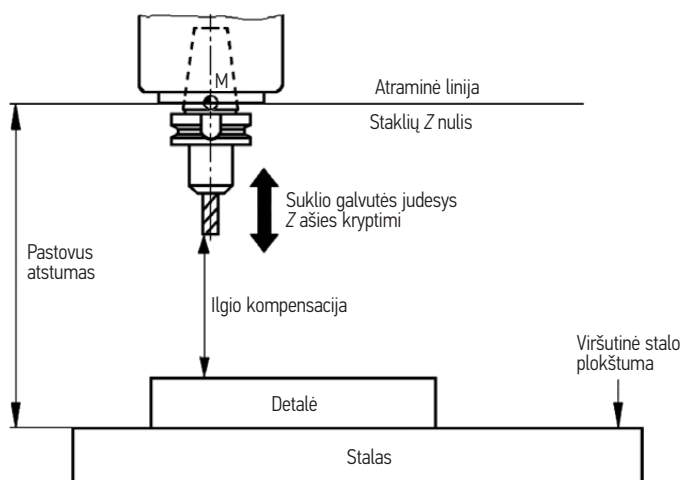
N14 G00 Z0.0 M09 (greitasis grąžto ištraukimas į pradinę Z poziciją 2 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos, nutraukimas tiekti TAS į pjovimo zoną);

N15 G28 Z0.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį, kad būtų patogiau išimti detalę);

Šiuo atveju valdymo sistema kreipsis į atitinkamą ilgių kompensacijų lentelės eilutę (pvz., „HAAS“ firmos frezavimo staklių įrankių ilgių kompensacijų lentelė parodyta 9.8 pav., viršuje) ir pritaikys joje esančią ilgio kompensacijos reikšmę. Kiekvienas įrankis savo atraminio tašku bus pririštas prie detalės Z nulio. Į tašką Z2 arba Z0 atvyks *įrankio*, o ne suklio atraminis taškas, ko mums ir reikia. Taip naudojant kompensacijas valdomos trajektorijos taškų Z koordinatės frezavimo staklėse, todėl detalės koordinatinių sistemų (G54–G59 ir papildomų) kompensacijų lentelės Z stulpeliuose dažniausiai paliekami nuliai, jeigu tik nereikia pakelti arba nuleisti Z nulio visiems įrankiams (toks atvejis buvo aprašytas 9.1.1 skirsnyje).

Taikomi įvairūs įrankių ilgių skirtumų kompensavimo metodai. Visi jie suskirstyti į dvi pagrindines grupes:

1. Ilgio kompensavimas, kai įrankio tikrasis ilgis yra žinomas.
2. Ilgio kompensavimas, kai įrankio tikrasis ilgis nėra žinomas.



9.16 pav. Vertikalojo apdirbimo centro suklio galvutė Z nulio pozicijoje

Kalbant apie įrankio ilgį turimas omenyje ne jo ilgis nuo koto iki viršūnės. Toks ilgis gali būti nesunkiai išmatuotas matavimo įrankiu, tačiau tai dar nieko nereiškia, nes įrankis tvirtinamas laikiklyje, o laikiklis – suklyje, todėl svarbu, kiek įrankis išsikiša nuo suklio galo (kuris yra suklio junginio atraminis taškas), kai laikiklis su įrankiu yra suklyje, kaip parodyta 9.15 pav. Toks atstumas jau negali būti taip lengvai nustatytas. Suklio junginio atraminio taško *Z* nulio pozicija *M* (9.16 pav.) stalo atžvilgiu yra visada pastovi ir labai tiksliai nustatyta gamintojo. Ši pozicija dar vadinama *atramine linija* (*Gauge Line*). Būtent į šią poziciją grįžta suklio junginio atraminis taškas (suklio galinės plokštumos ir ašies susikirtimo taškas), kai vykdoma G28 komanda (t. y. grįžta į staklių nulį) ir toje pozicijoje keičiamas įrankis. Tuo tarpu kiekvieno įrankio atraminis taškas (*T*, 9.15 pav.) atsidurs savo pozicijoje *Z* ašies atžvilgiu dėl skirtingų įrankių iškyšų dydžių.

Kompensuoti įrankio ilgį reikia kompensuoti atstumą nuo atraminės linijos iki įrankio galo ir pasiekti, kad valdymo programoje nurodytomis *Z* koordinatėmis judėtų atraminis įrankio taškas. Šiuolaikinėse staklėse tai padaryti galima derinimo metu net nežinant ir nematuojant jokių įrankių ilgių. Be abejo, turint specialius standus su matavimo įrankiais (pvz., aukščiamaciais), taip pat specialius reguliuojamus laikiklius, nustatyti vienodus įrankių iškyšas galima gana tiksliai, bet yra per brangu. Toks atvejis gali būti tik visiškai automatizuotoje gamyboje, kur sudilę įrankiai su laikikliais keičiami naujais automatiškai be operatorių pagalbos.

„Fanuc“ ir panašiose (taip pat ir „HAAS“) frezavimo staklių ir apdirbimo centrų valdymo sistemose naudojami trys modaliniai G kodai, susieti su įrankio ilgio kompensacijomis. Tai G43, G44 ir G49. Pirmasis pritaiko įrankio ilgio kompensaciją teigiamąja *Z* ašies kryptimi, įrankio ilgio kompensacijos reikšmė pridėjama prie užprogramuotos *Z* koordinatės. Antrasis pritaiko įrankio ilgio kompensaciją neigiamąja ašies *Z* kryptimi, įrankio ilgio kompensacija atimama iš užprogramuotos *Z* koordinatės. G49 kodas atšaukia G43 ir G44.

Kodai G43 ir G44 gali būti naudojami tik su adresu H..., po kurio turi būti nurodytas ilgių kompensacijų lentelės (tokia „HAAS“ firmos staklių lentelė parodyta 9.8 pav., viršuje) eilutės, kurioje saugoma kompensacijos reikšmė, numeris. Jo skaitmenų gali būti nuo dviejų iki trijų, priklausomai nuo valdymo sistemos. Ilgio kompensacija turi būti taikoma tik absoliučiąjų koordinacių režimu G90. Kai ji pritaikyta, galima persijungti į prieaugių režimą. Beveik visada įrankio ilgio kompensacija taikoma pakeitus įrankį pirmojo jo judesio *Z* ašies kryptimi metu. Tipinė eilutė su G43/G44 komanda atrodo taip:

G43 G00 Z2.0 H01;

Tokios eilutės rezultatas bus įrankio atraminio taško nuleidimas 2 mm virš detalės nulio pagal *Z* ašį, o valdymo sistema nustatys reikalingą šiam judesiui atlikti atstumą staklių koordinacių sistemoje *Z* ašies kryptimi įvertinant ilgio kompensacijos reikšmę iš 1-os eilutės (H01), į kurią šią reikšmę įrašė operatorius derinimo metu. Jau žinome, kad staklių valdymo sistema dirba savo staklių koordinacių sistemoje, nors opera-

toriaus patogumui vaizduojama, kad detalės koordinačių sistemoje. Z koordinatėms valdymo sistemoje perskaičiuoti naudojama tokia formulė:

$$Z = Gn(Z) + Z_d \pm H_i - Z_m, \quad (9.3)$$

čia: Z – atstumas, kurį reikia nueiti staklių suklio galvutei, kad atraminis įrankio taškas atsidurtų programoje užprogramuotame taške, kurio koordinatės detalės koordinačių sistemoje yra Z_d ; $Gn(Z)$ – aktyvios detalės koordinačių sistemos pradžios Z ašies kompensacija, įrašyta į detalių koordinačių sistemos kompensacijų lentelės n eilutę (pvz., G54, G55 arba kitos) ir Z stulpelį (dažniausiai paliekama lygi nuliui); Z_d – užprogramuota taško, į kurį siunčiamas įrankis, Z koordinatė detalės koordinačių sistemoje; H_i – įrankio ilgio kompensacija saugoma ilgių kompensacijų lentelės eilutėje, atitinkančioje įrankį, ženklas formulėje priklauso nuo kodo ilgio kompensacijai taikyti; Z_m – einamoji suklio junginio atraminio taško (galo) pozicija staklių koordinačių sistemoje.

Programuojant frezos judesį programos O12345 N04 eilutėje iš staklių nulinio į tašką Z2 detalės koordinačių sistemoje, jei detalės koordinačių sistemų pradžią kompensacijų lentelėje G54 eilutėje Z kompensacija yra nulis, o frezos ilgio kompensacija (saugoma 1-oje ilgių kompensacijų lentelės (9.8 pav.) eilutėje), t. y. dydis H01 (9.18 pav.), lygus $-220,330$ (kaip 9.8 pav.), reikalingas atstumas, kurį reikia nuvesti suklio galvutę pagal Z ašį, yra:

$$Z = 0 + 2 + (-220,330) - 0 = -218,330 \text{ mm}. \quad (9.4)$$

Jeigu suklyje atsidurs kitas įrankis (mūsų pavyzdyje tai grąžtas), jo ilgio kompensacija (H02) jau bus kitokia negu frezos dėl nevienodo šių įrankių išsikišimo. Sakykime, grąžtas yra daugiau išsikišęs iš laikiklio. Ilgio kompensacija bus mažesnė, pavyzdžiui, $-208,960$ (9.8 pav.). Tada suklio galvutę reikia pastumti kitu atstumu, kad atraminis įrankio taškas atsidurtų taške Z2 detalės koordinačių sistemoje, t. y.:

$$Z = 0 + 2 + (-208,960) - 0 = -206,960 \text{ mm}. \quad (9.5)$$

Naudojant ilgių kompensacijas galima pasiekti, kad atraminis įrankio taškas visada atsidurtų reikiamame taške detalės koordinačių sistemoje, programuojant koordinates nuo detalės Z nulinio. Koordinatės programoje tampa nepriklausomos nuo įrankio ilgio, jų nereikės keisti keičiant atšipusius arba sulūžusius įrankius, taip pat nereikės taisyti koordinačių perkeltiant programas iš vienu staklių į kitas. Užtenka tik nustatyti naujų kompensacijų reikšmes ir galima dirbti toliau.

9.1 lentelėje parodyta, kaip atrodo įrankių ilgių kompensacijų lentelė. Ši lentelė skirtingose valdymo sistemose gali atrodyti skirtingai (9.8 pav. viršuje parodyta „HAAS“ firmos frezavimo staklių).

Įrankių ilgio kompensacija gali būti nustatyta staklėse arba ne. Kiekvienas iš metodų turi savo privalumų ir trūkumų, tačiau ir vienu, ir kitu atveju pagrindas yra atraminė linija (9.16 pav.).

9.1 lentelė. Frezavimo staklių įrankių ilgių kompensacijų lentelė

Tool Length Offset		
No.	Length	Wear
001	-235.456	0.000
002	-174.281	0.000
003	-296.256	0.000
004	0.000	0.000
005	-159.450	0.000
...

Kad ir koks metodas būtų taikomas, rezultatas yra tas pats. 9.17 pav. parodyta vertikaliųjų frezavimo staklių įrankių ilgių kompensacijų nustatymo schema. Joje parodyta suklio galvutė viršutinėje padėtyje (kaip tik po įrankio keitimo) su įrankiu, staklių stalas ir detalė. Šioje schemoje yra keturi matmenys, kurie yra labai svarbūs nustatant įrankių ilgių kompensacijas, tiksliau, jie yra labai svarbūs norint suprasti, kas yra ilgio kompensacija. Tai matmenys:

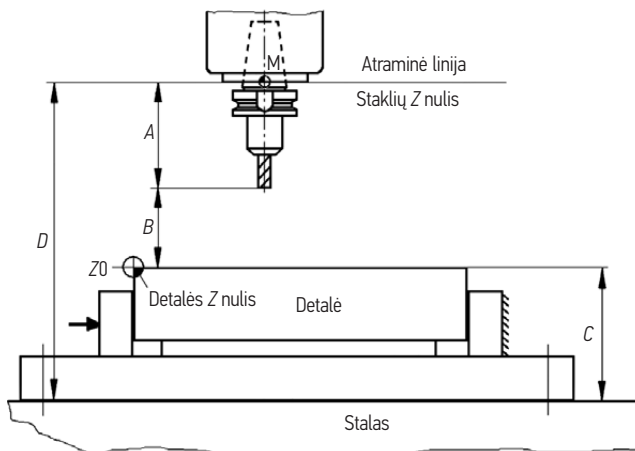
A – atstumas nuo atraminės linijos iki įrankio atraminio taško;

B – atstumas nuo įrankio atraminio taško iki detalės Z nulio;

C – detalės Z nulio aukštis nuo staklių stalo;

D – atstumas tarp stalo plokštumos iki atraminės linijos (iki staklių nulio).

Ne visi šie atstumai yra žinomi ir pastovūs. Pastovus yra tik atstumas *D*, nes jis yra nustatytas gamintojo. Tai yra didžiausia staklių suklio galvutės eiga Z ašies kryptimi.



9.17 pav. Vertikaliųjų frezavimo staklių derinimo schema

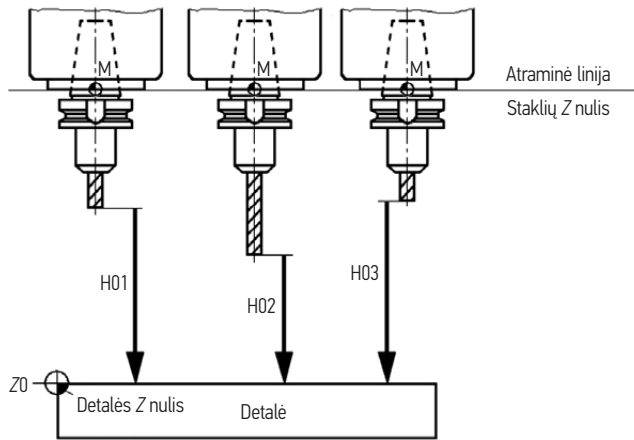
Šis atstumas nustatytas nuo staklių atraminės linijos iki stalo plokštumos. Jis yra didžiausias, kai suklio galvutė yra nulio padėtyje. Kiti atstumai yra nepastovūs, kai yra skirtingos detalės arba įrankiai. Priklausomai nuo pasirinkto metodo, jie gali būti ir nežinomi, programa puikiai veiks, o gali būti ir žinomi. Programinio valdymo staklių eros pradžioje atstumas A būtinai turėjo būti žinomas ir įterptas į programą, vėliau atsirado kitų metodų, galinčių apsieiti be jo.

Įrankių ilgių kompensacijos staklėse gali būti nustatytos dviem metodais: prisilietimo ir pagrindinio įrankio metodu. Antrasis yra tik pirmojo metodo modifikacija, paspartinanti ir sumažinanti derinimo laiko nuostolius. Apžvelgsime šiuos metodus išsamiau.

Nustatant ilgio kompensaciją *prisilietimo metodu*, įrankio iškyšos ilgis A gali būti visai nežinomas operatoriui. Operatorius iškviečia įrankį, kurio ilgio kompensaciją jis nori nustatyti, į sukli ir matuoja atstumą nuo įrankio, esančio suklyje, galo iki detalės nulio (t. y. atstumą B 9.17 pav.), paskui įrašo šį atstumą reikiamoje ilgių kompensacijų lentelės eilutėje. Matuoja, aišku, ne liniuote, o tik pereina į rankinio valdymo režimą (pvz., „HAAS“ firmos staklėse tam naudojamas mygtukas *Handl Jog*) ir, pasirinkęs Z ašį, leidžia suklio galvutę tol, kol įrankio viršūnė prisiliečia prie ruošinio paviršiaus, kurio Z koordinatė detalės koordinacių sistemoje (G54) prilyginama nuliui (dažniausiai tai viršutinė ruošinio arba detalės plokštuma). Suklio atraminio taško (galo) koordinatės staklių koordinacių sistemoje atvaizduojamos valdymo įrenginio vaizduoklyje, prisilietus prie detalės ir paspaudus mygtuką (pvz., „HAAS“ – *Tool Offset Measure*) suklio galo Z koordinatė (neigiama), įvertinant įrankio išsikišimą (kai atraminis įrankio taškas sutampa su detalės Z nuliui), arba tiesiog įrankio ilgio kompensacijos reikšmė bus įrašyta į eilutę, atitinkančią šio įrankio ilgių kompensacijų lentelėje, panašioje į 9.1 lentelę (pvz., tokia „HAAS“ firmos staklių lentelė parodyta 9.8 pav., viršuje). Po to imamas kitas įrankis, panašiai nustatoma jo ilgių kompensacijos reikšmė ir įrašoma į jo eilutę ilgių kompensacijų lentelėje (9.18 pav.). Toks metodas, aišku, nepadidina apdirbimo našumo, nes kompensacija gali būti nustatyta tik staklėms nedirbant (įsivaizduokite, programoje naudojama 30 įrankių), tačiau jis naudojamas dažniausiai, ypač vienetinės ir smulkių serijų gamybos baruose bei dirbtuvėse. Čia atsiranda problemų, kai reikia pakeisti sulūžusį arba atšipusį įrankį. Patalpinti jį laikiklyje tuo pačiu gyliu, kaip ir prieš tai buvęs, nepavyksta. Derinimo procedūrą reikia atlikti iš naujo.

Ilgio kompensacija yra visada neigiamas dydis, nes galvutė stumiamą neigiamą Z ašies kryptimi (9.18 pav.). Kompensacijai naudojamas G43 kodas, skaičiuojant atstumą Z pagal formulę 9.3 prieš H_i imamas teigiamas ženklas.

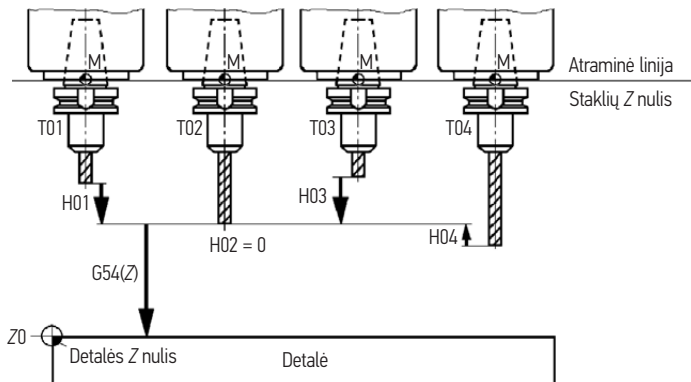
Pagrindinio įrankio metodas yra spartesnis nei prisilietimo, tačiau yra šiek tiek sudėtingesnis. Taikant jį naudojamas vadinamasis *pagrindinis įrankis*, dažniausiai tai ilgiausias iš visų, naudojamų programoje, įrankis arba bent vienas iš ilgesnių. Ilgiausias įrankis pasirenkamas kaip pagrindinis tik saugumo sumetimais, ši sąlyga nebūtina.



9.18 pav. Įrankių derinimas prisilietimo metodu

Derinimui nebūtinai gali būti naudojamas įrankis, tai gali būti tiesiog ilgas strypas suapvalintu galu, įstatytas į įrankio laikiklį. Derinama paprastai tokiais žingsniais:

1. Pagrindinis įrankis įstatomas į suklį.
2. Suklio galvutė nukreipiama į nulį pagal Z ašį taip, kaip parodyta 9.19 pav.
3. Prisilietimo metodu nustatomas atstumas G54(Z) tarp pagrindinio įrankio galo ir detalės koordinacių sistemos pradžios pagal Z ašį. Tam stebimi Z ašies rodmenys programinio valdymo įrenginio vaizduoklyje staklių koordinacių sistemos dalyje.
4. Išmatuotas 3 p. atstumas, užuot įrašytas į ilgių kompensacijų lentelę, įrašomas į detalės koordinacių sistemos kompensacijų lentelės programoje naudojamos koordinacių sistemos eilutę G54–G59 (9.19 pav.), kaip Z ašies kompensacija (būtinai neigiama reikšmė).
5. Į nulį nustatomos operatoriaus koordinacių sistemos koordinacių reikšmės, kai pagrindinio įrankio galas prispaustas prie ruošinio paviršiaus. Operatoriaus koordinacių sistemoje operatorius gali tik stebėti (judesiams ši sistema jokios įtakos neturi) staklių suklio junginio atraminio taško koordinatas nuo bet kokio pasirinkto erdvės taško. Pakanka nustatyti šią sistemą į nulinę padėtį mygtuku, kai įrankis yra bet kuriame erdvės taške.
6. Iš dėtuvės į suklį iškviečiamas kitas įrankis ir išmatuojamas jo ir pagrindinio įrankio iškyšų dydžių skirtumas (atstumai H01–H04, 9.19 pav.). Tam suklio galvutė stumiama žemyn tol, kol jos atraminis taškas pasiekia atraminio taško poziciją, nustatytą 5 p., kai suklyje buvo pagrindinis įrankis ir jo atraminis taškas buvo Z nulio detalės koordinacių sistemos pozicijoje. Tam Z koordinatės kitimas stebimas vaizduoklyje, operatoriaus koordinacių sistemoje (šioje pozicijoje Z koordinatė operatoriaus koordinacių sistemoje yra lygi 0, nustatyta į nulinę padėtį 5 p.). Po to įrankis stumiamas toliau tol, kol jo atraminis taškas prisilies



9.19 pav. Įrankių derinimas pagrindinio įrankio metodu: T02 – pagrindinis įrankis

prie detalės Z nulio stebint Z koordinatės pasikeitimą operatoriaus koordinatės sistemoje. Tokiu būdu nustatytas atstumas įrašomas į šio įrankio kompensacijos lentelės eilutę su minuso ženklu, jeigu įrankis trumpesnis už pagrindinį, ir be jokio ženklo (tai yra teigiama), kai įrankis ilgesnis už pagrindinį.

7. Kartojami 6 p. aprašyti veiksmai visiems įrankiams, naudojamiems programoje.

Jeigu kaip pagrindinis įrankis naudojamas ne strypas, kuris po derinimo nenaudojamas programoje, o tikras įrankis, kuris bus naudojamas programoje, į lentelę įrašoma jo ilgio kompensacija 0.000. Jei koks nors įrankis yra tokio pat ilgio kaip ir pagrindinis (gana retas atvejis), jo kompensacija ilgio kompensacijų lentelėje bus taip pat lygi 0.

Šis metodas, nors yra ir „gudresnis“ už prisilietimo metodą, turi vieną pagrindinį privalumą – trumpesnę derinimo laiką. Derinant šiuo metodu, jeigu tie patys įrankiai naudojami kelių tipų detalėms apdirbti, prieš pereinant prie kito tipo detalių apdirbimo, pakanka nustatyti tik pagrindinio įrankio ilgio kompensaciją prisilietimo prie detalės metodu (kaip parodyta 1–4 p.). Kitų įrankių ilgių kompensacijos lentelėje nekeičiamos, nes jos nustatytos ne detalės, bet pagrindinio įrankio viršūnės atžvilgiu. Derinant stakles prisilietimo metodu, kito tipo detalei apdirbti reikia prisiliesti kiekvieno įrankio galu prie detalės Z nulio ir užrašyti visų įrankių kompensacijas į ilgių kompensacijų lentelę.

Nustatant ilgių kompensacijas už staklių ribų (9.20 pav.) reikalinga speciali įranga. Metodas realizuojamas šalia staklių arba atskiroje patalpoje, ant specialaus stendo, kuris užima tam tikrą plotą ir reikalauja papildomų išlaidų. Tai ir yra pagrindinis šio metodo trūkumas. Įrankiai gali būti derinami, kai staklėmis atliekamas darbas. Tai yra metodo privalumas, nes derinant sutaupomas laikas. Šis metodas yra seniausias, tačiau taikomas ir dabar, dažniausiai įmonėse, kuriose naudojama daug įrankių ir laikomi specialūs stendai, atskirose patalpose ar laboratorijose įrankiams matuoti ir derinti. Vien tik toks būdas galimas visiškai automatizuotos gamybos sąlygomis, kai automatiškai pakraunami ir iškraunami staklėse ne tik ruošiniai, bet ir įrankiai.

Derinant tokiu metodu nustatomas atstumas nuo atraminės linijos iki įrankio atraminio taško (galo). Tai yra matmuo A , parodytas 9.17 pav. Derinimo stendas sudarytas iš įtaiso su suklio skylė ir aukščiamacio, kuriuo matuojamas aukštis. Išmatuoti įrankiai laikikliuose tiekiami prie staklių kartu su lapeliu su užrašytu ilgiu. Operatoriui lieka tik įstatyti įrankį į programoje nurodytą lizdą dėtuvėje ir nurodyti jo ilgį atitinkamoje ilgių kompensacijų lentelės eilutėje.

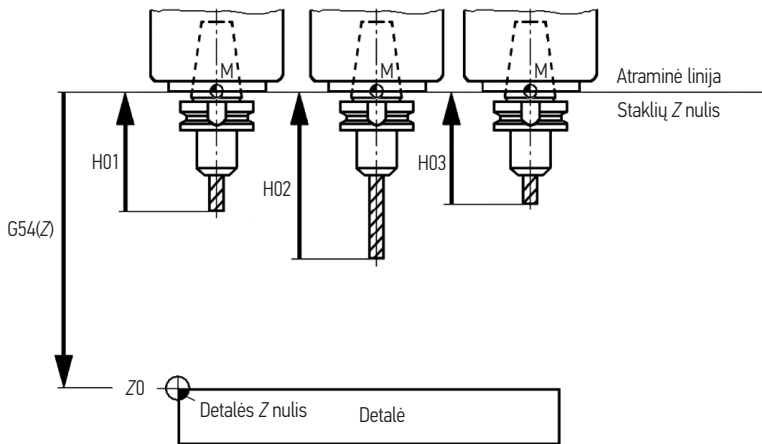
Panašus derinimo įrenginys gali būti naudojamas ne tik iškyšos ilgiui matuoti, bet ir derinti įrankių iškyšą, kai jos reikšmė žinoma, kad nereikėtų kiekvieną kartą įvesti naujų kompensacijų reikšmių į lentelę, kai atšipę įrankiai keičiami naujais. Taip dažnai būna automatizuotoje gamyboje, kur staklės aprūpinamos įrankiais automatizuotai. Jeigu frezos ilgis 80,256 mm, jai atšipus ir pakeitus nauja, reikėtų iš naujo įvesti ilgio reikšmę, kuri skirtųsi nuo pradinės, tai yra 80,256 mm. Tam prie staklių reikia žmogaus, kuris galėtų tai atlikti. Šito galima išvengti, jeigu bus matuojamas ne įrankio ilgis, o įrankis bus derinamas pagal žinomą matmenį, mūsų atveju 80,256 mm. Tokiu atveju turi būti naudojami specialūs reguliuojami įrankių laikikliai.

Išmatuoti iškyšų ilgiai A turi būti įvesti su teigiamu (dažniausiai) ženklų (tiksliau, be jokio ženklo) į atitinkamą ilgių kompensacijų lentelės eilutę. Pavyzdžiui, išmatuotas įrankio, kurio ilgio kompensacija minima programoje H05, ilgis yra 93,2 mm. Ši reikšmė turi būti įvesta į ilgių kompensacijų lentelės 5 eilutę:

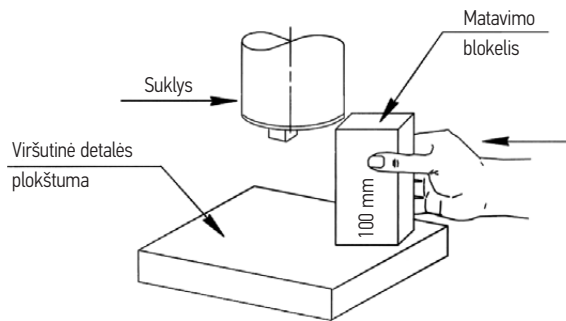
01 ...
 02 ...
 03 ...
 04 ...
 05 93.200
 06 ...
 ...

Taikant šį metodą vien tik ilgio kompensacijos A nepakanka, turi būti nustatytas atstumas nuo atraminės linijos iki detalės nulio (9.17 pav., $A + B$, 9.20 pav., $G54(Z)$) ir įvestas į detalės koordinacių sistemos lentelę kaip neigiama programoje naudojamos koordinacių sistemos $G54$ – $G59$ arba papildomos Z ašies kompensacija. Atstumas $A + B$ nustatomas prisilietimo metodu, stumiant rankiniu režimu suklio galvutę žemyn tol, kol suklio galas nesutaps su viršutine detalės plokštuma. Atstumas $A + B$ nustatomas kaip suklio galo Z koordinatė staklių koordinacių sistemoje. Tam, kad netrukdytų suklio iškyšos įrankių laikikliui, naudojamas žinomo ilgio matavimo blokelis, kaip parodyta 9.21 pav. Į programoje naudojamos detalės koordinacių sistemos $G54$ – $G59$ kompensacijų Z stulpelį įrašomas atstumas (neigiamas) nuo atraminės linijos iki blokelių galo, po to prie jo pridamas blokelių ilgis su minuso ženklu.

Nors ilgio kompensacijos programuojamos dviem modaliniais kodais $G43$ ir $G44$, labiausiai paplitęs yra pirmasis, t. y. $G43$. Kodą $G44$ programuotojai ir operatoriai naudoja labai retai, dauguma jų dažniausiai visai nežino, ką jis reiškia. Bandysime tai paaiškinti.



9.20 pav. Staklių derinimo schema, kai įrankiai suderinti už staklių ribų



9.21 pav. Kompensacijų nustatymo, naudojant matavimo blokelius, schema (Quesada 2005)

Kodai G43/G44 apibūdinami įvairiose šaltiniuose įvairiai:

G43 pridėti ilgio kompensaciją

G44 atimti ilgio kompensaciją

G43 teigiama ilgio kompensacija

G44 neigiama ilgio kompensacija

G43 ilgio kompensacija teigiamąja Z ašies kryptimi

G44 ilgio kompensacija neigiamąja Z ašies kryptimi

Visi šie apibrėžimai yra savaip teisingi, tačiau nepaaiškina, prie ko pridėti kompensaciją, iš ko atimti, kokia kryptis yra teigiamoji, kokia neigiamoji ir pan. Iš tikrųjų – koks yra skirtumas tarp dviejų eilučių?

G00 G43 Z3.0 H01;

G00 G44 Z3.0 H01;

Skirtumas tarp šių dviejų eilučių yra tik vienas: valdymo sistemai skaičiuojant suklio junginio atraminio taško Z koordinatę staklių koordinacių sistemoje pagal 9.3 formulę tam, kad įrankio atraminis taškas atsidurtų taške $Z3$, ilgio kompensacijos reikšmė, saugoma $H01$ eilutėje, bus pridedama prie nurodytos koordinatės $Z3$ arba atimama iš jos. Tokiu būdu už staklių ribų stende išmatuotą įrankio Nr. 1 ilgį galima įvesti į 1-ąją eilutę su neigiamu arba su teigiamu ženklu. Pavyzdžiui, išmatavęs įrankio iškyšos ilgį (9.20 pav., matmenys $H01-H03$) operatorius gavo 120,500 mm reikšmę. Operatorius gali įvesti į ilgių kompensacijų lentelę dvejopai, kaip jam patogiau:

01 120.500

arba

01 -120.500.

Kad įrankio galas arba viršūnė atsidurtų taške $Z3$ detalės koordinacių sistemoje, valdymo sistema turi teisingai pritaikyti kompensaciją. Tam tikslui reikia naudoti skirtingus kodus, t. y. jeigu kompensacija teigiama ir naudojamas $G43$ kodas, suklio galvutei iš staklių $Z0$ reikia įveikti atstumą, kuris bus nustatytas pagal formulę 9.3:

$$G43 \Rightarrow G54(Z) + Z_d + H_i = -250,356 + 3 + 120,5 = -126,856 \text{ mm.}$$

Jeigu kompensacija neigiama ir naudojamas $G44$ kodas, paskutinių dviejų dedamųjų suma 9.3 formulėje bus nustatyta taip:

$$G44 \Rightarrow G54(Z) + Z_d - H_i = -250,356 + 3 - (-120,5) = -250,356 + 3 + 120,5 = -126,856 \text{ mm.}$$

Rezultatas tas pats ir įrankio galas atsidurs taške $Z3$ detalės koordinacių sistemoje, o suklio galvutės atraminis taškas (suklio galas) atsidurs taške $Z-126,856$ staklių koordinacių sistemoje. Tačiau teisingai programa veiks tik tada, jeigu su teigiamomis ilgio kompensacijomis $H01-H03$ (9.20 pav.) naudojamas $G43$ arba su neigiamomis – $G44$ kodai. Išmatuoti ir įvesti kompensacijas $H01-Hmn$ patogiau teigiamas, todėl vienintelis teisingas kodas yra $G43$ kodas, $G44$ praktiškai nenaudojamas.

Kai įrankiai derinami prisilietimo metodu, operatorius iš klaviatūros dažniausiai neįveda jokių skaičių į kompensacijų lentelę, jis tiesiog prisiliečia prie detalės $Z0$, nustato žymeklį reikiamoje ilgių kompensacijų lentelės eilutėje ir spaudžia mygtuką (*Tool Offset Measure* „HAAS“ staklėse). Kompensacijos reikšmė (atstumas B , 9.17 pav.) įrašoma automatiškai ir tai yra neigiama reikšmė, nes suklio galvutė juda nuo staklių Z nulio neigiama Z ašies kryptimi. Todėl vienintelis teisingas kodas šiuo atveju vėl lieka $G43$. Įvertinant tai, kad prisilietimo metodas yra labiausiai paplitęs, tampa aišku, kodėl kodas $G44$ yra praktiškai nenaudojamas ir kodėl šiuolaikinių CNC staklių operatoriai jo netgi nežino. Norint naudoti $G44$ kompensacijas, $H01-H03$ reikia įrašyti teigiamas. Tam reikia keisti automatiškai įrašytą reikšmių ženklą, o to operatorius daryti, be abe-

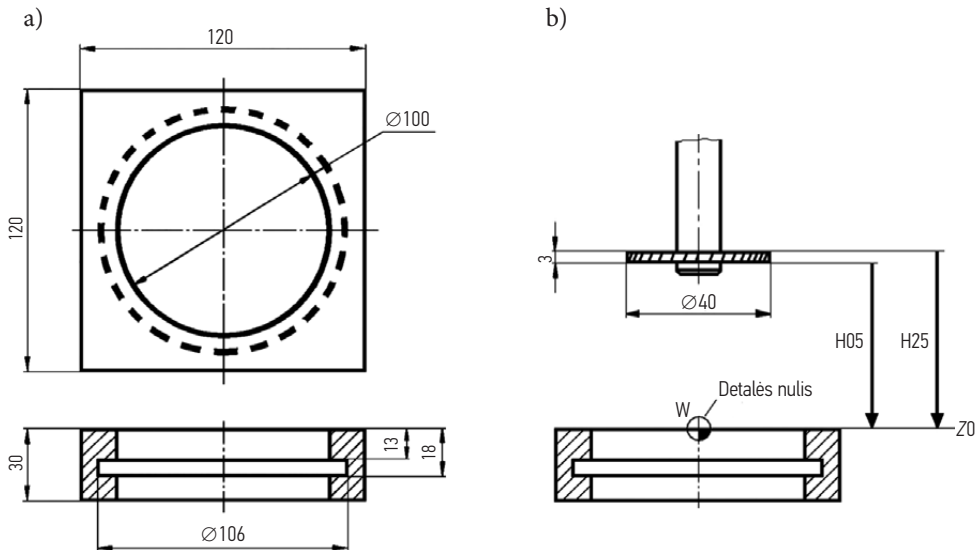
jo, nenori. Pakeitus ženklą ir naudojant G44, formulėje 9.3 bus naudojamas neigiamas ženklas ir atstumai, nustatyti pagal (9.4)–(9.5), bus skaičiuojami taip:

$$Z = 0 + 2 - 220,330 - 0 = -218,330 \text{ mm},$$

$$Z = 0 + 2 - 208,960 - 0 = -206,960 \text{ mm}.$$

Rezultatas bus toks pat.

Programoje kiekvienam įrankiui dažniausiai priskiriama tik viena ilgio kompensacijos reikšmė, kuri saugoma tokio pat numerio eilutėje, kaip ir įrankio lizdo numeris, t. y. T01 ⇒ H01, T02 ⇒ H02, T03 ⇒ H03 ir t. t. Naudoti kitos eilutės ilgio kompensaciją dažniausiai yra uždrausta pagal nustatytuosius parametrus sistemos nustatymais (pvz., „HAAS“ firmos frezavimo staklėse tam naudojamas 15 nustatymas (*H and T agreement*), kuriam galima priskirti dvi reikšmes – *On* ir *Off*). Dažniausiai jam priskiriama *On* reikšmė. Taip dirbti yra patogu ir saugu, tačiau tai ne vienintelis metodas. Kai kuriais atvejais tam pačiam įrankiui galima priskirti kelias ilgių kompensacijų reikšmes. Pavyzdžiui, 9.22 pav. pavaizduota detalė, kurios 5 mm pločio vidinis griovelis apdirbamas mažesnio pločio (teglu plotis lygus 3 mm) diskinė freza apskritiminės interpoliacijos judesiais G02/G03. Iš 9.22 pav. matoma, kad naudojant tokio pločio frezą, griovelio išfrezuoti viena eiga nepavyks, reikės frezuoti du kartus. Vieną kartą, kai frezos apatinė galinė plokštuma (teglu jos susikirtimo su ašimi taškas yra frezos atraminis taškas, atstumas nuo jo iki detalės Z nulio (viršutinė plokštuma) yra nustatomas prisilietimo metodu ir įrašomas į ilgių kompensacijų lentelę) yra aukštyje Z–18



9.22 pav. Frezuojama detalė (a) ir staklių derinimo žiedinio griovelio frezavimo operacijai eskizas (b) (Smid 2003)

detalės koordinacijų sistemoje. Kitą kartą, kai jos koordinatė Z–16 detalės koordinacijų sistemoje. Taip frezuoti galima, tačiau programoje nurodant antro apskritiminės interpoliacijos judesio Z koordinatę, reikia įvertinti frezos plotį, o tai ne visada patogu. Čia galima naudoti skirtingas ilgio kompensacijas, du kartus pririšus įrankį prie detalės Z nulio (viršutinės plokštumos) ir naudojant du įrankio atraminius taškus: vieną – apatinės plokštumos ir ašies susikirtimo tašką ir kitą – viršutinės plokštumos ir ašies susikirtimo tašką. Frezuojant apatinę griovelio dalį bus taikoma viena ilgio kompensacija (tegl H05, 9.22 pav.) ir nurodoma pirmo atraminio taško Z koordinatė. Frezuojant viršutinę dalį taikoma antroji ilgio kompensacija (tegl ji bus saugoma 25-oje ilgių kompensacijų lentelės eilutėje H25, 9.22 pav. Norint ją nustatyti nebūtina net prisiliesti prie ruošinio, pakanka pridėti prie nustatytos H05 kompensacijos frezos plotį –3 mm) ir programoje nurodoma apskritiminės interpoliacijos judesio Z koordinatę –13 mm. Tokiu būdu galima išvengti painiavos koordinatėse, o programoje nurodytose koordinatėse nereikės įvertinti frezos pločio.

Paminėtina, kad programoje būtina du kartus programuoti žiedinio griovelio frezavimo apskritiminę trajektoriją kodais G02 arba G03. Tai ne geriausias sprendimas, nes išskyrus Z koordinatės pasikeitimą, abi trajektorijos XY plokštumoje yra visiškai identiškos. Programą galima gerokai sutrumpinti naudojant paprogramę, kurioje būtų užprogramuota ta pati trajektorija X ir Y ašių atžvilgiu, o į paprogramę būtų krei-piamasi du kartus iš pagrindinės programos, tačiau tai bus daroma, kai naudosime skirtingo dydžio kompensacijas, kurios reikšmės saugomos atitinkamai 5-oje ir 25-oje ilgių kompensacijų lentelės eilutėse. Kadangi iki šiol nenagrinėjome paprogramių, toliau pateikta programa bus ilgesnė. Taigi programa atrodo taip:

O35698

(programa žiediniam grioveliui frezuoti);

N1 G21 G17 (G21 – metrinė sistema, G17 – plokštuma XY);

N2 G90 G54 (G90 – absoliučiosios koordinatės, detalės koordinacijų sistema G54);

N3 T05 M06 (įrankis Nr. 5 – 40 mm skersmens diskinė freza iš dėtuvės įstatoma į sukli);

N4 S500 M03 (paleisti suktis pagal laikrodžio rodyklę sukli 500 sūk./min greičiu);

N5 G00 X0.0 Y0.0 (greitasis įrankio ašies pozicionavimas detalės centre XY plokštumoje);

N6 G43 Z5.0 H05 (greitasis pozicionavimas 5 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos pritaikant ilgio kompensaciją iš 5-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės, t. y. H05, 9.22 pav.);

N7 G01 Z-18.0 F350.0 M08 (įrankio apatinės plokštumos nuleidimas su 350 mm/min pastūma 18 mm žemiau detalės viršutinės plokštumos, kuri pasirinkta kaip detalės Z0, judesio pradžioje įjungiamas TAS siurblys);

N8 X33.0 F130.0 (tiesinės interpoliacijos įsipjovimo judesys pagal X ašį iš detalės koordinacijų sistemos pradžios į tašką 1 (9.23 pav.) su 130 mm/min pastūma, įvertinamas frezos spindulys 20 mm);

N9 G03 I-33.0 (viso apskritimo apskritiminės interpoliacijos judesys prieš laikrodžio rodyklę su 130 mm/min pastūma);

N10 G01 X0.0 (tiesinės interpoliacijos judesys grįžtant iš taško 1 (9.23 pav.) į detalės koordinacijų sistemos pradžios tašką W);

N11 G00 G43 Z-13.0 H25 (greitojo pozicionavimo judesys, įrankio viršutinė galinė plokštuma atsiranda Z-13 gylyje nuo detalės paviršiaus, nes taikoma ilgio kompensacija iš 25-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės, t. y. H25, 9.22 pav.);

N12 G01 X33.0 F130.0 (tiesinės interpoliacijos įsipjovimo judesys pagal X ašį iš detalės koordinatų sistemos pradžios į tašką 1 (9.23 pav.) su 130 mm/min pastūma, įvertinamas frezos spindulys 20 mm);

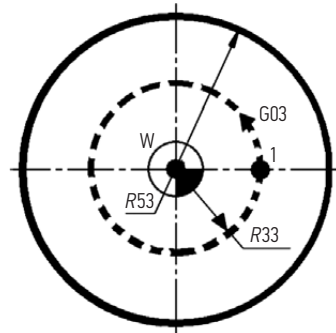
N13 G03 I-33.0 (viso apskritimo apskritiminės interpoliacijos judesys prieš laikrodžio rodyklę su 130 mm/min pastūma);

N14 G01 X0.0 (tiesinės interpoliacijos judesys grįžtant iš taško 1 (9.23 pav.) į detalės koordinatų sistemos pradžios tašką W);

N15 G00 Z8.0 M09 (greitojo pozicionavimo judesys Z ašies kryptimi, įrankio viršutinė galinė plokštuma pakyla 8 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos (detalės Z0), aušinimas išjungiamas);

N16 G28 Z8.0 M05 (suklio galvutės grįžimas į nulį pagal Z ašį iš įrankio buvimo taško Z8, suklys sustabdomas);

N17 M30 (programos pabaiga);



9.23 pav. Frezos ašies apskritiminės interpoliacijos judesio trajektorija frezuojant žiedinį griovelį

Ilgųjų kompensacijų lentelės 5-oje eilutėje operatorius registruoja atstumą, gautą frezos apatinę plokštumą prisilietus prie detalės viršutinės plokštumos, o 25-oje eilutėje – atstumą nuo frezos viršutinės plokštumos iki detalės viršutinės plokštumos (jis gaunamas tiesiog iš 5-os eilutės kompensacijos reikšmės atėmus frezos plotį, duotuoju atveju 3 mm, arba pridėjus prie jos -3 mm).

Pateiktame pavyzdyje buvo galima nenaudoti skirtingų įrankio ilgių kompensacijų, t. y. apsieiti tik su viena H05 ir, frezuojant viršutinę griovelio dalį, tiesiog nurodyti Z koordinatę įvertinus frezos plotį 3 mm. Tada eilutė N11 atrodys taip:

N11 G00 Z-16.0 (greitojo pozicionavimo judesys, apatinė įrankio plokštuma bus Z-16 mm gylyje nuo detalės paviršiaus (viršutinė plokštuma bus atitinkamai Z-13 gylyje nuo detalės paviršiaus));

Kitas variantas – pasinaudoti detalės koordinatų sistemos kompensacijų lentelės Z stulpeliu ir „nuleisti“ detalės Z0 plokštumą 3 mm žemiau. Tada eilutė N11 atrodys taip:

N11 G55 G00 Z-13.0 (greitojo pozicionavimo judesys koordinatų sistemoje G55, apatinė įrankio plokštuma bus Z-16 mm gylyje nuo detalės paviršiaus, o ne 13 mm gylyje, kaip užprogramuota);

Tokiu atveju sistemos G54 Z stulpelyje paliekamas nulis, o G55 sistemoje nurodomos tos pačios koordinatų sistemos kompensacijos pagal X ir Y ašis, o Z stulpelyje nurodoma -3 mm.

Taigi kiekvienas variantas gali egzistuoti, o operatoriui reikia tik pasirinkti suprantamiausią ir prieinamiausią kaip pradinį, paskui galima bandyti ir kitus. Paminėtina, kad vienam įrankiui naudoti skirtingas ilgio kompensacijas reikia labai atsargiai, t. y. nepamiršti, kokia kompensacija kuriam įrankiui naudojama. Ne veltui daugumoje staklių reikia pakeisti tam tikrus sistemos nustatymus. Metodo, kai „pakeliamas“ arba „nuleidžiamas“ detalės Z nulis naudojantis detalių koordinacių sistemų pradžių kompensacijomis, nerekomenduojama naudoti pradedantiems CNC staklių operatoriams.

Kaip matyti iš pavyzdžio ir iš ankstesnių programų pavyzdžių, kodas G43 (taip pat ir G44) programoje pasirodo iš karto po įrankio keitimo komandos T... M06 eilutėje, kurioje atliekamas pirmasis šio įrankio judesys Z ašies kryptimi. Tai gera programavimo praktika. Kodas G43 (G44) yra modalinis, todėl ilgio kompensacija bus taikoma visą laiką po jo nurodymo visose programoje nurodytose Z koordinatėse. Atšaukti įrankio ilgio kompensaciją programoje galima kodu G49. Tačiau programoje paprastai to daryti nereikia, joje kur kas patogiau valdyti įrankio atraminio taško koordinatas negu suklio mazgo atraminio taško koordinatas. Todėl kodas G49 frezavimo staklių programose beveik nenaudojamas, išskyrus vieną atvejį – staklėse, kuriose, norint keisti įrankį, reikia atšaukti įrankio ilgio kompensaciją, prieš siunčiant suklio galvutę pagal Z ašį į staklių nulį. Tada programos eilutės bus tokios:

G49 (atšaukti ilgio kompensaciją);

G91 G28 Z0.0 (judesys į staklių nulį pagal Z ašį iš taško, kuriame yra įrankis, prieaugių režimas);

arba

G91 G28 Z0.0 H00;

Pirmuoju atveju kompensacija atšaukiama kodu G49, antruoju – staklės „apgauamos“, t. y. veikianti kompensacija H... pakeičiama nuliu, tam naudojamas adresas H00. Rezultatas ir vienu, ir kitu atveju yra vienodas.

Šiuolaikinėms „Fanuc“ arba „HAAS“, taip pat ir daugumai kitų gamintojų valdymo sistemoms tai nebūdinga. Jose kodu G28 arba G30 automatiškai atšaukiama įrankio kompensacija, o į staklių Z nulį grįžta suklio junginio atraminis taškas, o ne įrankio. Tas pats atsitiks ir tada, kai nurodyta įrankio keitimo komanda T... M06. Suklio junginio atraminis taškas „nukeliaus“ į staklių Z nulį, kur bus pakeistas įrankis. Tai nereiškia, kad anksčiau pateiktos eilutės neveiks. Jas galima tiesiog pakeisti trumpesnėmis:

G91 G28 Z0.0 (judesys į staklių nulį pagal Z ašį iš taško, kuriame yra įrankis, prieaugių režimu);

arba galima tiesiog nurodyti reikiamoje programos vietoje įrankio keitimo komandą, suklio galvutę bus pakelta į staklių nulį ir įrankis bus pakeistas automatiškai:

T... M06 (pakeisti įrankį suklyje);

Taigi kodas G49 daugeliu atvejų gali būti sėkmingai pamirštas kaip ir G44. Nurodžius grįžimo iš staklių nulio komandą, pvz., G00 Z..., bus pritaikyta paskutinė užprogramuota adresu H... kompensacija ir į tašką Z... vėl pateks atraminis įrankio taškas.

Jeigu įrankis keičiamas, reikia nepamiršti pritaikyti naujo įrankio kompensacijos prieš pirmąjį šio įrankio judesį Z ašies kryptimi. Kitaip galios prieš tai suklyje buvusio įrankio ilgio kompensacija. Pavyzdžiui, teisingas yra toks programos fragmentas:

...;

T01 M06 (įrankis Nr. 1 iš dėtuvės įstatomas į sukli);

S1000 M03;

G00 X... Y... (įrankio greitojo pozicionavimo judesys XY plokštumoje į reikiamą tašką detalės koordinačių sistemoje);

G43 Z5.0 H01 (įrankio greitojo pozicionavimo judesys į tašką $Z5$ detalės koordinačių sistemoje pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės);

G01 Z-10.0 F198.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką $Z-10$, ilgio kompensacija jau galioja);

... (programos tęsinys);

...;

T02 M06 (įrankis Nr. 2 iš dėtuvės įstatomas į sukli);

S2500 M03;

G00 X... Y... (įrankio greitojo pozicionavimo judesys XY plokštumoje į reikiamą tašką detalės koordinačių sistemoje);

G43 Z8.0 H02 (įrankio greitojo pozicionavimo judesys į tašką $Z8$ detalės koordinačių sistemoje pritaikant ilgio kompensaciją iš 2-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės);

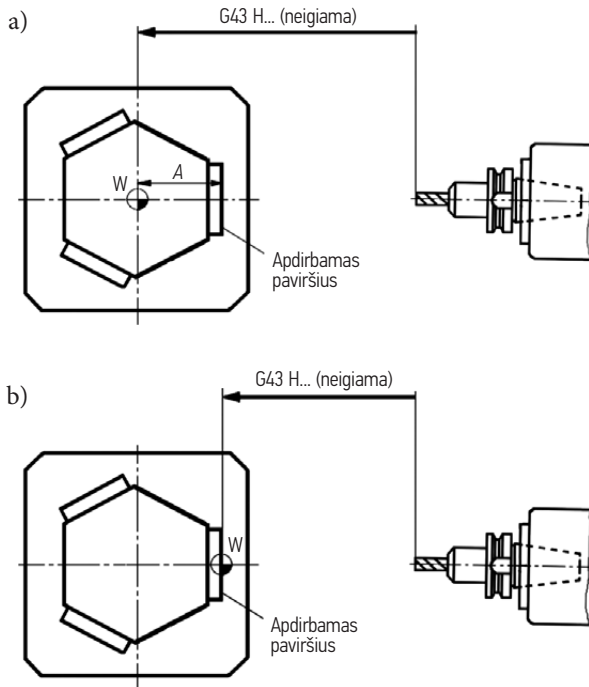
...;

... (programos tęsinys);

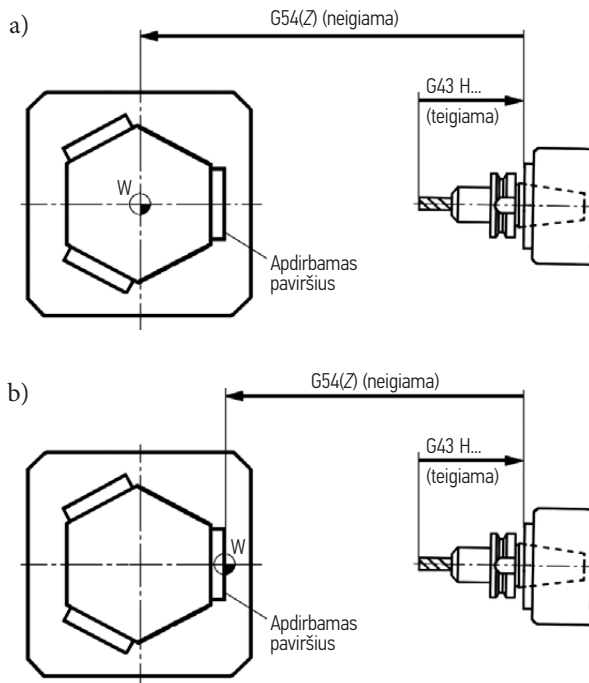
Horizontaliosios frezavimo staklės ir horizontalieji apdirbimo centrai

Apdirbant horizontaliaisiais apdirbimo centrais, detalė pastatoma ant pasukamo stalo ir dažniausiai apdirbami keli jos šonai, o atstumas nuo kiekvieno detalės šono darbo pozicijoje iki to paties į sukli įstatyto įrankio galo ne visada yra tas pats. Įrankio kompensacijos dažniausiai nustatomos prisilietimo metodu (9.24 pav.). Detalės koordinačių sistemų kompensacijų lentelės Z stulpelyje dažniausiai paliekami nuliai. Jeigu įrankio galas „nepirišamas“ ilgių kompensacijomis prie pasukamo stalo ašies (kas daroma gana retai, nes tada nepatogu nurodyti Z koordinačių programoje, reikia žinoti atstumus nuo stalo centro iki kiekvieno detalės šono Z nulio, kai jis yra darbo pozicijoje (matmuo A , 9.24 pav., a)), dažniausiai vienam įrankiui priskiriamos kelios ilgių kompensacijų reikšmės. Šios kompensacijos keičiamos G43 H... komanda pasukus stalą į kitą darbo poziciją.

Dirbant už staklių ribų suderintais įrankiais, skirtingi atstumai tarp detalės šonų ir įrankio galo kompensuojami detalės koordinačių sistemų kompensacijų lentelės Z reikšmėmis. Užtenka vienos ilgių kompensacijos kiekvienam įrankiui (9.25 pav., G43 H..., teigiamas dydis). Išskiriami atvejai, kai detalės koordinačių sistemos pradžios Z reikšme suklio junginio atraminis taškas „pririšamas“ prie pasukamo stalo ašies (9.25 pav., a) (toks atvejis yra retas, nes būtina nustatyti atstumus A (9.24 pav., a)) arba prie kiekvieno iš šonų darbo pozicijoje (9.25 pav., b). Paskutiniu atveju gali prireikti ne tik pagrindinių detalės koordinačių sistemų G54–G59, bet ir papildomų, kurių šiuolaikinėse staklėse yra pakankamai. Pastarasis atvejis horizontaliuosiuose centruose dažnai naudojamas ir dirbant staklėse derinamais įrankiais.



9.24 pav. Horizontaliojo apdirbimo centro derinimas prisilietimo metodu: a – įrankis priderinamas ilgio kompensacija prie pasukamo stalo (B ašis) ašies; b – įrankis priderinamas ilgių kompensacijomis prie kiekvieno detalės šono



9.25 pav. Horizontaliojo apdirbimo centro derinimas, kai įrankio iškyšos dydis jau žinomas: a – detalės Z ašies nulis sutampa su pasukamo stalo ašimi; b – detalės Z ašies nulis sutampa su detalės šonu

Atstumas G43 H... nustatomas atėmus iš astumo G54 (Z) (nustatomas prisilietus suklio galu prie detalės plokštumos (9.21 pav.)) atstumą, gautą prisilietus įrankio galu prie tos pačios detalės plokštumos. Abu atstumai nustatomi sekant Z koordinates vaizduoklyje staklių koordinačių sistemoje.

Tekinimo staklės

Kaip ir frezavimo, tekinimo staklėse kiekvieno įrankio atraminis taškas (viršūnė T, 9.26 pav.) turi „jausti“, kur yra detalės nulis, t. y. įrankiai savo viršūnėmis turi būti „pririšti“ prie detalės nulio, kuris beveik visada pasirenkamas ruošinio galinės plokštumos ir ašies (suklio ir ruošinio) susikirtime (9.26 pav., taškas W). Be šio „pririšimo“ vietoje įrankio viršūnės koordinačių valdyti galima tik revolverinės galvutės ašies ir galinės plokštumos susikirtimo tašką (taškas, kuris sutampa su tašku M, 9.26 pav.). Tai būtų labai nepatogu apdirbant ruošinius. Tekinimo staklėse įrankiai pririšami šiek tiek kitaip negu frezavimo. Frezavimo staklėse visi įrankiai tvirtinami viename suklyje, ten naudojami ašiniai, besisukantys apie savo ašį įrankiai. Visiems jiems detalės nulio pozicija XY plokštumoje yra vienoda (įvertinama detalės koordinačių sistemos pradžios kompensacijomis G54 ir kt.), o pagal Z ašį – skirtinga ir įvertinama ilgių kompensacijomis. Tekinimo staklėse sukasi detalė, o revolverinėje galvutėje naudojami neašiniai įrankiai (peiliai), kurie juda plokštumoje ZX, todėl čia naudojamos dvi ilgio kompensacijos – pagal X ir Z ašis (9.26 pav.). Šios kompensacijos vadinamos *geometrijos kompensacijomis* (*Geometry Offset*, 9.27 pav.) ir taip pat, kaip ir frezavimo staklėse, nurodomos lentelėje, kaip pavaizduota 9.27 pav. Šių kompensacijų visiškai pakanka detalės nuliui nustatyti staklių nulio atžvilgiu, todėl detalės koordinačių sistemos pradžių kompensacijų lentelė dažniausiai nenaudojama (nors yra, kaip parodyta 9.12 pav.), t. y. pagal nustatytuosius parametrus taikoma detalės koordinačių sistema G54 su nulinėmis kompensacijomis. Čia kalbama tik apie dviejų (X ir Z) ir trijų (X, Z ir C) valdomų ašių stakles ir nekalbama apie centrus su valdoma Y ašimi, kuriose frezavimo darbams dažniausiai naudojama detalės koordinačių sistemos kompensacijų lentelė. Detalės koordinačių sistemų pradžių (G54–G59 ir papildomų) kompensacijų lentelė tik kartais naudojama detalės Z0 pozicijai paslinkti teigiamąja arba neigiamąja Z ašies kryptimi, įvedant atitinkamo ženklo skaičių į Z stulpelį (9.12 pav., Z AXIS).

Įrankiui geometrijos kompensacijos tekinimo staklėse taikomos ne kodu G43/G44, kaip frezavimo staklėse (tekinimo staklėse šie kodai visai nenaudojami), o pasirenkant įrankį kodu TXX, t. y. į darbo poziciją nustačius įrankį Nr. 2 kodu T02 ilgio kompensacijos iš 2-os lentelės eilutės (9.27 pav.) bus automatiškai įvertintos skaičiuojant revolverinės galvutės poslinkius. Pavyzdžiui:

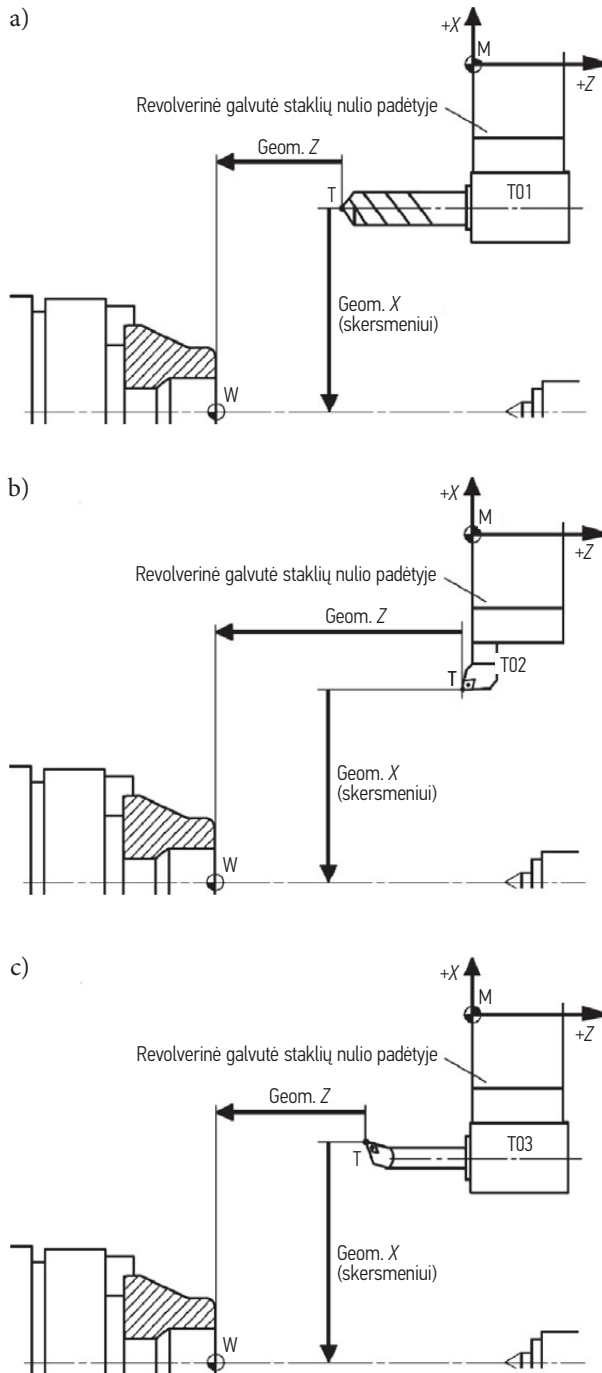
...;

G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį (taškas M, 9.26 pav.) pagal visas valdomas ašis);

T02 (revolverinė galvutė pasukama taip, kad darbo pozicijoje atsidurtų įrankis Nr. 2);

G00 Z2.0 X20.0 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką Z2 X20 detalės koordinačių sistemoje, geometrijos kompensacijos iš 2-os lentelės eilutės bus pritaikytos prieš atliekant judesį);

...;



9.26 pav. Tekinimo staklių įrankių derinimo schema, kai darbo pozicijoje:
a – grąžtas; b – tekimo peilis; c – ištekimo peilis (Smid 2003)

SETUP: 106					
(TOOL GEOMETRY)					
TOOL	X	Z	RADIUS	TAPER	TIP
1	-245.673	0.	0.	0.	0
2	-247.794	-118.664	1.000	0.	3
3	0.	0.	0.	0.	0
4	-245.257	-118.665	0.500	0.	8
5	0.	0.	0.	0.	0
6	0.	0.	0.	0.	0
7	-245.687	0.	0.	0.	0
8	-245.673	-111.695	0.	0.	0
9	0.	0.	0.	0.	0
10	0.	-124.206	0.	0.	0

ENTER A VALUE - F2 FOR X OFFSET TO CENTER LINE

WORK ZERO OFFSET		
G CODE	X AXIS	Z AXIS
G52	0.	0.

9.27 pav. „HAAS“ firmos tekinimo staklių įrankių geometrijos kompensacijų lentelė

Jeigu revolverinė galvutė yra staklių nulio padėtyje, jos atraminiam taškui (galvutės galo ir ašies susikirtimo taškas) reikės nugalėti tam tikrus atstumus, kad įrankio viršūnė patektų į tašką Z2 X20 detalės koordinacių sistemoje (2 mm nuo taško W (9.26 pav.) teigiamąja Z ašies kryptimi ir 10 mm atstumu nuo taško W teigiamąja X ašies kryptimi). Šie atstumai bus nustatyti pagal pateiktas formules, pritaikant geometrijos kompensacijas iš 2-os geometrijos kompensacijų lentelės (9.27 pav.) eilutės:

$$Z = 2 + (-118.664) = -116.664 \text{ mm staklių koordinacių sistemoje.}$$

$X = 20 + -247,794 = -227,794 \text{ mm staklių koordinacių sistemoje,}$ dvigubas atstumas. Iš tikrųjų bus įveiktas atstumas $-123,897 \text{ mm.}$

Kaip ir frezavimo, tekinimo staklių valdymo sistema skaičiuoja poslinkius savo koordinacių sistemoje (jos pradžia yra taškas M, 9.26 pav.) todėl nustatys, kokį atstumą turi nueiti revolverinė galvutė nuo staklių nulio, o atraminis įrankio taškas (viršūnė) dėl kompensacijų pateks į tašką Z2 X20 detalės koordinacių sistemoje (jos pradžia – taškas W, 9.26 pav.). To mums ir reikia. Nereikia pamiršti, kad X koordinatės (ir nurodytos programoje, ir geometrijos kompensacijos X ašies kryptimi) tekinimo staklėse dažniausiai išreiškiamos skersmeniui, o ne spinduliui, kaip parodyta 9.26 pav., jos dvigubinamos. Kad patektų į šį tašką, kitas įrankis turės nugalėti visai kitą atstumą, pritaikius jo kompensacijas iš lentelės 9.27 pav., tačiau rezultatas bus tas pats – įrankio viršūnė atsidurs taške Z2 X20.

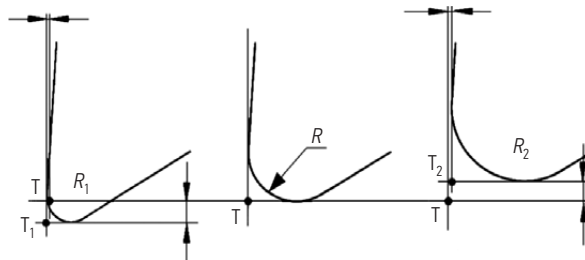
Dabar panagrinėsime, kaip nustatomos įrankių geometrijos kompensacijos. Tam yra gana daug metodų, kurie priklauso visų pirma nuo staklių modelio ir galimybių (pvz., staklės gali būti su įrankių liestuku, kaip parodyta I dalyje, 6.9 pav.). Tekinimo staklių įrankiai gali būti derinami už staklių ribų, kaip tai gali būti daroma su frezavimo staklių įrankiais. Dažniausiai, kaip ir frezavimo staklėse, taikomas prisilietimo prie ruošinio paviršiaus metodas, kurį ir nagrinėsime. Taip pat taikomas ir pagrindinio įrankio metodas, panašiai kaip frezavimo staklėse.

Kaip matoma iš 9.26 pav., geometrijos kompensacijų reikšmės yra visada neigiamos, nes nustatant kompensacijų dydį revolverinė galvutė juda nuo staklių nulio link detalės nulio W neigiamosiomis X ir Z ašį kryptimis. Tas pats ir staklėse, kuriose nėra revolverinės galvutės, o yra pasukamas peilių įtvaras (pvz., pavaizduotos I dalyje, 4.63 pav.), kuris yra ne už suklio ašies, o prieš ją arčiau operatoriaus. Tokių staklių įrankių geometrijos kompensacijos pagal X ašį taip pat bus neigiamos, nes jų X ašis nukreipta operatoriaus link.

Staklėms, kurių revolverinė galvutė yra už detalės, o griebtuvas yra kairėje nuo operatoriaus, žiūrinčio į staklę iš priekio, derinti tinka 9.26 pav. pateiktos schemos. 9.26 pav., a, parodyta schema, pagal kurią nustatomos geometrijos kompensacijos naudojamiems tekimimo staklėse ašiniams įrankiams. Tai grąžtai, sriegikliai, plėstuvai, pirštinės frezos. Tokiems įrankiams geometrijos kompensacija X ašies kryptimi yra atstumas nuo įrankio ašies iki suklio ašies, o Z ašies kryptimi – atstumas nuo įrankio galo iki ruošinio galo.

Tekimimo peilių geometrijos kompensacijos yra atstumai nuo peilio įsivaizduojamos viršūnės (įsivaizduojamos todėl, kad plokštelės viršūnė visada suapvalinta tam tikru spinduliu) iki suklio ašies (X kompensacija, skersmeniui) ir iki detalės galo (Z kompensacija), kaip parodyta 9.26 pav., b. Dirbant su šiais įrankiais reikia visada atsižvelgti į tai, kokios plokštelės naudojamos laikikliuose. Jeigu vieno suapvalinimo spindulio plokštelė keičiama kito spindulio plokšte, viršūnės padėtis pasikeis, nors pats peilis liks savo vietoje. Todėl reikia iš naujo nustatyti geometrijos kompensacijas, nors spindulių skirtumai gali būti ir nereikšmingi, kitaip gali atsirasti brokuotų detalių. Toks atvejis parodytas 9.28 pav. Jeigu nustatant kompensacijas buvo naudojama plokštelė, kurios viršūnės suapvalinimo spindulys R , galima valdyti programoje taško T trajektoriją. Pakeitus plokštelę, kurios spindulys yra R_1 arba R_2 , jos atraminis taškas iš T padėties persikels į T_1 arba T_2 . Tokiu būdu programoje nurodytos taško T koordinatės, jomis jis ir judės, tačiau dėl viršūnės padėties pasikeitimo dalis medžiagos gali būti nenupjauta arba nupjauta per daug.

Ištekimimo peilių geometrijos kompensacijos parodytos 9.26 pav., c. Jiems taip pat nurodomas atstumas nuo peilio įsivaizduojamos viršūnės iki suklio ašies (X kompensacija, skersmeniui) ir iki detalės galo (Z kompensacija), kaip parodyta 9.26 pav., c.

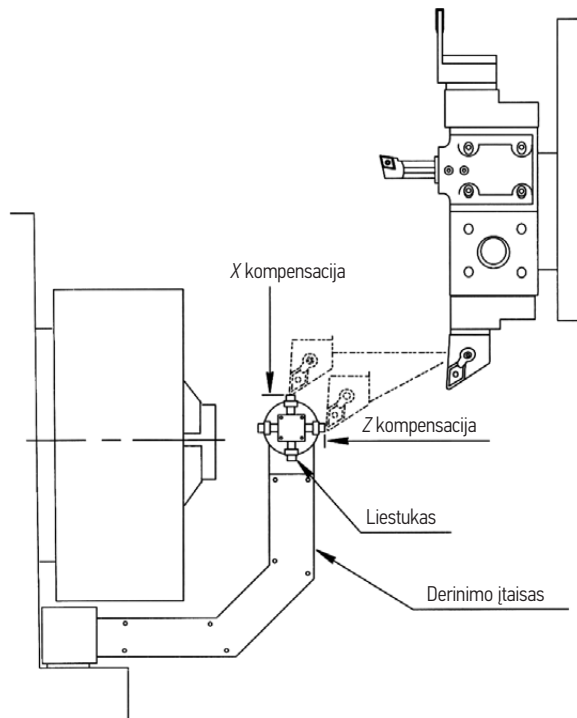


9.28 pav. Peilio viršūnės spindulio įtaka peilio atraminio taško T padėčiai

Skirtingai nuo išorinio apdirbimo (tekimo, griovelių, sriegimo) peilių, ištekimo peilių X kompensacija yra didesnė, o Z – mažesnė. Čia taip pat reikia būti atsargiems keičiant atšipusias plokšteles dėl suapvalinimo spindulio.

Žiūrint į 9.26 pav. gali kilti klausimas – kaip įrankio viršūne prisiliesti prie suklio (ruošinio) ašies? Prisiliesti prie ruošinio galo (nustatyti Z ašies kompensaciją) yra nesudėtinga, rankinio poslinkio pagal ašis režimu prisilietus paspaudžiamas mygtukas (pavyzdžiui, „HAAS“ firmos valdymo įrenginys turi tam mygtuką *Z Face Mesur*) ir šio taško Z koordinatė staklių koordinatinių sistemoje automatiškai patenka į geometrijos kompensacijų lentelės Z stulpelį (9.27 pav.), tai ir yra įrankio Z ašies geometrijos kompensacija. X ašies atveju uždavinyje gali atrodyti sudėtingas, nes ruošinio ašis yra tik įsivaizduojama, ji neegzistuoja. Taip atrodo tik iš pirmo žvilgsnio. Iš tikrųjų operatorius arba derintojas prisiliečia ne prie ašies (prie kurios jis ir negali prisiliesti), o prie žinomo skersmens detalės šoninio paviršiaus. Toliau įrašo kompensacijos reikšmę į lentelę spausdamas mygtuką (pavyzdžiui, „HAAS“ firmos įrenginyje yra mygtukas *X Dia Mesur*) ir prie šios reikšmės tiesiog prideda skersmenį (iš tikrųjų reikėtų pridėti spindulį, tačiau nepamirškite, kad tekimo staklėse X koordinatės dažniausiai programuojamos padvigubintos, t. y. išreikštos skersmeniui), tokia reikšmė tampa galutine įrankio X ašies geometrijos kompensacija.

Dar paprasčiau derinti stakles su įrankių derinimo įtaisais (9.29 pav.). Tokiu atveju operatorius rankiniu režimu prisiliečia ne prie ruošinio paviršiu, o prie liestuko.



9.29 pav. Tekimo staklių su įrankių derinimo įtaisais derinimo schema (Quesada 2005)

Prisiliečia įrankio viršūne abiem X ir Z kryptimis. Kompensacijos reikšmė įrašoma automatiškai į lentelę, įvykus įrankio pjovimo briaunos ir liestuko kontaktui. Pagal X ašį įrankio viršūnė „priderinama“ prie ruošinio ašies automatiškai, o liestuko ir ruošinio galinės plokštumos padėčių skirtumas Z ašies kryptimi kompensuojamas detalės koordinacių sistemos G54–G59 Z ašies kompensacijos reikšme visiems programoje naudojamiems įrankiams.

Tekinimo staklėse vienam įrankiui galima priskirti tik vieną geometrijos kompensaciją X ir Z ašių kryptimis.

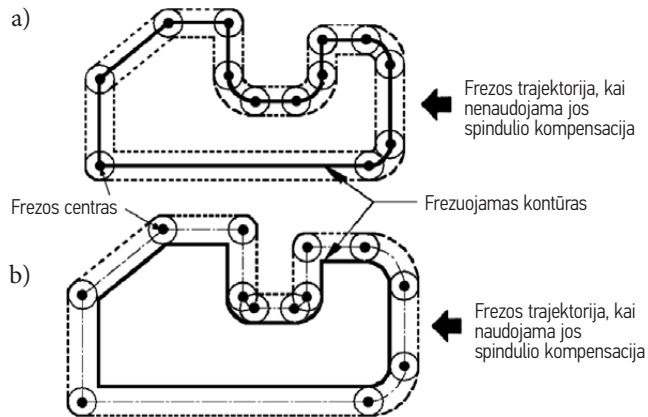
9.2.2. Spindulių kompensacija

Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai

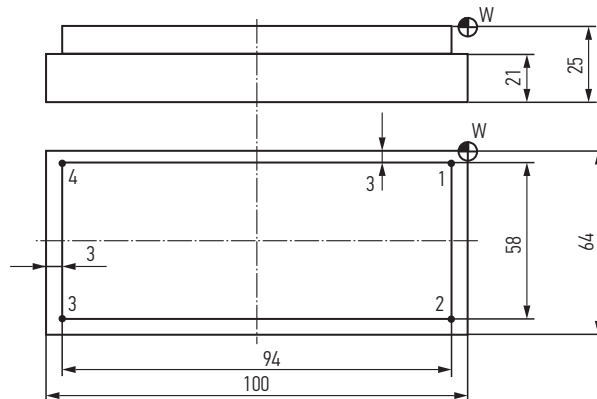
Dar viena kompensacija, skirta palengvinti įrankių judėjimo trajektorijų programavimą XY plokštumoje, vadinama *įrankio skersmens/spindulio kompensacija*. Be jos sunkiai apsieinama šiuolaikinėse CNC frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose. Viena pagrindinių operacijų, atliekamų vertikaliosiomis arba horizontaliosiomis frezavimo staklėmis, yra detalių ir jų elementų šonų frezavimas arba kišenų ir iškyšų (9.30 pav.) frezavimas pirštinėmis frezomis. Frezuojant iš pradžių frezos viršūnė pozicionuojama reikiamame gylyje Z ašies kryptimi, toliau besisukančiai frezai suteikiami tiesinės arba apskritiminės interpoliacijos judesiai plokštumoje XY . Tokie judesiai programuojami nuo vieno iškyšos arba kišenės kontūro perėjimo taško iki kito, kol apeinamas visas kontūras. Jau žinome, kad trajektorijos taškų koordinatės XY plokštumoje programoje nurodomos įrankio (arba suklio, kas reiškia tą patį) ašiai. Kaip matyti iš ankstesnių programų pavyzdžių, frezuojant kišenę arba iškyšą ne įrankio ašies trajektorija turi sutapti su brėžinyje nurodytu kontūru (9.30 pav., a), bet taško, priklausančio periferiniam įrankio paviršiui, trajektorija (9.30 pav., b). Tai reiškia, kad iškyšos arba kišenės apdirbimo programoje turi būti užprogramuota įrankio ašies trajektorija, kuri yra nutolusi tam tikru atstumu (frezos spinduliu, kaip matyti iš 9.30 pav.) nuo nominalaus detalės elemento kontūro (kurio matmenys nurodyti detalės brėžinyje). Todėl programuojant trajektoriją prie apdirbamo detalės elemento kontūro taškų koordinacių, nustatytų pagal detalės brėžinį, reikia pridėti arba atimti frezos spindulį, o kartais taikyti ir trigonometrijos formules. Būtų tam tikrų nepatogumų, jei valdymo sistema neturėtų galimybės kompensuoti frezos spindulį automatiškai.

9.30 pav. pateiktos dvi įrankio ašies trajektorijos. Viršuje parodyta nesukompensuota trajektorija, apačioje – sukompensuota. Ir vienu, ir kitu atveju buvo užprogramuoti tie patys kontūro taškai, tačiau pirmuoju atveju spindulio kompensacija nebuvo taikoma, antruoju – buvo. Matome, kad viršutiniame pavyzdyje parodyta trajektorija yra neteisinga. Brėžinyje nurodyti detalės matmenys nebus gauti.

Brėžinyje nurodyti matmenys yra detalės kontūro, o ne įrankio ašies trajektorijos. Programuotojas mato juos iš brėžinio, pagal juos jam būtų labai patogu programuoti įrankio trajektorijas. Tik nelabai patogu nustatyti frezos ašies koordinates XY plokšt-



9.30 pav. Nesukompensuota (a) ir sukompensuota (b) frezos trajektorija frezuojant detalės iškyšą (Smid 2003)



9.31 pav. Frezuojama detalė

tumoje, nes reikia įvertinti frezos spindulį. Pradėsime nuo paprasto pavyzdžio. Pavyzdžiui, reikia parašyti programą labai paprastai iškyšai, parodytai 9.31 pav., apdirbti. Ruošinys yra $100 \times 64 \times 25$ mm metalo gabalas, nuo kurio šonų reikia nuimti 3 mm pagal perimetrą, 4 mm gyliu nuo viršaus.

Numačius detalės koordinatinių sistemos pradžią viršutiniame dešiniajame ruošinio kampe, kaip parodyta 9.31 pav., iš pradžių parengsime programą detalės iškyšai frezuoti, kai įrankio ašies trajektorijos taškai sutampa su iškyšos kontūro taškais, nustatant taškų koordinates tiesiog iš brėžinio, nepridedant ir neatimant frezos spindulio.

025631

(programa 9.31 pav. parodytai detalės iškyšai apdirbti);

N1 T01 M06 (iš dėtuovės pasirenkama pirštinė freza – įrankis Nr. 1);

N2 S2000 M03 (paleidžiamas sukštis pagal laikrodžio rodyklę suklys, jo sukiai – 2000 suk./min);

- N3 G90 G54 G00 X6.0 Y6.0 (įrankis pagreitintai pozicionuojamas virš ruošinio XY plokštumoje taške, kuris 6 mm nutolęs nuo detalės nulio pagal X ir Y ašis);
- N4 G43 H01 Z2.0 (įrankis pagreitintai nuleidžiamas 2 mm aukščiau virš ruošinio viršutinio paviršiaus (Z0), pritaikant jo ilgio kompensaciją iš 1-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės);
- N5 G01 Z-4.0 F100.0 M08 (įrankio viršūnė nuleidžiama 4 mm žemiau ruošinio paviršiaus (Z0) iki darbinio gylio 4 mm, pastūma – 100 mm/min, įjungiamas TAS tiekimas);
- N6 X-3.0 Y-3.0 F180.0 (įrankis juda į tašką 1 detalės koordinatinių sistemoje G54 su 180 mm/min pastūma);
- N7 Y-61.0 (įrankis juda į tašką 2 tuo pačiu pastūmos greičiu);
- N8 X-97.0 (įrankis juda į tašką 3 tuo pačiu pastūmos greičiu);
- N9 Y-3.0 (įrankis juda į tašką 4 tuo pačiu pastūmos greičiu);
- N10 X-1.0 (įrankis juda į tašką, kuris yra 2 mm į dešinę nuo taško 1 tuo pačiu pastūmos greičiu);
- N11 G00 Z2.0 M09 (greitasis įrankio atitraukimo judesys Z ašies kryptimi į tašką Z2 detalės koordinatinių sistemoje);
- N12 G28 Z2.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį per įrankio tašką Z2);
- N13 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Matyti, kad trajektorijos perėjimo taškų 1–4 koordinatės iš brėžinio nustatomos labai nesudėtingai, pridėdant arba atimant prie nurodytų matmenų frezuojamo laiptelio plotį. Reikia pasakyti, kad pagal šią programą gauti detalės matmenys neatitiks nurodytų brėžinyje. Taip yra todėl, kad užprogramuota trajektorija judės taškas, gautas frezos galinės pjovimo briaunos ir ašies susikirtimo vietoje (tai yra įrankio atraminis taškas). Jeigu frezos skersmuo yra, pvz., 6 mm, vietoje 94 mm matmens gausime 88 mm ($94 - 2R$, čia R – frezos spindulys), o vietoje 58 – 52 mm ($58 - 2R$). Jeigu naudosisime 10 mm skersmens frezą, vietoje 94 mm gausime 84 mm, o vietoje 58 – 48 mm. Kad to neįvyktų, turime „pastumti“ trajektoriją į vieną arba į kitą pusę, priklausomai nuo to, koks 9.31 pav. pavaizduotos iškyšos šonas apdirbamas. Todėl, perskaičiavę koordinates, turime perrašyti dalį programos. Teisinga programa frezuojant 10 mm skersmens freza atrodo taip (skliaustuose parodyti atlikti aritmetiniai veiksmai su koordinatėmis, kad programa veiktų teisingai):

- N6 X2.0 Y-3.0 F180.0 (prie ankstesniame pavyzdyje užprogramuotos X koordinatės reikėjo pridėti frezos spindulį, t. y. 5 mm ($-3 + 5 = +2$ mm));
- N7 Y-66.0 (iš ankstesniame pavyzdyje užprogramuotos Y koordinatės reikia atimti frezos spindulį, t. y. 5 mm ($-61 - 5 = -66$ mm));
- N8 X-102.0 (nuo ankstesniame pavyzdyje užprogramuotos X koordinatės reikia atimti frezos spindulį, t. y. 5 mm ($-97 - 5 = -102$ mm));
- N9 Y2.0 (prie ankstesniame pavyzdyje užprogramuotos Y koordinatės reikia pridėti frezos spindulį, t. y. 5 mm ($-3 + 5 = +2$ mm));

Likusios programos O25631 eilutės liks tokios pat.

Matome, kad norint užtikrinti teisingą programos darbą reikėjo gana nesudėtingai perskaičiuoti iškyšos kontūro koordinates, tačiau tai atliekant galima padaryti klaidų.

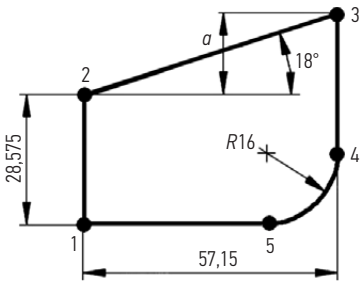
Be to, reikia įvertinti tai, kad nagrinėjamas kontūras labai paprastas, jam gauti nereikia programuoti apskritiminės interpoliacijos judesių bei tiesinės interpoliacijos judesių, atliekamų dviejų ašių kryptimis vienu metu. Tada įvertinti frezos spindulį būtų dar sudėtingiau. Patobulinta programa bus teisinga tik su 10 mm skersmens freza. Jeigu bus naudojama kitokio skersmens freza, koordinatės vėl turi būti perskaičiuotos. Tokie yra šio metodo trūkumai. Šiuolaikinėse CNC staklėse galima ir neatlikti šių skaičiavimų, leidžiant valdymo sistemai pačiai atlikti juos ir automatiškai pakoreguoti trajektoriją įrankio spindulio, kurio reikšmė saugoma įrankių kompensacijų lentelėje, dydžiu. Tokia galimybė sudaroma valdymo sistemos gamintojo ir vadinama *įrankio spindulio/skersmens kompensacija*. Įjungus ją atitinkamu G kodu, valdymo sistema pati pridės (arba atims) prie užprogramuotos įrankio ašies trajektorijos (kuri ir buvo programuota pirmame pavyzdyje) taškų X ir Y koordinačių kompensacijų lentelėje nurodytą spindulio reikšmę ir privers judėti įrankio ataminį tašką pagal pakoreguotą trajektoriją (9.30 pav., b). Tai reiškia, kad visai nereikia atlikti aritmetinių veiksmų, atliktų antrame programos pavyzdyje, o tik nurodyti tam tikrus kodus pirminiame programos O25631 variante, norint gauti tą patį rezultatą. Taip gerokai paprasčiau ir lengviau, aprašoma įrankio atraminio taško trajektorija pagal brėžinį, o ten, kur to reikia, įjunginama (arba neįjunginama) skersmens kompensacija.

Tai yra naudinga ir kitu atveju. Tegul dėtuvėje turime frezą, kurios skersmuo 10 mm ir kuri, padirbusi tam tikrą laiką, atšimpa arba lūžta. Kitos tokios frezos gauti nepavyksta, įmonėje yra tik 12 mm skersmens frezos. Nenaudodami skersmens kompensacijos turime taisyti programą, perskaičiuoti kai kurias jos koordinates, kaip buvo parodyta. Didėja tikimybė padaryti klaidų. Naudojant kompensaciją, reikia tik į staklių įrankių kompensacijų lentelę įrašyti naują spindulio (arba skersmens, priklausomai nuo sistemos nustatymų) reikšmę ir, jeigu nėra kitų ključių (pvz., padidėjus frezos skersmeniui, galima užkabinti kokius nors detalės elementus, tarp kurių tilpdavo ankstesnė freza, labai sumažėjus frezos skersmeniui reikia mažinti pastūmą ir pan.), galima naudotis ta pačia programa.

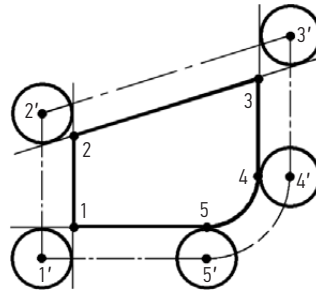
Panagrinėsime šiek tiek sudėtingesnę pavyzdį – frezuosime iškyšą, pavaizduotą 9.32 pav. Detalės arba programos koordinačių sistemos pradžią (detalės nulį) pasirenkame kairiajame apatiniame kampe – taške 1 (9.32 pav.). Detalės kontūre išskiriame penkis taškus, kuriuose įrankio trajektorija keičia savo kryptį, todėl svarbu žinoti jų koordinates detalės koordinačių sistemoje. Kai kurių taškų koordinatėms nustatyti nereikia net skaičiavimų atlikti. Sunkiausia nustatyti taško 3 Y koordinatę, tam reikia turėti skaičiuotuvą nepriklausomai nuo to, naudosime spindulio kompensacijas ar ne. Taško 3 Y koordinatė apskaičiuojama taip:

$$Y_3 = 28,575 + a = 28,575 + 18,569 = 47,144, a = 57,15 \tan 18^\circ = 18,569.$$

Apdirbti reikalingų penkių taškų X ir Y koordinatės pateikiamos 9.2 lentelėje.



9.32 pav. Frezuojamas detalės iškyšos kontūras (Smid 2003)



9.33 pav. Frezos ašies trajektorija (1'–5') plokštumoje XY frezuojant 9.32 pav. parodytą iškyšą (Smid 2003)

9.2 lentelė. 9.32 pav. parodyto kontūro perėjimo absoliučiosios taškų koordinatės detalės koordinatinių sistemoje

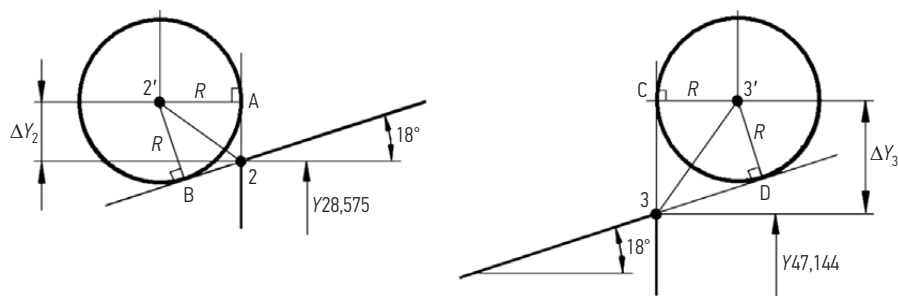
Taško Nr.	X koordinatė	Y koordinatė
1	0	0
2	0	28,575
3	57,15	47,144
4	57,15	16
5	41,15	0

9.2 lentelėje pakanka duomenų pirštinės frezos trajektorijai apie kontūrą užprogramuoti, bet tik tuo atveju, kai naudojama spindulio kompensacija. Pabandydysime iš pradžių apsieiti be jos. Mūsų tikslas – pasiekti, kad tikroji frezos ašies trajektorija būtų vienodu atstumu (frezos spinduliu) nutolusi nuo kontūro taip, kai parodyta 9.33 pav., t. y. įrankio ašies trajektorija turi būti iškyšos kontūro ekvidistantė. Tai reiškia, kad reikalingos 1–5 taškų koordinatės įvertinus frezos spindulį, t. y. reikia nustatyti ir programoje nurodyti taškų 1'–5' (9.33 pav.) koordinates. Sakykime, frezos skersmuo – 8 mm. Turėdami detalės brėžinį galime gana nesunkiai (be skaičiuotuvo) nustatyti tik 8 iš 10 taškų koordinates. Matome, kad gana sunku nustatyti 2' ir 3' taškų (kur kas sunkiau, negu prieš tai nagrinėtame pavyzdyje) Y koordinates, tačiau vis dėlto pabandydysime tai padaryti. Naudojantis 9.34 pav. nustatyti jas bus lengviau. Trikampiai 2B2' ir 2A2', taip pat trikampiai 3C3' ir 3D3' tarpusavyje yra lygūs. Tada galima užrašyti:

$$\angle B2'2 = \angle A2'2 = 36^\circ; \tan 36^\circ = \frac{\Delta Y_2}{R} \Rightarrow \Delta Y_2 = R \tan 36^\circ = 4 \tan 36^\circ = 2,906,$$

$$\angle 3'3C = \angle 3'3D = 36^\circ; \tan 36^\circ = \frac{R}{\Delta Y_3} \Rightarrow \Delta Y_3 = \frac{R}{\tan 36^\circ} = \frac{4}{\tan 36^\circ} = 5,506.$$

Tikrosios frezos ašies koordinatės programai paruošti pateikiamos 9.3 lentelėje.



9.34 pav. Įrankio ašies trajektorijos taškų 2' ir 3' Y koordinatčių nustatymo schema (Smid 2003)

9.3 lentelė. Frezos ašies trajektorijos taškų 1'–5' (9.33 pav.) absoliučiosios koordinatės detalės koordinatčių sistemoje frezuojant 9.32 pav. parodytą iškyšą

Taško Nr.	X koordinatė	Y koordinatė
1'	-4,0	-4,0
2'	-4,0	31,481
3'	61,15	52,650
4'	61,15	16,0
5'	41,15	-4,0

Taigi, atlikus reikalingus skaičiavimus turimos visos koordinatės, reikalingos užprogramuoti frezos, kurios skersmuo yra 8 mm (*bet ne kitoks*), ašies trajektoriją 1'–5' (9.33 pav.) XY plokštumoje. Tokiu būdu (įvertinant frezos spindulį) buvo programuojamos senesnių tipų programinės staklės (NC, ne CNC tipo), kuriose nebuvo automatinio spindulio kompensavimo galimybių. Taip programuojant buvo sugaištama daug laiko, klaidų tikimybė buvo gana didelė, be to, toks būdas nepasižymėjo lankstumu, nors ir nedaug pasikeitus frezos skersmeniui, reikėjo perskaiciuoti koordinatės ir paruošti naują perforuotą juostą. Šiuolaikinių CNC staklių operatoriai ir programuotojai jau nebeturi tokio malonumo (gal ir gaila, kad neturi, nes kartais gera prisiminti trigonometriją), o tiesiog naudoja frezos spindulio kompensacijas. Prie pavyzdžio dar sugrįšime tada, kai sužinosime, kaip spręsti šį uždavinį paprasčiau, be sudėtingesnių skaičiavimų, t. y. kai mokėsime taikyti įrankio spindulio kompensaciją.

Spindulio kompensacijos galimybė ne visada buvo staklėse, o jeigu ir buvo, tai ne visada buvo tokiu pavidalu, kaip šiuolaikinėse CNC valdymo sistemose, t. y. spindulio kompensacijos funkcija tobulėjo kartu su CNC valdymo sistemomis. Šiuo metu metalo apdirbimo cechuose galima aptikti stakles su trijų tipų kompensacijomis – A, B ir C.

1. A tipo kompensacijos naudojamos seniausių tipų CNC sistemose, kuriose yra specialūs adresai pjovimo krypties nustatyti (naudojami G39, G40, G41 ir G42 kodai).

2. B tipo kompensacijos naudojamos senesnių tipų CNC sistemose, kuriose naudojami tik G40, G41 ir G42 kodai, tačiau nėra „žiūrėk pirmyn“ galimybės.
3. C tipo kompensacijos, naudojamos šiuolaikinėse staklėse, kurių programose naudojami tie patys kodai G40, G41 ir G42, kaip ir antruoju atveju, tačiau yra „žiūrėk pirmyn“ galimybė.

Ateityje dažniausiai nagrinėsime tik trečiojo tipo sistemas ir nevadinsime specialiausių C tipo.

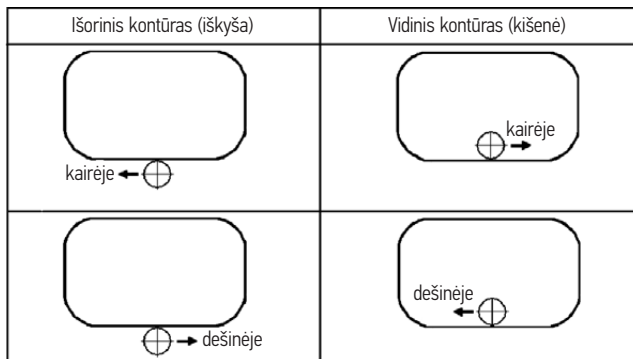
Norint taikyti spindulio kompensaciją programoje reikia žinoti tris dalykus:

1. Kontūro taškų koordinatas (neįvertinant spindulio), pvz., 1–5, 9.32 pav., 9.2 lentelė.
2. Kompensacijos kryptį.
3. Frezos spindulį (arba skersmenį), kuris įvedamas į valdymo sistemos atmintį.

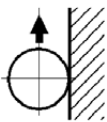
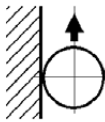
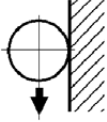
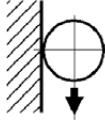


Visa kita apskaičiuos valdymo sistema ir pakoreguos įrankio trajektoriją automatiškai. Tarp trijų išvardytų parametrų yra vienas, kuris nebuvo aptartas. Tai kompensacijos kryptis. Kalbant apie kompensacijas galimos dvi frezos judesio kryptys: kontūro *kairėje* ir kontūro *dešinėje* (9.35 pav.). Terminai *pagal laikrodžio rodyklę* ir *prieš laikrodžio rodyklę* čia netinka, nes apdirbamas kontūras gali būti ir vidinis (kišenė), ir išorinis, kaip parodyta 9.35 pav.

Spindulio kompensacijų kodais trajektoriją spindulio dydžiu nuo apdirbamo kontūro galima pastumti į kairę arba į dešinę. Norint pritaikyti programoje spindulio kompensacijas naudojami du G kodai – G41 ir G42. G41 kodu spindulys kompensuojamas kontūro kairėje, G42 kodu – dešinėje (9.36 pav.). G40 kodu spindulio kompensacija atšaukiama. G41/G42 kodai papildomi adresu D..., po kurio nurodomas eilutės numeris kompensacijų lentelėje, iš kurio reikia imti įrankio spindulį arba skersmenį trajektorijai koreguoti. Paprastai šis numeris atitinka įrankio numerį dėtuviėje, pvz., įrankiui T01 – G41 D01, T03 – G42 D03 ir pan.

Dažniausiai praktikoje taikoma kompensacija iš kontūro kairės, nes tokiu atveju frezuojama pagal pastumą ir toks metodas yra labiausiai paplitęs. Frezuojant iškyšą arba kišenę G41 naudojamas frezuoti pagal pastumą (kai pastūmos ir įrankio pjovi-



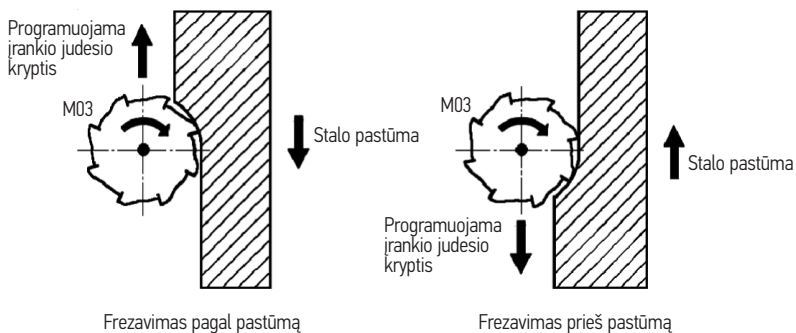
9.35 pav. Frezos spindulio kompensacijos kryptys, frezuojant vidinius ir išorinius kontūrus

	G41 kairėje		G42 dešinėje
	G42 dešinėje		G41 kairėje
	G40 nenaudojama		G40 nenaudojama

9.36 pav. G41/G42/G40 kodų veikimas (Smid 2003)

mo greičio vektorių kryptys sutampa), G42 – prieš pastumą (kryptys yra priešingos), tai matyti 9.37 pav. Tam turi būti naudojama dešininė freza (kaip ir dauguma frezų), suklys turi sukstis pagal laikrodžio rodyklę (turi būti aktyvus kodas M03). Jeigu naudojama kairinė freza, suklys sukasi prieš laikrodžio rodyklę, taisyklės, pateiktos anksčiau, keičiamos į priešingas.

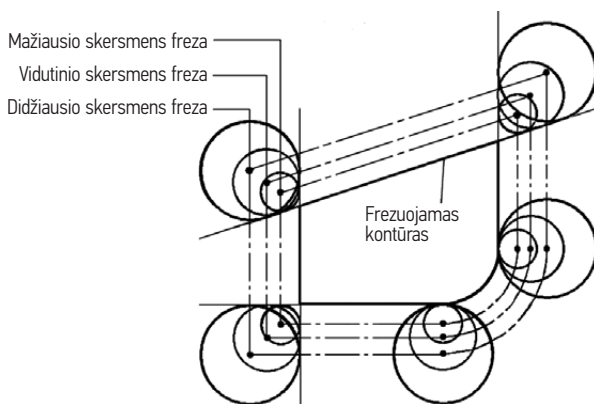
9.38 pav. parodyta, kaip frezuojamas ankstesnis kontūras skirtingo skersmens pirštinėmis frezomis taikant spindulio kompensaciją. Kad ir koks būtų frezos skersmuo, iškyšos matmenys nesikeis, jeigu nurodytas teisingas frezos spindulys. Programuojant trajektorijos kitimo taškų koordinates, visiškai nebūtina žinoti frezos spindulio, nes trajektoriją pakoreguos pati valdymo sistema ir pagal ją frezuos. Todėl rengti programą ir derinti stakles gali du skirtingi asmenys (inžinierius technologas parašo programą, o darbininkas suderina stakles detalei apdirbti). Frezos spindulį (arba skersmenį, priklausomai nuo sistemos nustatymų) operatorius nurodo specialiose lentelėse,



9.37 pav. Frezavimo kryptys (čia kaip tik reikia prisiminti, kad frezavimo staklėse X ir Y ašimis dažniausiai juda stalas, o ne įrankis, nors programuojamas įrankio judesys minėtų ašių kryptimis) (Smid 2003)

kurios vadinamos *spindulio kompensacijų lentelėmis (Radius Offset)*, panašiose į ilgių kompensacijų lenteles, nagrinėtas 9.2.1 skirsnyje. Šios lentelės į programinio valdymo įrenginio vaizduoklį iškviečiamos specialiais mygtukais, esančiais operatoriaus valdymo pulte (pavyzdžiui, „HAAS“ firmos valdymo įrenginyje yra mygtukas *OFFSET*). Spindulio kompensacijų lentelė („HAAS“ kompensacijų lentelė parodyta 9.8 pav., viršuje (lentelė *D(DIA)*)), nustatyta taip, kad įvedamas įrankio skersmuo, o ne spindulys) dažniausiai būna šalia ilgių kompensacijų lentelės ir kartu iškviečiamos į ekraną. Ten pat yra įrankių dilimo kompensacijų (*Wear Offset*) lentelės, apie kurias bus kalbama šiek tiek vėliau. 9.8 pav. pavaizduotoje lentelėje matoma, kad pirmojo įrankio dėtuvėje skersmuo yra 32 mm, antrojo įrankio – 8 mm ir t. t. Čia gali kilti klausimas: kodėl įvedamas skersmuo, o ne spindulys, kurio dydis naudojamas trajektorijai perkelti? Šiuolaikinėse valdymo sistemose operatoriaus patogumui dažniausiai leidžiama nurodyti spindulį dvejopai: spindulį arba skersmenį. Būdą pasirenka operatorius vidiniais sistemos nustatymais („HAAS“ firmos staklėse tam naudojamas nustatymas 40 – *Tool Offset Measure*, kuris turi dvi reikšmes – *Radius* ir *Diameter*). Be abejo, jeigu net ir pasirinktas skersmuo, sistema neperkels trajektorijos skersmens dydžiu, ji tik padalins įvestą reikšmę iš dviejų. Nurodžius G41 arba G42 kodą su adresu D... (po D adreso nurodomas eilutės numeris, iš kurio imamas skersmuo/spindulys, dažniausiai sutampa su įrankio numeriu) valdymo sistema paims iš lentelės reikšmę ir pakoreguos įrankio judesio trajektoriją. Pakeitus įrankį nauju, kurio skersmuo skiriasi nuo pradinio, užtenka tik įvesti naują skersmenį arba spindulį (čia gali atsirasti kitų problemų, kurios bus aptartos toliau).

Spindulio kompensacijų lentelės ne visada buvo atskiros, kaip parodyta 9.8 pav. Tobulėjant valdymo sistemoms keitėsi spindulio kompensacijų lentelių tipai, didėjo jų lankstumas ir darbo saugumas. Dėl valdymo sistemų patikimumo šiuo metu įmonių cechuose galima aptikti ir gana senų staklių modelių, kuriose lentelės skiriasi ir visai



9.38 pav. Skirtingų skersmenų frezų ašių trajektorijos XY plokštumoje frezuoiant iškyšą ir taikant spindulio kompensaciją (Smid 2003)

nepanašios į pateiktą 9.8 pav. Lentelių skirtumai „Fanuc“ valdymo sistemose buvo apibūdinami raidėmis A, B ir C (prašome nepainioti su anksčiau minėtais įrankio spindulio kompensacijų tipais). A tipo sistemos yra mažiausiai lanksčios, lankstesnės yra B tipo sistemos, o lanksčiausios yra šiuo metu gaminamos C tipo sistemos. Panašią evoliuciją patyrė ir kitos panašios į „Fanuc“ sistemos. Šių tipų lentelės parodytos 9.39 pav. (A tipo viršuje, C – apačioje, tarp jų B).

A tipo sistemose įrankių ilgių kompensacijos ir spinduliai užrašomi viename stulpelyje, t. y. kiekvieno įrankio ilgio kompensacijos reikšmė laikoma tame pačiame stulpelyje *Offset* kaip ir spindulio kompensacijos reikšmė, bet skirtingose eilutėse. Kompensacijų adresas H valdymo programose naudojamas ir ilgio, ir spindulio kompensacijoms pritaikyti. Dilimo kompensacijos nustatyti negalima.

B tipo sistemose yra du stulpeliai, tačiau nėra atskiri ilgių ir spindulio kompensacijų reikšmėms. Vienas stulpelis skirtas ilgių kompensacijų reikšmėms ir spinduliams (*Geometry*), kitas – jų dilimo kompensacijų reikšmėms (*Wear*). Programose dažniausiai naudojamas vienas kompensacijų adresas H norint pritaikyti ir ilgio, ir spindulio kompensacijas.

C tipo sistemose ilgių (*H-Offset Geometry*) ir spindulio (*D-Offset Geometry*) kompensacijos surašytos į skirtingus stulpelius, taip pat kaip ir dilimo kompensacijų reikšmės. Dilimo kompensacijos (*Wear*) gali būti taikomos ir pagal įrankio ilgį (*Z* ašies kryptimi), ir pagal spindulį (*X* ir *Y* ašių kryptimis). Programose naudojami skirtingi adresai spindulio kompensacijai (*D*) ir ilgio kompensacijai (*H*) pritaikyti. Tokios sistemos yra lanksčiausios ir pažangiausios iš visų. Jos ir naudojamos šiuolaikinėse frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose (9.8 pav.).

Offset No.	Offset
01	0.000
02	0.000
03	0.000
...	...

Offset No.	Geometry	Wear
01	0.000	0.000
02	0.000	0.000
03	0.000	0.000
...

Offset No.	H-offset		D-offset	
	Geometry	Wear	Geometry	Wear
01	0.000	0.000	0.000	0.000
02	0.000	0.000	0.000	0.000
03	0.000	0.000	0.000	0.000
...

9.39 pav. Staklių kompensacijų lentelės iš viršaus žemyn: A, B ir C tipų (Smid 2003)

Skirtumas tarp šių sistemų toks: kaip programoje nurodyti, kokią kompensacijos reikšmę reikia panaudoti naujai įrankio trajektorijai apskaičiuoti. A ir B tipo sistemos yra su vienu kompensacijų stulpeliu, kuriame pateikiami tų pačių įrankių ilgių ir spindulio (skersmens) kompensacijų dydžiai (tik skirtingose eilutėse). Jose paprastai naudojamas tik adresas H su ilgio kompensacijos kodu G43 ir su spindulio kompensavimo kodais G41 bei G42. Daugeliui įrankių, esančių frezavimo staklių dėtuvėje, spindulio kompensacijos nenaudojamos (pvz., grąžtams, sriegikliams, galinėms frezoms, pirštinėms frezoms kai kuriose operacijose), tačiau ilgių kompensacijos naudojamos visiems įrankiams. Jeigu įrankiui reikia ir ilgio, ir spindulio kompensacijos, galima naudoti vieną adresą H su skirtingais kompensacijų numeriais (lentelės eilučių numeriais). Paaiškinsime pavyzdžiu. Tegul įrankiui, kurio numeris dėtuvėje yra 5, reikia abiejų minėtų kompensacijų tipų. 5-ame kompensacijų lentelės stulpelyje įrašoma jo ilgio kompensacijos reikšmė, kituose stulpeliuose įrašomos kitų įrankių ilgių kompensacijų reikšmės (pagal jų numerius dėtuvėje), o nenaudojamose eilutėse – spindulio kompensacijos (pvz., 35-oje užrašytas 5-ojo įrankio spindulys, kaip parodyta 9.4 lentelėje). Taigi norint pritaikyti ilgio kompensaciją, programoje nurodoma G43 H05, o jeigu reikia spindulio kompensacijos – G41 H35 arba G42 H35 atitinkamai.

9.4 lentelė. A tipo kompensacijų lentelė su reikšmėmis

Offset No.	Offset
...	...
05	-248.256
...	...
35	5.0

Kitaip yra C tipo sistemose, jose yra atskiri stulpeliai ilgių ir spindulio kompensacijoms. Čia galima naudoti tą patį lentelės eilutės numerį skirtingų tipų kompensacijoms pritaikyti, tačiau kreipiantis į jas naudojami skirtingi adresai. Taip adresas D programose naudojamas spindulio kompensacijoms taikyti po G41/G42, o adresas H po kodo G43 – ilgių kompensacijoms taikyti. Tai yra labai patogu, ties kiekvieno įrankio numerio lentelėje galima matyti ir jo spindulį (skersmenį), ir ilgio kompensaciją. Mūsų atveju kompensacijų lentelė atrodytų taip, kaip parodyta 9.5 lentelėje.

9.5 lentelė. C tipo kompensacijų lentelė su reikšmėmis

Offset No.	H-Offset		D-Offset	
	Geometry	Wear	Geometry	Wear
...
05	-248.256	0.000	5.0	0.000
...

Norint pritaikyti spindulio kompensaciją nurodoma G41 (arba G42) D05, o norint pritaikyti ilgio kompensaciją – G43 H05. Tokios arba panašios lentelės yra šiuolaikinių staklių valdymo sistemose (9.8 pav.).

Į spindulio kompensacijos lentelę paprastai įrašomos tik nominaliosios spindulių reikšmės (tas pats ir ilgių kompensacijos). 9.5 lentelėje naudota freza, kurios nominalus skersmuo – 10 mm, todėl į lentelę įrašomas 5 mm spindulys. Dabar įsivaizduokime, kad skersmuo yra 0,05 mm mažesnis arba jis sumažėjo darbo metu frezai dylant. Gausime didesnę (iškyšai) arba mažesnę (kišenei) matmenį apdirbę. Norint pakoreguoti trajektoriją reikiama dydžiu nebūtina keisti skersmenį arba spindulį stulpelyje, o tam tereikia įvesti reikiamą dilimo kompensaciją *Wear* (dilimo kompensacijos ir jų taikymas bus nagrinėjamos tolesniuose skirsniuose) stulpelyje su atitinkamu ženklu. To nebuvo A tipo sistemose, ten reikėjo keisti spindulio reikšmę kompensacijų lentelėje, jeigu nepavykdavo gauti detalės matmens pagal toleranciją. Štai kodėl C tipo sistemos vadinamos pažangiausiomis ir lanksčiausiomis sistemomis.

Norint sėkmingai taikyti įrankio spindulio kompensacijos kodus G41, G42 ir G40, reikia žinoti tris esminius dalykus:

1. Kaip ir kur pradėti taikyti spindulio kompensaciją.
2. Kaip pakeisti kompensacijos kryptį.
3. Kaip ir kur pabaigti taikyti kompensaciją, nes ne visais atvejais ji reikalinga.

Visi šie dalykai yra labai svarbūs, todėl nuosekliai juos išnagrinėsime.

Norint pradėti taikyti spindulio kompensaciją reikia žinoti daug daugiau negu tik programoje nurodyti komandą G41 X... D... arba panašią. Naudojant šiuos kodus reikia laikytis dviejų svarbių taisyklių ir kelių ne tokių svarbių.

Pirmoji taisyklė:

▶	Prieš taikydamas spindulio kompensaciją pasirink pradinę įrankio poziciją už apdirbamo kontūro laisvoje vietoje
---	--

Antroji yra paprastesnė:

▶	Taikyk spindulio kompensaciją kartu su įrankio judesio komanda
---	---

Šios taisyklės nėra labai griežtos, tiesiog jas taikant dirbti saugiau.

Pradėsime taikyti šias taisykles nagrinėtam pavyzdžiui (9.32 pav., 9.40 pav.). Nurodysime pradinio taško koordinates taip, kad nuo kontūro krašto iki frezos šoninio paviršiaus būtų 6 mm tarpas. Jeigu frezos skersmuo yra 8 mm, pradžios taško koordinatės bus X-10 Y-10 (9.40 pav.). Ši pozicija nėra vienintelė teisinga, kito dydžio tarpelis taip pat yra priimtinas, tačiau jis neturi būti per mažas. Turi būti laikomasi taisyklės, pagal kurią judesio ilgis turi būti didesnis už frezos spindulį. Atkreipkite dėmesį, kad šioje pozicijoje kompensacija dar nepritaikyta, tai tikrosios įrankio ašies X

ir Y koordinatės, kaip ir parodyta 9.40 pav.). Dabar užrašysime programos fragmentą įrankio pozicionavimui pradiniam taške prieš įjungdami kompensaciją kodu G41.

O25631

(programa iškyšai 9.32 pav. frezuoti);

N1 T02 M06 (pasirenkama 8 mm skersmens pirštinė freza, kurios numeris detuvėje – Nr. 2);

N2 G90 G54 G00 X-10.0 Y-10.0 (absoliučiosios koordinatės, detalės koordinatinių sistema G54, greitasis įrankio atraminio taško (ašies) pozicionavimas XY plokštumoje taške X-10 Y-10);

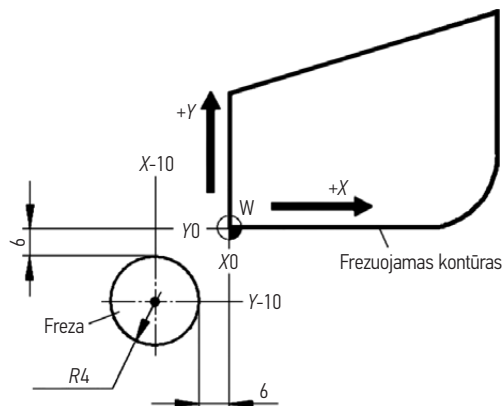
N3 S2000 M03 (paleidžiamas sukty suklys pagal laikrodžio rodyklę, sukiai – 2000 suk./min);

N4 G43 H02 Z2.0 (įrankis pagreitintai nuleidžiamas 2 mm virš detalės viršutinio paviršiaus (Z0), pritaikant jo ilgio kompensaciją iš 2-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės);

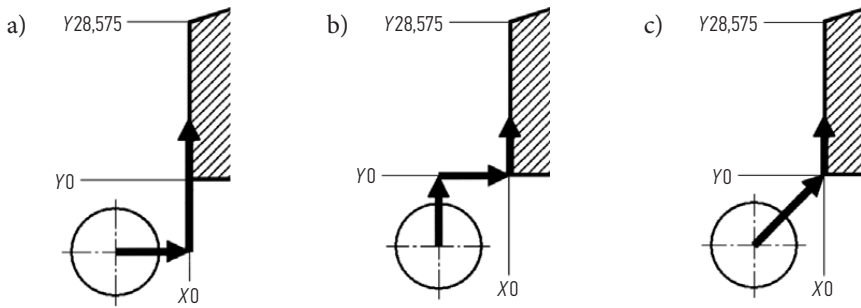
N5 G01 Z-4.0 F150.0 (tiesinės interpoliacijos judesiu įrankio viršūnė nuleidžiama 4 mm žemiau detalės viršutinio paviršiaus (Z0) iki darbinio gylio 4 mm, pastūma – 150 mm/min);

Taigi, kai frezos viršūnė pasiekė 4 mm gylį nuo detalės Z nulio (viršutinės detalės plokštumos), galima taikyti spindulio kompensaciją atliekant priartinimo judesį prie detalės šono. Frezuosime iškyšą pagal pastūmą, todėl laikysime frezą kontūro kairėje, tam naudosime G41 kodą (spindulio kompensacija kontūro kairėje).

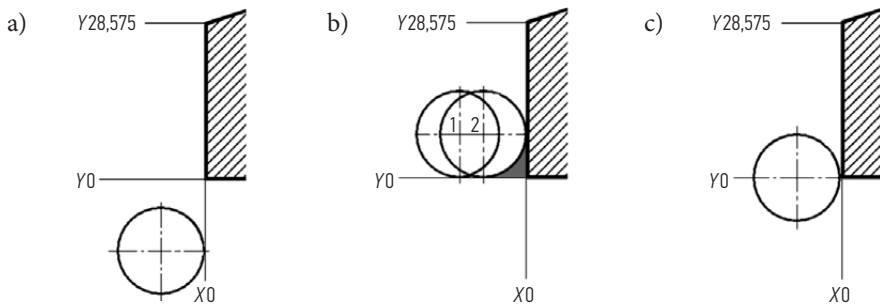
Pradėsime frezuoti kairįjį detalės šoną. Pirmasis taškas, į kurį reikia nukreipti įrankį apeinant kontūrą iš kairės, yra taškas 2 (9.32 pav.), jo koordinatės X0 Y28,575 (9.2 lentelė) detalės koordinatinių sistemoje. Į šį tašką įrankis negali būti nukreiptas iš karto iš X-10 Y-10 taško, kuriame jis yra, nes reikia apdirbti visą kairįjį detalės šoną, o ne jo dalį. Tai reiškia, kad įrankis turėtų pasiekti kažkokią tarpinę poziciją prieš judant į X0 Y28,575, kitaip tariant, turi būti užprogramuotas atitinkamas įrankio įsipjovimo į metalą judesys. Šio judesio metu ir turi būti pritaikyta spindulio kompensacija, nes priartėti prie detalės šono turi jau įrankio periferinis taškas, o ne ašis. Galimi šio judesio variantai parodyti 9.41 pav., o pasekmės – 9.42 pav. Apžvelgsime šiuos variantus išsamiau.



9.40 pav. Pradinio taško koordinatinių pasirinkimas prieš taikant spindulio kompensaciją (Smid 2003)



9.41 pav. Frezos išipjovimo judesiai: a – pagal X ašį; b – pagal Y ir X ašis atskirai; c – pagal X ir Y ašis kartu (Smid 2003)



9.42 pav. Frezos padėtis atlikus išipjovimo judesį: a – pagal X ašį (9.41 pav., a); b – pagal Y ir X ašis atskirai (9.41 pav., b); c – pagal X ir Y ašis kartu (9.41 pav., c)

9.41 pav., a, pateiktame variante įrankis juda tik pagal X ašį į tašką, kurio koordinatė yra $X_0 Y-10$, šio judesio metu pradedama taikyti spindulio kompensacija ir įrankio taškas ant jo šoninio paviršiaus atvyksta į tašką $Y-10 X_0$, o įrankio ašis iš tikrųjų atvyksta į tašką $X-4 Y-10$ (9.42 pav., a). Toliau įrankis juda į tašką $X_0 Y28,575$ jau sukompensuotas. Toliau pateikiamas programos fragmentas, aprašantis šiuos judesius:

N6 G01 G41 X0.0 D02 F250.0 (tiesinis pastūmos judesys su 250 mm/min pastūma pagal X ašį į tašką X_0 , jo metu taikyti spindulio kompensaciją iš 2-os kompensacijų lentelės eilutės (D02), kompensacija taikoma kontūro kairėje);

N7 Y28.575 (tiesinis pastūmos judesys pagal Y ašį į tašką $Y28,575$, kompensacija taikoma kontūro kairėje, nes G41 kodas yra modalinis);

9.41 pav., b, pateiktas variantas, kai įrankis judės iš pradžių pagal Y ašį į tašką Y_0 , pakeliui bus pritaikoma spindulio kompensacija. Įrankio ašis judesio pabaigoje atsidurs taške $X-10 Y_4$ (taškas 1, 9.42 pav., b). Toliau įrankis judės X ašies kryptimi į tašką X_0 , tačiau įvertinant spindulio kompensaciją kontūro kairėje ašis atsidurs taške $X-4 Y_4$ (taškas 2, 9.42 pav., b). Programos fragmentas atrodys taip:

N6 G01 G41 Y0.0 D02 F250.0 (tiesinis pastūmos judesys su 250 mm/min pastūma pagal Y ašį į tašką Y0, jo metu taikyti spindulio kompensaciją iš 2-os kompensacijų lentelės eilutės (D02), kompensacija taikoma kontūro kairėje);

N7 X0.0 (tiesinis pastūmos judesys su 250 mm/min pastūma pagal X ašį į tašką X0, taikoma spindulio kompensacija iš 2-os kompensacijų lentelės eilutės (D02), kompensacija taikoma kontūro kairėje);

N8 Y28.575 (tiesinis pastūmos judesys pagal Y ašį į tašką Y28,575, kompensacija taikoma kontūro kairėje);

Paskutiniu atveju reikės užprogramuoti vieną judesį taikant kompensaciją (9.41 pav., c). Tokio judesio pabaigoje įrankio ašis atsidurs taške X–4 Y0, kaip parodyta 9.42 pav., c. Programos fragmentas atrodo taip:

N6 G01 G41 X0.0 Y0.0 D02 F250.0 (tiesinis pastūmos judesys su 250 mm/min pastūma pagal X ir Y ašis į tašką X0 Y0, jo metu taikyti spindulio kompensaciją iš 2-os kompensacijų lentelės eilutės (D02), kompensacija taikoma kontūro kairėje);

N7 Y28.575 (tiesinis pastūmos judesys pagal Y ašį į tašką Y28,575, kompensacija taikoma kontūro kairėje);

Kad ir koks variantas būtų pasirinktas, pirmiau pateiktos dvi taisyklės yra tenkinamos: kompensacija pradėta taikyti kartu su judesiu, o pradinė pozicija yra už kontūro ribų. Nepaisant to, rezultatai gali skirtis. Įsipjaunant pagal 9.41 pav., b, pateiktą schemą įrankis judės į tašką Y28,575 iš taško Y4, o ne Y0, todėl tam tikra detalės kairiojo šono dalis (9.42 pav., b, ji pažymėta pilka spalva) liks neapdirbta, dalį kairiojo šono reikės apdirbti papildomai, apėjus visą kontūrą. Geriausias variantas pateiktas 9.41 pav., a. Šiuo atveju freza pozicionuojama prie detalės sienelės tęsinio, o ne prie detalės sienelės. Tokiu būdu judant iš taško X–4 Y–10 pagal Y ašį į tašką, kurio koordinatė yra 28,575, detalės koordinacių sistemoje galima tikėtis, kad įrankis pasieks kontūro tašką 1 (9.32 pav.) jau įsibėgėjęs iki užprogramuotos pastūmos 250 mm/min, paviršiaus kokybė bus geresnė. Tokia schema dažniausiai pasirenkama apdirbant išorinius kontūrus. Ne pats blogiausias yra 9.41 pav., c, pateiktas variantas.

Pasirinkus variantą, kurio schema pateikta 9.41 pav., a, galima pratęsti programą O25631 nuo N6 eilutės iki 5 kontūro taško (9.32 pav.). Kai kompensacija jau pritaikyta, reikia tik programuoti judesius taškais 1–5, nurodant jų koordinates detalės koordinacių sistemoje, o valdymo sistema atliks savo darbą kompensuodama frezos spindulį. Programos fragmentas bus toks:

...;

N6 G01 G41 X0.0 D02 F250.0 M08 (tiesinis pastūmos judesys su 250 mm/min pastūma pagal X ašį į tašką X0, jo metu taikyti spindulio kompensaciją iš 2-os kompensacijų lentelės eilutės (D02), kompensacija taikoma kontūro kairėje, prieš judesį įjungiamas TAS siurblys);

N7 Y28.575 (taškas 2, 9.32 pav., 9.2 lentelė);

N8 X57.15 Y47.144 (taškas 3, 9.32 pav., 9.2 lentelė);

N9 Y16.0 (taškas 4, 9.32 pav., 9.2 lentelė);

N10 G02 X41.15 Y0.0 R16.0 (taškas 5, 9.32 pav., 9.2 lentelė);
N11 G01 X-10.0;

Eilutėje N11 įrankis negražinamas į tašką 1, o nukreipiamas šiek tiek toliau, norint nepalikti užvartos detalės apatinėje sienelėje. Po eilutės N11 spindulio kompensacija tampa nebereikalinga ir ją galima išjungti kodu G40. Tam reikia atlikti judesį, kurio ilgis turi būti didesnis arba bent lygus įrankio spinduliui (kaip ir išspjovimo atveju). Saugiausia šio judesio kryptis yra nuo apdirbtos kontūro į laisvą nuo įvairių kliūčių vietą. Mūsų atveju, kaip ir kitu atveju, kai frezuojamas visas kontūras patogų grįžti į pradžios tašką, t. y. į tašką, kurio koordinatės $X-10$ $Y-10$. Dabar galima užbaigti programą:

N12 G40 Y-10.0 M09 (grįžimas į pradinį tašką prieš taikant kompensaciją, pakeliui į šį tašką spindulio kompensacija atšaukiama ir į tašką $X-10$ $Y-10$ vėl ateina frezos ašis, TAS tiekimas nutraukiamas);
N13 G00 Z2.0 (pagreitintas įrankio atitraukimas 2 mm aukščiau Z0 (viršutinės detalės plokštumos));
N14 G28 Z2.0 (Z ašies gražinimas į staklių nulį per tašką, kuriame yra įrankis);
N15 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Ši programa yra užbaigta. Joje nereikėjo keisti kompensacijos krypties iš dešinės į kairę ir atvirkščiai. Tokia operacija frezuojant labai retai naudojama, tačiau, jei reikia, ji dažniausiai atliekama neatšaukiant kompensacijos G40 kodu.

Dabar nagrinėsime, kaip valdymo sistema vykdo spindulio kompensacijų komandas, kaip atskiria kairę nuo dešinės. Pavyzdžiui, N6 programos eilutė yra tokia:

N6 G01 G41 X0.0 D02 F250.0 M08;

Joje nurodyta komanda valdymo sistemai: kreipti įrankį į $X0$ $Y-10$ detalės koordinatinių sistemoje, pritaikyti spindulio, kuris saugomas D02 eilutėje, kompensaciją iš kontūro kairės judesio metu, kad taške $X0$ $Y-10$ atsidurtų ne frezos ašis, o taškas ant jos šoninio paviršiaus, judesio greitis – 250 mm/min. Galimos šios komandos vykdymo pasekmės pavaizduotos 9.43 pav. Yra du variantai ir abu teisingi. Ir vienu, ir kitu atveju įrankis pajudėjo į tašką $X0$ $Y-10$, buvo pritaikyta spindulio kompensacija D02 iš kontūro kairės. Valdymo sistema (ir žmogus taip pat) negali vien tik pagal eilutę N6 nuspręsti, kur yra kontūro kairė, kur dešinė, o mums priimtinas tik vienas judesys, kurio trajektorija pavaizduota 9.43 pav., a, ir dėl kurio įrankio ašis pasislinks nuo frezuojamo kontūro taip, kaip parodyta šiame paveiksle. Išėjis gana paprasta – eilučių skaitymas į priekį, t. y. valdymo sistema, jau prieš vykdamą N6 eilutę, turi perskaityti kitą eilutę, kad nustatytų kompensacijos kryptį. Mūsų atveju kitas judesys vyks teigiamąja Y ašies kryptimi į tašką, kurio Y koordinatė 28,575 mm (N7 eilutė). Todėl sistema pagal judesio kryptį gali nustatyti, kur yra kontūro kairė ir atliks judesį taip, kaip parodyta 9.43 pav., a, t. y. taip, kaip mums reikia. Kad judesys

būtų atliktas taip pat pagal 9.43 pav., b, reikia nepakeitus N6 eilutės N7 programos eilutę pakeisti tokia:

N7 Y-28.575;

Čia yra vadinamoji „žiūrėk pirmyn“ valdymo sistemos galimybė, kuri būdinga šiuolaikinėms sistemoms, kuriose naudojamos C tipo kompensacijos, apie kurias buvo kalbama skirsnio pradžioje.

Kitaip tai dar vadinama buferizavimu, arba nuskaitymu į priekį, tai terminai, dažnai vartojami kompiuterių technikoje. Tas reiškia, kad skaitomos kelios eilutės prieš vykdant vieną. Tik nuskaičius ir apdorojus kelias eilutes, nuo eilutės, kurioje yra kompensacijos kodas, bus vykdoma pirmoji eilutė. Vykdoma programą nustatoma ne tik kryptis, bet ir dviprasmiškos situacijos. Joms atsiradus nebus vykdoma netgi pirmoji eilutė, pasirodys klaidos pranešimas.

Dabar panagrinėsime kai kurias keblias situacijas, susietas su minėta opcija ir jos veikimu. Tegul kitoje eilutėje po kompensacijos pritaikymo nėra judesio komandos, pavyzdžiui:

G41 X0.0 D02 F250.0;

M08;

Y28.575;

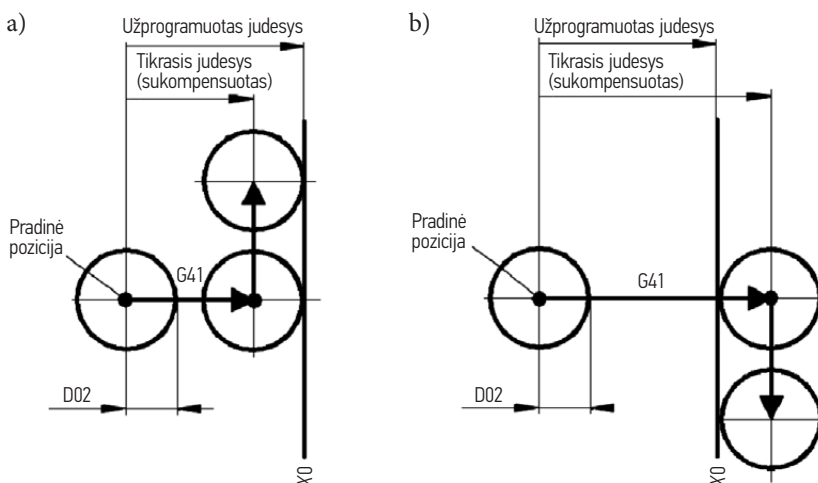
Arba toks pavyzdys:

G41 X0.0 D02 F250.0;

M08;

G04 P1000 (1000 ms pauzė);

Y28.575;



9.43 pav. Galimos frezos ašies judesio trajektorijos, kai taikoma spindulio kompensacija kontūro kairėje (Smid 2003)

Šiuose pavyzdžiuose yra atitinkamai viena ir dvi nuosekliai išdėstytos eilutės, kuriose neužprogramuotas judesys, o tik TAS tiekimas ir pauzė. Kaip valdymo sistema turi reaguoti tokiais atvejais? Tokiu atveju, norint nustatyti kompensacijos taikymo kryptį valdymo sistema turi apdoroti mažiausiai dvi arba tris eilutes, esančias po eilutės, kurioje nurodytas kodas G41. Ar ji pajėgi tai padaryti? Tai priklauso tik nuo jos. Yra sistemų, kurios gali „žiūrėti pirmyn“ per dvi ir daugiau eilučių (šiuolaikinės sistemose skaitomų į priekį eilučių skaičius 15 ir daugiau), yra tokių, kurios gali daryti tai tik per vieną. Todėl praktikoje, jeigu žinoma, kad valdymo sistema turi „žiūrėti pirmyn“ savybę (tai visos šiuolaikinės sistemos), tačiau nežinoma, kiek eilučių, programuojama kaip vieno bloko sistamai, t. y. kaip buvo pateikta programoje O25631, nenurodant atskirose eilutėse su judesiais nesusijusių kodų, o nurodant juos vienoje eilutėje su judesio komandomis. Norint nustatyti, kiek eilučių į priekį gali apdoroti valdymo sistema, galima parengti saugią bandymo programą, kurioje po eilutės su skersmens kompensacijos kodu būtų kelios ne judesio komandų eilutės, ir patikrinti, kaip ji vykdoma.

Kas atsitiktų, jeigu valdymo sistema negalėtų nustatyti kompensacijos krypties dėl nesugebėjimo apdoroti eilutes, esančias po kodo G41. Kas atsitiktų, jei programoje O25631 vietoje eilutės N6 būtų įterptas pirmiau pateiktas fragmentas:

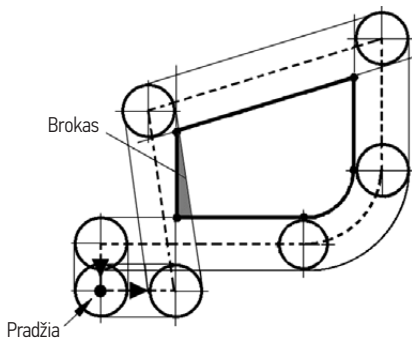
```
...;
N6 G41 X0.0 D02 F250.0;
N7 M08;
N8 G04 P1000 (pauzė);
N9 Y28.575;
N10 X57.15 Y47.144;
...;
```

Jeigu sistema nesugebės apdoroti N7, N8 ir N9 eilučių kartu su N6, ji nesugebės nustatyti kompensacijos pusės ir nepritaikys spindulio kompensacijos N6 eilutėje. Įrankio ašis bus perstumta į X0 Y–10 tašką, o kompensacija bus pritaikyta tik N9 eilutėje užprogramuoto judesio metu, kai sistemai pavyks pagaliau nustatyti kompensacijos kryptį apdorojant kartu N9 ir N10 eilutes. Tokios programos rezultatas parodytas 9.44 pav. Iš jo matome, kad detalė bus sugadinta.

To paties rezultato galima tikėtis, jeigu programoje O25631 spindulio kompensacija būtų pritaikyta kodu G41 ne N6 eilutėje, bet N7, tai yra:

```
...;
N6 X0.0 F250.0 M08;
N7 G41 X0.0 Y28.575 D02;
...;
```

Taip bus todėl, kad judesio trajektorija susikompensuos tik taške 2, kuris yra galinis judesio taškas eilutėje N7.



9.44 pav. Įrankio ašies trajektorija, kai kompensacija pritaikyta neteisingai

Dabar panagrinėsime, kas atsitinka, kai pažeidžiama jau minėta taisyklė, pagal kurią užprogramuoto judesio ilgis taikant kompensaciją turi būti didesnis už frezos spindulį. Mūsų atveju (programa O25631) taikant kompensaciją, įrankis iš taško $X-10$ perkeltas į $X0$, įvertinant 4 mm frezos spindulį. Taisyklė buvo tenkinama ($4 < 10$). Būna atvejų, kai ji pažeidžiama (jeigu pakeisime 8 mm skersmens frežą didesne, blogai parinksime pradžios tašką ir pan.). Galimi du atvejai:

1. Frezos spindulys lygus poslinkio ilgiui.
2. Frezos spindulys didesnis už poslinkio ilgį.

Pirmasis atvejis yra leistinas, bet nerekomenduojamas. Taip programuojant ribojame frezos pasirinkimo galimybes programoje,

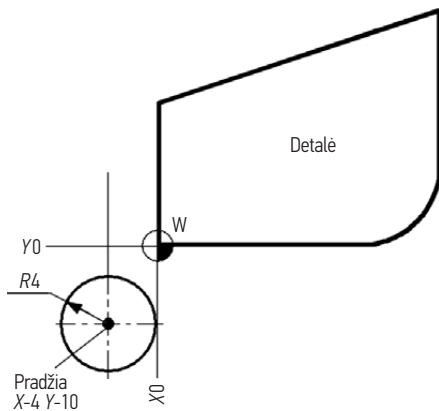
t. y. prarandame lankstumą, kuris suteikiamas būtent spindulio kompensacijomis. Šis atvejis pavaizduotas 9.45 pav. Pagal 9.45 pav. kompensacijos pritaikymo judesio pradžios taškas turėtų būti $X-4 Y-10$. Nuo jo ir prasidėtų judesys X ašies kryptimi, kurio metu būtų pritaikyta spindulio kompensacija:

```
...;
G54 G90 G00 X-4.0 Y-10.0;
...;
G41 G01 X0.0 D02 F250.0 M08;
Y28.575;
...;
```

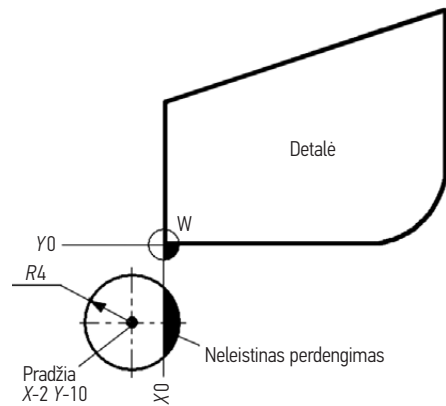
Šiuo atveju skirtumas tarp užprogramuoto atstumo ir tikrojo lygus nuliui (tai yra $4 = 4$). Spindulio kompensacija bus pritaikyta be judesio pagal X ašį, toliau įrankis iš pradinio taško $X-4 Y-10$ bus perkeltas į kitą tašką $Y28,575$.

9.46 pav. parodytas blogesnis atvejis, kai frezos spindulys yra didesnis už programuojamą poslinkį taikant kompensaciją. Pavyzdžiui, užprogramuoto judesio, kurio metu taikoma kompensacija, ilgis yra 2 mm (iš taško $X-2$ į tašką $X0$), o frezos spindulys – 4 mm. Programos eilutės būtų tokios:

```
...;
G54 G90 G00 X-2.0 Y-10.0;
...;
G41 G01 X0.0 D02 F250.0 M08;
Y28.575;
...;
```



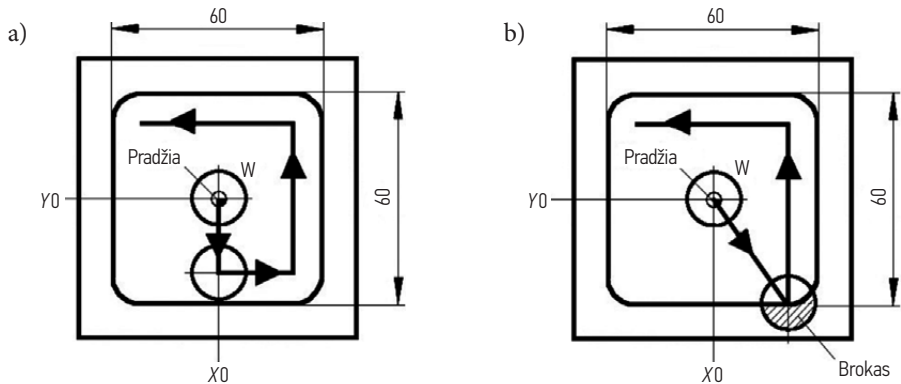
9.45 pav. Spindulio kompensacijos taikymas, kai frezos spindulys lygus judesio ilgiui (Smid 2003)



9.46 pav. Neleistinas spindulio kompensacijos taikymas – judesio ilgis mažesnis už frezos spindulį (Smid 2003)

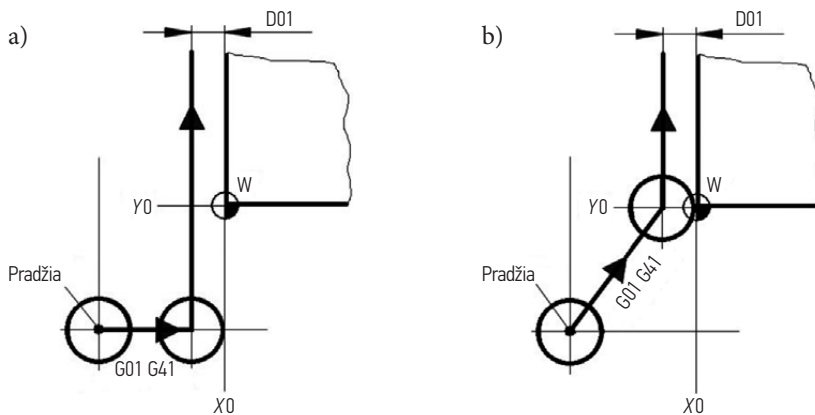
Tai nepriimtinas valdymo sistemos atvejis. Vaizduoklyje pasirodys klaidos pranešimas *Cutter radius interference* arba *CRC interference*. Kas atsitiks šiuo atveju? Valdymo sistema bandys apskaičiuoti skirtumą tarp užprogramuoto poslinkio ilgio (tai yra 2 mm) ir frezos spindulio, kuris yra 4 mm, bei nustatys kito judesio kryptį (teigiamoji Y ašies kryptis į tašką Y28,575). Tokiu būdu ji nustatys, kad frezą reikia pastumti 2 mm neigiamą X ašies kryptimi. Kaip matome iš 9.46 pav., kliūčių tam tikrai nėra, ten yra laisva vieta. Taip atrodo mums, tačiau ne valdymo sistemai. Ji nepripažįsta fakto, kad ten yra laisva vieta, todėl generuoja klaidos pranešimą ir sustabdo programą.

Kita problema gali kilti, kai judesys, kurio metu taikoma spindulio kompensacija, vykdomas ne pagal vieną, bet pagal dvi ašis. Ši problema būna frezuojant vidinius kontūrus, vadinamąsias kišenes. 9.47 pav. pateiktas toks atvejis. Kairėje pusėje parodytas teisingas priartėjimas, o dešinėje – neteisingas, detalė bus brokuojama. Programų fragmentai abiem variantams pateikti toliau. Klaida atsiranda, kai valdymo sistema bando nustatyti kompensacijos kryptį realizuodama savo „žiūrėk pirmyn“ funkciją ir negali to teisingai atlikti. 9.47 pav., a, pateiktame variante sistema supranta, kad N15 eilutėje nurodyta komanda judėti į tašką, kurio Y koordinatė yra –30 mm, pritaikant kompensaciją. Apdorojus kartu ir eilutę N20, kurioje programuojamas judesys ašies X kryptimi, sistema teisingai nustatė, kur yra dešinė, o kur kairė, t. y. kompensacijos kryptį. Įrankis pateks į tašką X0 Y–30 sukompensuotas pagal Y ašį. 9.47 pav., b, variante sistema, apdorojusi N15 ir N20 eilutes, taip pat teisingai suprato kompensacijos kryptį X ašies atžvilgiu, tačiau nesugebėjo nustatyti spindulio kompensacijos krypties Y ašies atžvilgiu. Taip yra todėl, kad eilutėje N20 nėra judesio pagal X ašį komandos. Įvertinusi tai, sistema nepritaikė kompensacijos pagal Y ašį ir įrankis judės į tašką X30 Y–30 nesukompensuotas pagal vieną ašį.



9.47 pav. Kišenių frezavimas taikant spindulio kompensaciją: a – teisingai; b – neteisingai (Smid 2003)

(teisingai, 9.47 pav., a)	(neteisingai, 9.47 pav., b)
...;	...;
N15 G41 G01 Y-30.0 D01 F150.0;	N15 G41 G01 X30.0 Y-30.0 D01 F150.0;
N20 X30.0;	N20 Y30.0;
...;	...;



9.48 pav. Įsipjovimo judesys taikant spindulio kompensaciją: a – judesys pagal vieną ašį; b – pagal dvi ašis

Frezuojant išorinius kontūrus tokios problemos nebūna. Kaip matoma iš 9.48 pav., įrankis detalės nesugadins, net jeigu ir nesukompensuotas pagal Y ašį atvyks į pradinį kontūro tašką. Tokį atvejį jau nagrinėjome kaip vieną iš įsipjovimo variantų išoriniam kontūrai (9.41 pav., c) frezuoti. Programų fragmentai abiem atvejams yra tokie:

(9.48 pav., a)	(9.48 pav., b)
...;	...;
...;	...;
N15 G41 G01 X0.0 D01 F150.0;	N15 G41 G01 X0.0 Y0.0 D01 F150.0;
N20 Y120.0;	N20 Y120.0;
...;	...;
...;	...;

Frezos spindulio (skersmens) reikšmė, kuri yra sistemos kompensacijų lentelėje (9.8 lentelė), taip pat gali būti naudojama apdirbtos detalės matmenims koreguoti. Žinoma, kad tikrieji apdirbtos detalės matmenys ne visada neperžengia ribinių. To priežastys gali būti įvairios. Pavyzdžiui, tikrasis frezos matmuo gali būti šiek tiek mažesnis už nominalųjį, todėl, įvedus į kompensacijų lentelę nominalųjį spindulį, matmenį gausime su tam tikro dydžio paklaida. Visos kitos detalės, apdirbtos pagal tokią programą, taip pat bus brokuotos. Todėl apdirbus ir išmatavus bandomą detalę dažnai tenka pakoreguoti įrankio trajektoriją. Kai programoje naudojama spindulio kompensacija, tai padaryti galima (čia tik vienas iš būdų) padidinus arba sumažinus tam tikru dydžiu frezos spindulio reikšmę, esančią kompensacijų lentelėje. Ar sumažinti šią reikšmę, ar padidinti, priklauso nuo to, ar išmatuotas detalės matmuo yra didesnis arba mažesnis už reikiamą, taip pat nuo to, koks kontūras – išorinis (iškyša) ar vidinis (kišenė) – yra apdirbamas.

Nepriklausomai nuo kitų veiksmų galioja dvi pagrindinės taisyklės:

▶ **Padidinus spindulio (skersmens) reikšmę, esančią lentelėje, freza atsitrauks nuo apdirbamo kontūro**

▶ **Sumažinus spindulio (skersmens) reikšmę, esančią lentelėje, freza priartės prie apdirbamo kontūro**

Nepriklausomai nuo to, koks kontūras – išorinis ar vidinis – yra apdirbamas, galioja sąlyga:

▶ **Norint palikti daugiau medžiagos ant detalės sienelių negu yra, reikia padidinti spindulio reikšmę, norint palikti mažiau – reikia sumažinti spindulį**

Programoje pateiktos koordinacijų reikšmės bet kuriuo atveju nekeičiamos. Koreguoti tokiu būdu galima tik tuos matmenis, kurie buvo gauti taikant frezos spindulio kompensaciją.

Panagrinėsime pavyzdį. Sakykime, apdirbamas labai paprastas išorinis kontūras (9.31 pav.). Reikia gauti $94 \pm 0,1$ mm detalės plotį, t. y. tikrasis detalės iškyšos plotis

turi būti nuo 93,9 iki 94,1 mm, kitaip detalė bus netinkama naudoti. Geriausiai gauti plotį lygiai 94 mm. Turint 16 mm skersmens frezą į kompensacijų lentelės D01 stulpelį įvedame 8.000 (arba skersmenį 16.000) ir paleidžiame programą. Dažnai, kai freza yra nauja, staklės standžios, o tolerancijos laukas gana platus, pavyksta gauti tinkamą matmenį. Tačiau ką daryti, jeigu išmatuotas matmuo yra 94,3 mm. Atsakymas būtų toks – pakoreguoti spindulio reikšmę. Žinome, kad gautas matmuo yra 0,3 mm didesnis negu reikiamas (94,0 mm). Mums reikia nuo sienelių nuimti daugiau medžiagos negu yra, todėl pagal anksčiau pateiktą taisyklę turime sumažinti spindulį, esantį D01, tačiau ne 0,3 mm, bet 0,3/2, nes pločio matmuo gaunamas apdirbant abi detalės puses. Taigi įvedame į D01 eilutę naują spindulį 7.850 mm (arba skersmenį 15.700), tvirtiname naują detalę (arba tą pačią, jei ją dar galima naudoti) ir iš naujo paleidžiame programą.

Jeigu išmatavus detalę paaiškės, kad plotis yra mažesnis negu reikia (pvz., 93,8 mm), reikia padidinti spindulio reikšmę, esantį D01 eilutėje. Šiuo atveju reikėjo padidinti spindulio reikšmę 0,1 mm $((94,0 - 93,8)/2)$ ir įvesti į D01 spindulį 8.100 (arba skersmenį 16.200).

Reikia pasakyti, kad nauja reikšmė į kompensacijų lentelę paprastai neįvedama, o tiesiog prie esančios reikšmės pridedama arba atimama pataisa (mūsų atveju 0,15 arba 0,1 mm). „Fanuc“ firmos valdymo sistemose tam naudojamas *+INPUT* mygtukas valdymo įrenginio pulte, „HAAS“ firmos valdymo sistemoje naudojamas mygtukas *Write/Enter*.

Vidiniam kontūrai, kai išmatuotas matmuo yra didesnis už reikiamą, spindulio reikšmė, esanti lentelėje, didinama, priešingu atveju mažinama.

Programoje vienam įrankiui leidžiama priskirti kelias spindulio reikšmes naudojant skirtingas kompensacijų lentelės eilutes (ir atitinkamai kreiptis į skirtingus jų numerius po adreso D). Tačiau tai reikia daryti labai atsargiai, ir neužmiršti, kokiam atvejui kokią eilutę naudoti. Valdymo sistema yra ne tokia griežta, kaip ilgių kompensacijų atžvilgiu, sistemos nustatymų keisti nereikia. Naudoti skirtingų dydžių spindulio kompensacijas (atsargiai) kartais yra labai naudinga. Pavyzdžiui, apdirbus tos pačios detalės iškyšą ir išmatavus gautą matmenį buvo nustatyta, kad jis tinkamas. Apdirbus tos pačios detalės kišenę ta pačia freza paaiškėjo, kad lentelėje esančio spindulio reikšmę reikia padidinti 0,02 mm. Apdirbant išorinį kontūrą tam pačiam įrankiui galima taikyti spindulio reikšmę (pvz., 8.000), esančią 1-oje lentelės eilutėje, ir naudoti adresą D01, o kai apdirbamas vidinis kontūras, galima taikyti pakoreguotą reikšmę (mūsų atveju 8.020), esančią, pavyzdžiui, 15-oje lentelės eilutėje, ir naudoti adresą D15, kaip parodyta toliau.

```
...;
T01 M06;
...;
G41 X... D01;
...;
```


G41 X... D15;

...;

Spindulio kompensacijos reikalingos tik frezuojant išorinius ir vidinius kontūrus pirštinėmis ir diskinėmis frezomis. Visais kitais atvejais (gręžiant, apdirbant galinėmis frezomis, ištekinant, sriegiant sriegikliais, plečiant ir pan.) yra gerokai patogiau valdyti įrankio ašies koordinates, todėl atliekant šias operacijas spindulio kompensacijos netaikomos. Valdyti ašies padėtį taip pat patogiau frezuojant griovelius, kurių plotis yra lygus frezos skersmeniui (4.22, 4.27 pav.).

Kodai G41/G42 galioja tik plokštumoje XY, t. y. kai aktyvus plokštumos kodas G17. Jeigu judesiams pasirinkta kita plokštuma, spindulio kompensacija nebus pritaikyta, programa bus priverstinai sustabdyta, pasirodys klaidos pranešimas. Frezuojant 3D paviršius spindulys kompensuojamas kitaip negu kodais G41/G42 (pvz., „HAAS“ valdymo sistemoje naudojamas kodas G141), kartais visai nekompensuojamas, o trajektorija sudaroma tiesiog atraminiam taškui. Tokios programos sudaromos naudojant CAM sistemas ir šioje knygoje nenagrinėjamos.

Pabaigoje pateiksime išplėstą spindulio kompensacijų taikymo taisyklių apdirbant frezavimo staklėmis bei apdirbimo centrais sąrašą:

1. Niekada nereikia pradėti taikyti arba atšaukti spindulio kompensacijos apskritiminės interpoliacijos judesio (G02 G03 kodai) metu. Tai geriausia daryti greitojo pozicionavimo (G00) arba tiesinės interpoliacijos (G01) metu. Apskritiminės interpoliacijos judesiai kodais G02/G03, jei reikia, gali būti programuojami, tačiau tada, kai spindulio kompensacija jau pritaikyta.
2. Visada reikia įsitikinti, kad frezos spindulys yra mažesnis negu mažiausias apdirbamas vidinio kontūro spindulys.
3. Užprogramuoto judesio, kuriuo metu taikoma arba atšaukiama kompensacija, ilgis turi būti ne mažesnis už frezos spindulį.
4. Visada gerai apgalvoti, kokį tarpelį tarp šoninių detalės ir frezos paviršių reikia palikti prieš taikant kompensaciją. Freza gali sulūžti, o kitos tokio pat skersmens frezos gali ir nebūti.
5. Prieš taikant spindulio kompensaciją reikiamas pjovimo gylis (Z ašies lygis) jau turi būti pasiektas.
6. Taikyti (ir atšaukti) spindulio kompensaciją visada geriau ir saugiau judesio pagal vieną ašį (X arba Y) metu, o ne pagal dvi.
7. Visada papildomai patikrinkite, ar teisingi kompensacijų lentelės eilučių numeriai naudojami po adreso D. Klaida gali brangiai kainuoti.
8. Visada reikia patikrinti, kiek programos eilučių, kuriose neužprogramuotas joks judesys (t. y. eilučių, kuriose nėra adresų X, Y ir Z), yra įjungus spindulio kompensacijos režimą (tai yra kodu G41/G42) ir kiek geba apdoroti „į priekį“ valdymo sistema. Geriausia visai vengti po kodų G41 arba G42 tokių eilučių arba išdėstyti jų komandas vienoje eilutėje su judesio komandomis.

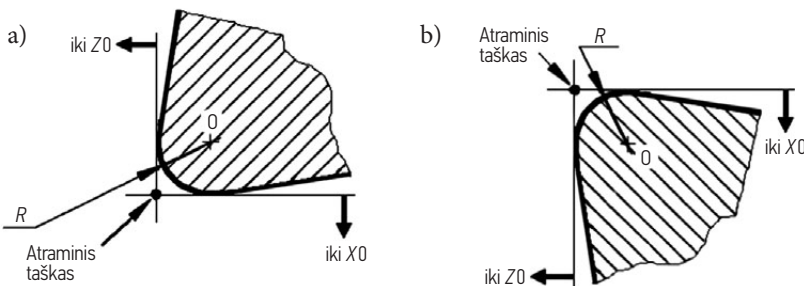
9. Gražinant staklių junginius pagal ašis į nulį G28 ir G30 kodais spindulio kompensacijos režimas neišjungiamas, vienintelis būdas išjungti – G40 kodas.
10. Visada išjungti spindulio kompensacijas išfrezavus iškyšą arba kišenę (kitiems darbams šis režimas nereikalingas) darbinio Z gyliu. Programuojant tolesnius judesius (t. y. atitraukti nuo detalės, pakelti įrankį) kur kas saugiau valdyti frezos ašies trajektoriją, o ne periferinio taško, tai yra netaikant spindulio kompensacijos. Be to, kai kuriose valdymo sistemose tiesiog nebus baigta programa kodu M30, jeigu prieš šį kodą nebus atšaukta spindulio kompensacija kodu G40, pasirodys klaidos pranešimas.

Tekinimo staklės

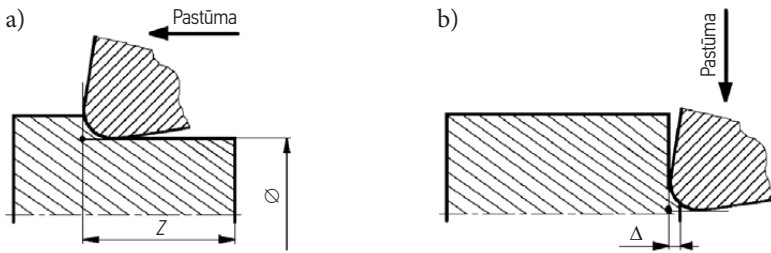
Tekinimo staklėse taip pat naudojamos spindulio kompensacijos, tačiau šiek tiek skirtingai nuo frezavimo staklių. Žinoma, kad tekinimo staklėse naudojamų peilių plokštelės visada suapvalintos spinduliu, kad būtų padidintas jų stiprumas ir patvarumas bei apdirbto paviršiaus kokybė. Spindulio dydis negali būti lyginamas su frezų spinduliu, ir jis sudaro tik 0,1–3,2 mm, tačiau yra ne mažiau svarbus apdirbant. Skirtingai nuo cilindrinės frezos, suapvalinta yra tik peilio viršūnė (pagrindinės ir pagalbinės pjovimo briaunų susikirtimo taškas, 9.49 pav.), todėl šio tipo tekinimo staklių įrankių kompensacija vadinama *įrankio viršūnės spindulio kompensacija*.

Skirtingai nuo frezos, kurios atraminis taškas yra ašies ir galinės pjovimo briaunos susikirtimo linijoje, peilio atraminis taškas sutampa su tašku, kuriame susikerta pagrindinė ir pagalbinė pjovimo briaunos (9.49 pav.). Šis taškas yra virtualus, kaip matoma iš 9.49 pav., nes viršūnė visada yra suapvalinta tam tikru spinduliu R , ir būtent šio taško koordinatės yra programuojamos tekinant arba ištekinant. Šis taškas automatiškai tampa atraminiu kiekvienam peiliui derinimo metu, kai operatorius, nustatydamas įrankio geometrijos kompensacijas, prisiliečia prie detalės nulio iš pradžių pagrindine (Z ašies kryptimi), paskui pagalbine pjovimo briauna (X ašies kryptimi), kaip parodyta 9.26 pav.

Iš pirmo žvilgsnio gali pasirodyti, kad valdant šio atraminio taško koordinatas galima pasiekti tikslą be jokių spindulių kompensacijų. 9.50 pav. parodyta išilgai ašies tekinamas ruošinys (a) bei ruošinys, kurio tekinamas galas (b). Čia galima suabejoti,



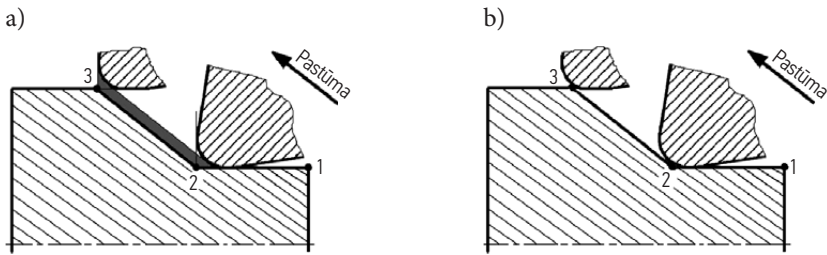
9.49 pav. Peilio viršūnė: a – išorinio tekinimo; b – ištekinimo



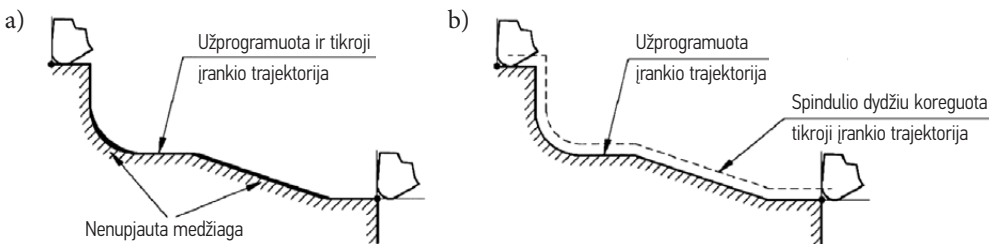
9.50 pav. Tekinimas su išilgine pastūma (a) ir galo tekimas su skersine pastūma (b)

kam apskritai reikalinga spindulio kompensacija. Matome, kad atraminis peilio taškas yra vienoje linijoje su peilio briaunos kraštu, todėl tekiant ruošinį išilgai (Z ašies kryptimi) ir skersai (apdirbant galą X ašies kryptimi) ašies apdirbimo matmuo (detalės skersmuo tekiant (a) ir nuimama užlaida Δ tekiant galą (b)) tikrai nepasikeis dėl viršūnės suapvalinimo spindulio. Tokiu atveju detalė tik gali būti ne iki galo apdirbta, nurodžius galinę atraminio taško koordinatę tekiant (Z , 9.50 pav., a), arba dėl viršūnės suapvalinimo spindulio gali likti neapdirbtos medžiagos tekiant galą, kai atraminis peilio taškas pasieks detalės ašį. Šios problemos gali būti nesunkiai išspręstos, jei nurodysime didesnę Z koordinatę tekiant išilgai ašies arba nukreipsime atraminį peilio tašką už ašies apdirbant galą (vietoje taško $X0$ nurodysime, pavyzdžiui, $X-2$ arba pan.).

Todėl apdirbant detalę vienos ašies kryptimi, spindulio kompensacija dažniausiai netaikoma. Dviašio apdirbimo metu dėl viršūnės suapvalinimo spindulio detalės kūginėse ir sferinėse dalyse liks per daug arba per mažai medžiagos, negu reikia nuimti. Toks atvejis parodytas 9.51 pav., a. Iš jo matome, kad jeigu programoje bus nurodomos peilio atraminio taško koordinatės, netaikant viršūnės suapvalinimo spindulio kompensacijos, kai kurie detalės ruožai bus netinkamai apdirbti. Judant atraminiam peilio taškui iš taško 1 į tašką 2 tekiamas skersmuo bus toks, koks nurodytas programoje X koordinate. Judant šiam taškui į tašką 3, dalis metalo, pažymėto pilka spalva, liks nenupjauta dėl to, kad tie, jungiančią taškus 2 ir 3, judės ne taškas ant peilio pjovimo briaunos, o menamasis atraminis taškas. Pataisyti galima spindulio kompensacija, kurios veikimą galima įsivaizduoti taip. Taikydami kompensaciją pakeičiame atraminį tašką kitu, kuris yra viršūnės spindulio centre (taškas O , 9.49 pav.). Visos programoje nurodytos judesio trajektorijos taškų tikrosios koordinatės bus perskaičiuojamos būtent šiam taškui (9.52 pav.) įvertinant suapvalinimo spindulio reikšmę, esančią spindulio kompensacijų lentelėje. Tokiu atveju sistema pakoreguos taško O trajektoriją taip, kad į taškus 2 arba 3 (9.51 pav., b) atvyktų ne nesantis atraminis taškas, o taškas, esantis ant peilio pjovimo briaunos. Tokiu būdu ruožas 2–3 (9.51 pav.) bus visiškai apdirbtas. Visus aritmetinius veiksmus atlieka valdymo sistema be operatoriaus pagalbos, kai yra nurodytas kompensacijos pritaikymo kodas. Operatorius, kaip ir frezavimo staklių atveju, programoje nurodo tikrąsias profilio taškų koordinatas detalės koordinatinių sistemoje.



9.51 pav. Kūginio paviršiaus tekinimas be peilio viršūnės spindulio kompensacijos (a) ir su kompensacija (b)

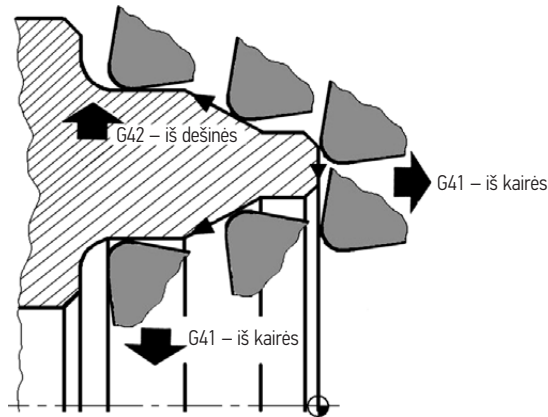


9.52 pav. Peilio trajektorija tekinant: a – be viršūnės spindulio kompensacijos; b – su viršūnės spindulio kompensacija (Smid 2003)

Nepaisant to, kad peilio viršūnės suapvalinimo spindulio kompensacija reikalinga tik dviejų ašių poslinkiams, ji gali būti taikoma ir apdirbant vienos ašies kryptimi, pavyzdžiui, tekinant išorinį arba vidinį cilindrinį paviršių arba tekinant galą.

Spindulio kompensacijai tekinimo staklių valdymo sistemose naudojami tie patys kodai kaip ir frezavimo, t. y. G41 pritaiko spindulio kompensaciją kairinėje kontūro pusėje, kodas G42 – dešinėje pusėje, o G40 atšaukia kompensaciją. Šių kodų veikimą iliustruoja 9.53 pav. Iš jo matyti, kad tekinant išorinius paviršius iš dešinės į kairę (kaip tai daroma dažniausiai) tekinimo staklėmis su revolverine galvute, esančia už arkliuko (didžioji dauguma staklių), reikia naudoti G42. Pasikeitus pastūmos kryptčiai naudojamas G41. Ištekinant tomis pačiomis staklėmis iš dešinės į kairę (dažniausiai) naudojamas G41, iš kairės į dešinę – G42. Situacija pasikeičia, kai staklėse yra peilių įtvaras, esantis prieš centrų liniją arčiau operatoriaus (pvz., „HAAS“ firmos TL staklių serija), panašiai kaip tradicinėse tekinimo staklėse (I dalis). Tokiu atveju tekinant ruošinį iš išorės ir peiliui judant iš dešinės į kairę naudojamas G41, ištekinant tomis pačiomis sąlygomis – G42 kodas. Pasikeitus pastūmos kryptčiai, kodai apkeičiami vietomis.

Adresas D... prie kodų G41/G42 tekinimo staklėse nenaudojamas. Nustačius į darbinę poziciją įrankį kodu T... (pvz., įrankį Nr. 1 kodu T01) ir nurodžius spindulio kompensacijos kodą G41/G42, spindulio reikšmė bus automatiškai imama iš atitinkamos (jeigu T01, tai iš 1-os, T02 – iš 2-os ir t. t.) geometrijos kompensacijų lentelės



9.53 pav. Peilio viršūnės spindulio kompensacijos taikymas tekinant (viršuje) ir ištekinant (apačioje) su pastūma iš dešinės į kairę bei tekinant galą (dešinėje)

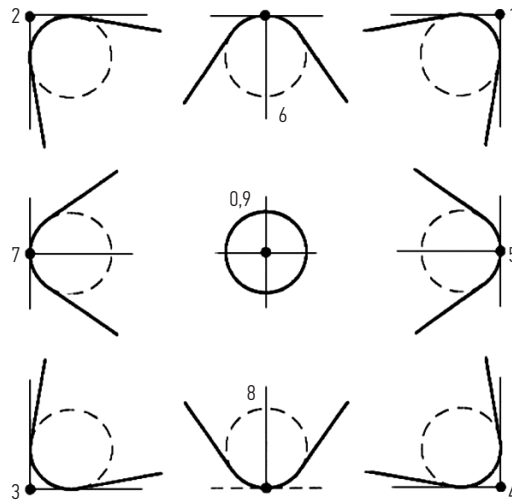
eilutės. Spindulio reikšmė įrašoma į jai skirtą stulpelį (pvz., „HAAS“ firmos tekinimo staklėse tam skirtas stulpelis *RADIUS* (9.27 pav.)).

Reikia žinoti dar vieną tekinimo staklių ypatumą. Norint pritaikyti kompensaciją, nepakanka nurodyti vien tik spindulį kompensacijų lentelėje ir nustatyti kryptį kaip kad yra frezuojant. Dar reikia nurodyti peilio viršūnės padėtį, nes tos pačios peilio plokštės pjovimo briaunos gali būti orientuotos laikiklyje labai skirtingai. Todėl kompensacijų lentelėje, be spindulio, dar būtina nurodyti ir skaičių, atitinkantį tam tikrą peilio viršūnės padėtį. „Fanuc“ firmos ir kitose panašiose (taip pat ir „HAAS“ firmos) valdymo sistemose tam naudojami sveikieji skaičiai nuo 0 iki 9. 9.54 pav. parodytos skirtingose padėtyse plokštumoje ZX esančios peilių viršūnės ir pateikti atitinkantys šias padėtis skaičiai. Valdymo sistemai nurodžius skaičius 0 arba 9, kompensacijos kryptis nenurodoma, todėl šie skaičiai naudojami, kai spindulio kompensacija yra nereikalinga.

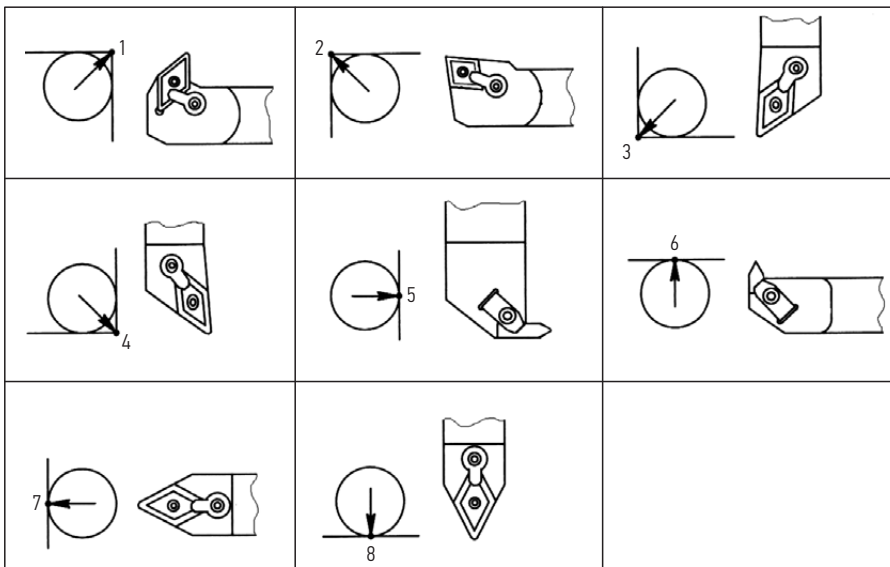
9.55 pav. parodyti tekinimo staklėse dažniausiai naudojami peiliai ir jų viršūnių padėtis atitinkantys skaičiai. Tekinimo staklėse dažniausiai naudojami dešininiai išorinio tekinimo peiliai, jų numeris bus 3. Ištekinimo peiliai dažniausiai turi numerį 2. Padėties numeris nepriklauso nuo to, kaip – plokštele į operatorių arba žemyn – tvirtinamas peilis revolverinėje galvutėje. Įtakos turi tik peilio viršūnės padėtis, kai jis įtvirtintas galvutėje ir yra darbo pozicijoje.

Įrankio viršūnės padėtį atitinkantis numeris įrašomas į specialų kompensacijų lentelės stulpelį, kuris paprastai yra šalia spindulio stulpelio, pvz., 9.27 pav. parodytame „HAAS“ firmos tekinimo staklių programinio valdymo įrenginio vaizduoklyje, kompensacijų lentelėje *Tool Geometry* viršūnės padėties numeriui skirtas stulpelis *TIP*.

Kaip ir frezavimo atveju, peilio spindulio kompensacija taikoma kokio nors (tiesinės interpoliacijos arba greitojo pozicionavimo) judesio metu. Tarp galinio judesio taško, į kurį turi atvykti jau sukompensuota viršūnė, ir detalės geriausia palikti tarpelį.



9.54 pav. Galimos tekinimo peilių viršūnių padėtys ir skaičiai, atitinkantys šias padėtis (pavaizduota taip, kaip peilis nustatytas staklių revolverinėje galvutėje darbo pozicijoje, žiūrint iš viršaus – iš operatoriaus pozicijos į plokštumą ZX)

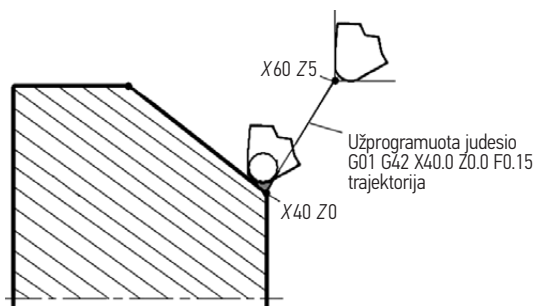


9.55 pav. Peiliai, naudojami tekinimo staklėse, ir jų viršūnių padėtis atitinkantys numeriai:
 1 – atgalinio ištekinimo peilis; 2 – ištekinimo; 3 – išorinio tekinimo (kairinis, kai tvirtinama plokštele į operatorių, arba dešininis, kai tvirtinamas plokštele žemyn), taip pat galo tekinimo; 4 – išorinio tekinimo (dešininis, kai tvirtinama plokštele į operatorių, arba kairinis, kai tvirtinamas plokštele žemyn), taip pat galo tekinimo; 5, 7 – fasoniniams grioveliams galiniame paviršiuje tekinti; 6 – fasoniniams paviršiams ištekinti; 8 – fasoniniams paviršiams tekinti (Quesada 2005)

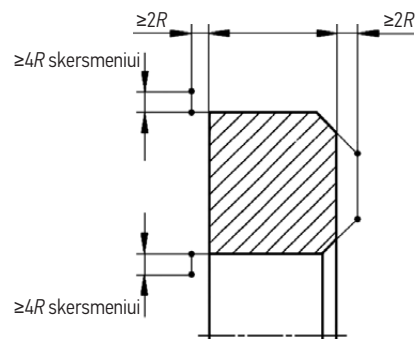
Tokį pat tarpelį reikėtų palikti ir prieš atšaukiant kompensaciją kodu G40. Tarpelis yra nedidelis, jis labai nepadidins ciklo trukmės, tačiau užtikrins visišką tekinamo kontūro apdirbimą nepaliekant nenupejautos medžiagos. Pavyzdžiui, peilio viršūnė (atraminis taškas) yra taške X60 Z5 detalės koordinačių sistemoje (9.56 pav.). Užprogramuosi- me judesį prie tekinamo kontūro pradžios pritaikę spindulio kompensaciją iš dešinės kodu G42. Kontūro pradžios taškas yra X40 Z0, todėl būtų logiška nukreipti įrankį į šį tašką. Viskas būtų ne taip blogai, jeigu šiame taške atsirastų atraminis peilio taškas, tačiau jeigu taikoma spindulio kompensacija iš kontūro dešinės, sistema perskaitys kitą eilutę ir atliks trajektorijos korekciją į dešinę nuo užprogramuotos ir peilio viršūnė bus pozicionuojama taip, kaip parodyta 9.56 pav. Peiliui judant į kitą tašką, pilka spalva pažymėta dalis liks neapdirbta.

Palikus tarpelį ši problema išsprendžiama. Tarpelio dydis paprastai būna ne mažesnis kaip du peilio viršūnės suapvalinimo spinduliai. Įvertinant tai, kad peilio viršūnės spindulys nėra didelis, jam nueiti tokį atstumą su pastūma nebus sugaišta daug laiko. Tai beveik neturės įtakos detalės apdirbimo trukmei. 9.57 pav. parodyta tarpelių naudojimo schema tekinant. Iš jos matoma, kad programuojant X koordinates (skersmeniui) koeficientas prie spindulio lygus 4.

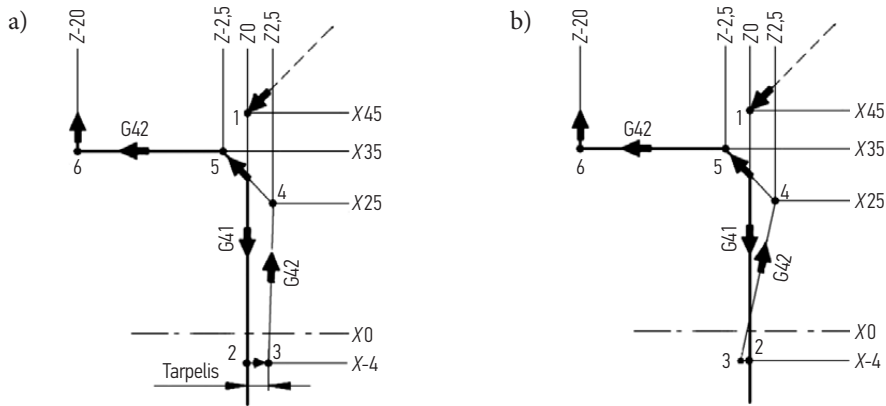
Tekinant, skirtingai nei frezuojant, gana dažnai reikia keisti kompensacijos kryptį iš kairės į dešinę ir atvirkščiai. Tai parodyta 9.58 pav., kai tos pačios detalės galinis ir išorinis paviršiai tekinami tuo pačiu peiliu. Galas tekinamas veikiant kompensavimo kodui G41 (iš profilio kairės). Paskui išorinis paviršius tekinamas jau veikiant kodui G42 (iš profilio dešinės). Čia reikia būti labai atsargiems ir prieš keičiant kompensacijos kryptį nukreipti įrankį saugiu atstumu nuo detalės, priešingu atveju ji gali būti sugadinta. Toks atvejis pavaizduotas 9.58 pav., b. Abiejų (teisingos ir neteisingos) programų fragmentai pateikti toliau.



9.56 pav. Spindulio kompensacijos taikymas prieš tekinant



9.57 pav. Tarpelių schema pritaikant ir atšaukiant peilio viršūnės spindulio kompensaciją: R – viršūnės suapvalinimo spindulys



9.58 pav. Spindulio kompensacijos krypties keitimas tekinant galą ir išorinį paviršių tuo pačiu peiliu: a – teisingai; b – neteisingai

...;

(teisingai (9.58 pav., a));

N09 G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

N10 T01 (įrankis Nr. 1 – tekinimo peilis (viršūnės suapvalinimo spindulys – 1 mm) nustatomas į darbo poziciją);

N11 G96 S200 M03 (įjungiamas pastovaus pjovimo greičio funkcija palaikant 200 m/min pjovimo greitį);

N12 G00 G41 X45.0 Z0.0 M08 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką 1 (9.58 pav., X45 Z0), esantį virš detalės, pritaikoma spindulio kompensaciją iš kairės, prieš judesį įjungiamas TAS siurblys);

N13 G01 X-4.0 F0.2 (galo tekinimas, įrankis juda iki taško 2, kurio pozicija 2 mm žemiau detalės ašies, norint garantuoti apdirbti visą galinį paviršių);

N14 G00 Z2.5 (įrankio atitraukimas pagal Z ašį saugiu atstumu (į tašką 3, 9.58 pav., a));

N15 G42 X25.0 (kompensacijos kryptis keičiama 2,5 mm atstumu nuo galinio detalės paviršiaus, į tašką 4 įrankio viršūnė atvyks jau sukompensuota);

N16 G01 X35.0 Z-2.5 (nuožulnos tekinimas, judesys į tašką 5);

N17 Z-20.0 (cilindrinės dalies tekinimas, judesys į tašką 6);

N18 X65.0;

...;

...;

(neteisingai (9.58 pav., b));

N09 G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

N10 T01 (įrankis Nr. 1 – tekinimo peilis (viršūnės suapvalinimo spindulys – 1 mm) nustatomas į darbo poziciją);

N11 G96 S200 M03 (įjungiamas pastovaus pjovimo greičio funkcija palaikant 200 m/min pjovimo greitį);

N12 G00 G41 X45.0 Z0.0 M08 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką 1 (9.58 pav., X45 Z0),

esantį virš detalės, pritaikoma spindulio kompensaciją iš kairės, prieš judesį įjungiamas TAS siurblys);

N13 G01 X-4.0 F0.2 (galo tekinimas, įrankis juda iki taško 2, kurio pozicija 2 mm žemiau detalės ašies, norint garantuotai apdirbti visą galinį paviršių);

N14 G00 G42 X25.0 Z2.5 (kompensacijos kryptis keičiama iš karto judant į tašką 4 (9.58 pav., b), neatitraukus įrankio saugiu atstumu nuo galinio paviršiaus, įrankis pakeliui į tašką 4 atliks judesį į tašką 3);

N15 G01 X35.0 Z-2.5 (nuožulnos tekinimas, judesys į tašką 5);

N16 Z-20.0 (cilindrinės dalies tekinimas, judesys į tašką 6);

N17 X65.0;

...;

Antrajame programos pavyzdyje, vykdamas programos eilutę N14, judant į tašką X25 Z2,5 pakeisti kompensacijos kryptį į dešinę sistema negalės, nes peilio viršūnė jau yra profilio (trajektorijos) dešinėje. Todėl peilio viršūnė bus patraukta į kairę, į tašką 3 (9.58 pav., b), ir iš jo judės į tašką X25 Z2,5, o pakeliui bus pakeista kompensacijos kryptis. Atliekant minėtus judesius peilio viršūnė kabins apdirbtą galinį paviršių ir paliks jame žymių.

Pateiktos spindulio kompensavimo taisyklės frezavimo staklėms iš esmės tinka ir tekinimo staklėms, išskyrus 5 ir 7.

Programų su įrankio spindulio kompensacija pavyzdžiai

1-asis pavyzdys. Paruošti programą detalės (9.59 pav.) iškyšai ir kišenei frezuoti pirštine freza taikant įrankio spindulio kompensaciją. Detalės elementai buvo gauti liejant, reikia tik nuimti 1 mm užlaidą nuo iškyšos ir kišenės sienelių. Iškyšai apdirbti galima naudoti tik ne didesnę kaip 20 mm skersmens frezą, jos matmenį riboja suapvalinimas R10. Kišenei apdirbti dėl tos pačios priežasties galima naudoti 8 mm skersmens frezą. Detalės nulį nustatysime kairiajame apatiniame krašte, Z nulis yra viršutinė plokštuma.

Programa absoliučiosiose koordinatėse atrodys taip:

059541

(programa detalei 9.59 pav. frezuoti – absoliučiosios koordinatės);

N1 G54 G90 G17 G21 (koordinacių sistema G54, absoliučiosios koordinatės, plokštuma XY, metriniai vienetai);

N2 T1 M06 (iš dėtuovės įrankis Nr. 1 – pirštinė freza, kurios skersmuo ne didesnis kaip 20 mm, įstatoma į sukli);

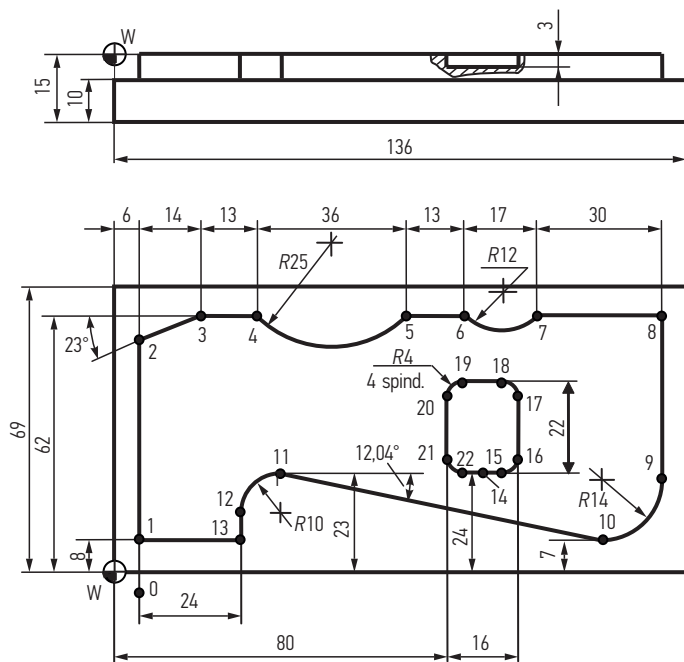
N3 S2500 M03 (suklys paleidžiamas suktytis pagal laikrodžio rodyklę, sūkiai – 2500 sūk./min);

N4 G00 X-4.0 Y-5.0 (greitojo įrankio pozicionavimo judesys plokštumoje XY į tašką, esantį už iškyšos kontūro ribų);

N5 G43 H01 Z5.0 (greitojo pozicionavimo judesys Z ašies kryptimi į tašką, kuris yra 5 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos, pritaikoma frezos ilgio kompensacija iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės);

N6 G01 Z-5.0 F120.0 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi į tašką, kuris yra

- 5 mm žemiau detalės viršutinės plokštumos, pastūma – 120 mm/min, prieš judesį įjungiamas TAS siurblys);
- N7 G41 X6.0 D01 F180.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką X6, prie frezuojamos iškyšos sienelės tęsinio, taškas 0, pakeliui į šį tašką pritaikoma spindulio kompensacija kontūro kairėje iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės, pastūma – 180 mm/min);
- N8 Y56.057 (tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi į tašką 2 (9.59 pav.) su 180 mm/min pastūma);
- N9 X20.0 Y62.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ir Y ašių kryptimi į tašką 3 su 180 mm/min pastūma);
- N10 X33.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką 4 su 180 mm/min pastūma);
- N11 G03 X69.0 R25.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 25 mm spinduliu prieš laikrodžio rodyklę į tašką 5, pastūma – 180 mm/min);
- N12 G01 X82.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką 6 su 180 mm/min pastūma);
- N13 G03 X99.0 R12.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 12 mm spinduliu prieš laikrodžio rodyklę į tašką 7, 180 mm/min pastūma);
- N14 G01 X129.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką 8 su 180 mm/min pastūma);
- N15 Y21.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi į tašką 9 su 180 mm/min pastūma);
- N16 G02 X115.0 Y7.0 R14.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 14 mm spinduliu pagal laikrodžio rodyklę į tašką 10, pastūma – 180 mm/min);
- N17 G01 X40.0 Y23.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ir Y ašių kryptimi į tašką 11 su 180 mm/min pastūma);
- N18 G03 X30.0 Y13.0 R10.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 10 mm spinduliu prieš laikrodžio rodyklę į tašką 12, pastūma – 180 mm/min);
- N19 G01 Y8.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi į tašką 13 su 180 mm/min pastūma);
- N20 X-4.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi už taško 1 su 180 mm/min pastūma);
- N21 G40 Y-5.0 M09 (tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi už taško 1 su 180 mm/min pastūma, pakeliui atšaukiama spindulio kompensacija, judesio pabaigoje nutraukiamas TAS tiekimas);
- N22 G00 Z5.0 (pagreitintas įrankio atitraukimas pagal Z ašį į atstumą 5 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos);
- N23 T2 M06 (iš dėtuvės įrankis Nr. 2 – 8 mm arba mažesnio skersmens freza įstatoma į suklij);
- N24 G00 X88.0 Y28.0 S1800 M03 (greitojo pozicionavimo judesys XY plokštumoje į tašką, esantį kišenėje);
- N25 G43 H02 Z2.0 (greitojo pozicionavimo judesys Z ašies kryptimi į tašką, kuris yra 2 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos, pritaikoma frezos ilgio kompensacija iš 2-os kompensacijų lentelės eilutės);
- N26 G01 Z-3.0 F80.0 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką, kuris yra 3 mm žemiau detalės viršutinės plokštumos, pastūma – 80 mm/min, prieš judesį įjungiamas TAS siurblys);
- N27 G41 D02 Y24.0 F120.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi į tašką 14 (9.59 pav.), prie frezuojamos kišenės sienelės, pakeliui į šį tašką pritaikoma spindulio kompensacija kontūro kairėje iš 2-os kompensacijų lentelės eilutės, pastūma – 120 mm/min);
- N28 X92.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką 15 su 120 mm/min pastūma);
- N29 G03 X96.0 Y28.0 R4.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 4 mm spinduliu prieš laikrodžio rodyklę į tašką 16, pastūma – 120 mm/min);



9.59 pav. Frezuojama detalė

- N30 G01 Y42.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi į tašką 17 su 120 mm/min pastūma);
- N31 G03 X92.0 Y46.0 R4.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 4 mm spinduliu prieš laikrodžio rodyklę į tašką 18, pastūma – 120 mm/min);
- N32 G01 X84.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką 19 su 120 mm/min pastūma);
- N33 G03 X80.0 Y42.0 R4.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 4 mm spinduliu prieš laikrodžio rodyklę į tašką 20, pastūma – 120 mm/min);
- N34 G01 Y28.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi į tašką 21 su 120 mm/min pastūma);
- N35 G03 X84.0 Y24.0 R4.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 4 mm spinduliu prieš laikrodžio rodyklę į tašką 22, pastūma 120 mm/min);
- N36 G01 X90.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką, esantį 2 mm į dešinę nuo taško 14, kontūras uždaromas);
- N37 Y28.0 G40 M09 (tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi pakeliui atšaukiama spindulio kompensacija, judesio pabaigoje nutraukiamas TAS tiekimas);
- N38 G00 Z5.0 (pagreitintas įrankio atitraukimas pagal Z ašį 5 mm atstumu aukščiau detalės viršutinės plokštumos);
- N39 G28 Z5.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal i ašį);
- N40 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Parengsime tos pačios detalės apdirbimo programą, kai koordinatės nurodomos prieaugiais. Pirmus įrankio judesius po keitimo patogiau atlikti nurodant trajektorijos taškų absoliučiąsias koordinates, todėl kai kurios programos dalys nesiskirs, jos nebus kartojamos, o pateikiama tik besiskirianti programos dalis.

059542

(programa detalei 9.59 pav. frezuoti – prieaugio koordinatės);

...;

N6 G91 G01 Z-10.0 F120.0 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi į tašką, kuris yra 5 mm žemiau detalės viršutinės plokštumos, pastūma – 120 mm/min, prieš judesį įjungiamas TAS siurblys, nustatomas prieaugio koordinacių režimas);

N7 G41 X10.0 D01 F180.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką X6, prie frezuojamos iškyšos sienelės tęsinio, taškas 0 (9.59 pav.), pakeliui į šį tašką pritaikoma spindulio kompensacija kontūro kairėje iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės, pastūma – 180 mm/min);

N8 Y61.057 (tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi į tašką 2 (9.59 pav.) su 180 mm/min pastūma);

N9 X14.0 Y5.943 (tiesinės interpoliacijos judesys X ir Y ašių kryptimis į tašką 3 su 180 mm/min pastūma);

N10 X13.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką 4 su 180 mm/min pastūma);

N11 G03 X36.0 R25.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 25 mm spinduliu prieš laikrodžio rodyklę į tašką 5, pastūma – 180 mm/min);

N12 G01 X13.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką 6 su 180 mm/min pastūma);

N13 G03 X17.0 R12.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 12 mm spinduliu prieš laikrodžio rodyklę į tašką 7, 180 mm/min pastūma);

N14 G01 X30.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką 8 su 180 mm/min pastūma);

N15 Y-41.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi į tašką 9 su 180 mm/min pastūma);

N16 G02 X-14.0 Y-14.0 R14.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 14 mm spinduliu pagal laikrodžio rodyklę į tašką 10, pastūma – 180 mm/min);

N17 G01 X-75.0 Y16.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ir Y ašių kryptimi į tašką 11 su 180 mm/min pastūma);

N18 G03 X-10.0 Y-10.0 R10.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 10 mm spinduliu prieš laikrodžio rodyklę į tašką 12, pastūma – 180 mm/min);

N19 G01 Y-5.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi į tašką 13 su 180 mm/min pastūma);

N20 X-34.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi už taško 1 su 180 mm/min pastūma);

N21 G40 Y-13.0 M09 (tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi už taško 1 su 180 mm/min pastūma, pakeliui atšaukiama spindulio kompensacija, judesio pabaigoje nutraukiamas TAS tiekimas);

N22 G00 Z10.0 (pagreitintas įrankio atitraukimas pagal Z ašį į atstumą 5 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos);

N23 G90 T2 M06 (iš dėtuovės įrankis Nr. 2 – 8 mm arba mažesnio skersmens freza įstatoma į sukli, nurodomas absoliučiuųjų koordinacių režimas);

...;

N26 G01 G91 Z-5.0 F80.0 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi į tašką, kuris yra 3 mm žemiau detalės viršutinės plokštumos, pastūma – 80 mm/min, prieš atliekant judesį įjungiamas TAS siurblys, priaugiu režimas);

N27 G41 D02 Y-4.0 F120.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi į tašką 14 (9.59 pav.), prie frezuojamos kišenės sienelės, pritaikoma spindulio kompensacija kontūro kairėje iš 2-os kompensacijų lentelės eilutės, pastūma – 120 mm/min);

N28 X4.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką 15 su 120 mm/min pastūma);

N29 G03 X4.0 Y4.0 R4.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 4 mm spinduliu prieš laikrodžio rodyklę į tašką 16, pastūma – 120 mm/min);

N30 G01 Y14.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi į tašką 17 su 120 mm/min pastūma);

N31 G03 X-4.0 Y4.0 R4.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 4 mm spinduliu prieš laikrodžio rodyklę į tašką 18, pastūma – 120 mm/min);

N32 G01 X-8.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką 19 su 120 mm/min pastūma);

N33 G03 X-4.0 Y-4.0 R4.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 4 mm spinduliu prieš laikrodžio rodyklę į tašką 20, pastūma – 120 mm/min);

N34 G01 Y-14.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi į tašką 21 su 120 mm/min pastūma);

N35 G03 X4.0 Y-4.0 R4.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 4 mm spinduliu prieš laikrodžio rodyklę į tašką 22, pastūma 120 mm/min);

N36 G01 X6.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką, esantį 2 mm į dešinę nuo taško 14, kontūras uždaromas);

N37 Y4.0 G40 M09 (tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi pakeliui atšaukiama spindulio kompensacija, judesio pabaigoje nutraukiamas TAS tiekimas);

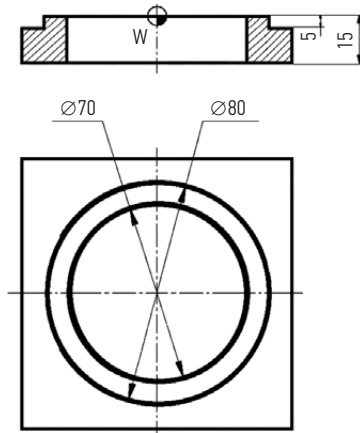
N38 G00 Z8.0 (įrankio atitraukimas pagal Z ašį 5 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos);

N39 G28 Z0.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį);

N40 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Šiose programose pradinio taško, nuo kurio judesio metu pritaikoma spindulio kompensacija, koordinatė parinkta specialiai taip, kad judesio ilgis būtų ne didesnis už didžiausią galimą frezos spindulį, pavyzdžiui, X-4 frezuojant išorinį kontūrą ir Y28 frezuojant kišenę. Taigi naudojant didesnio skersmens frezą šio judesio sistema atlikti negalės, programa bus priverstinai sustabdyta, išvengsime broko.

2-asis pavyzdys. Parengti programą detalės 9.60 pav. iškyšai ir skylėi frezuoti. Programos arba detalės nulis X0Y0Z0 abiejų apskritimų centre ir viršutinėje detalės plokštumoje (Z). Apdirbti naudojama 16 mm skersmens pirštinė freza. Apdirbamas liejinys, tai yra skylė ir išorinis apvalus kontūras jau sudaryti, lieka tik nupjauti nuo jų tam tikro storio sluoksnį.



9.60 pav. Frezuojama detalė (programa O30955)

O30955

N1 G21 G17 (metriniai vienetai, XY darbo plokštuma);

N2 T01 M06 (iš dėtuovės įrankis Nr. 1 – pirštinė freza, kurios skersmuo 16 mm, įstatoma į suklij);

N3 S1200 M03 (frezai suteikiamas sukimosi judesys pagal laikrodžio rodyklę, sukiai – 1200 suk./min);

N4 G90 G54 G00 X0.0 Y52.0 (greitasis frezos ašies pozicionavimas plokštumoje XY pradinėje pozicijoje X0 Y52 detalės koordinatinių sistemoje G54 (9.61 pav., a) prieš taikant spindulio kompensaciją, absoliučiuji koordinatinių režimas (G90));

N5 G43 Z3.0 H01 (greitasis įrankio galo pozicionavimas 3 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos (detalės nulis pagal Z ašį) pritaikant frezos ilgio kompensaciją iš 1-os (H01) kompensacijų lentelės eilutės);

N6 G01 Z-5.0 F90.0 (frezos galo nuleidimas į iškyšos frezavimo darbinį gylį 5 mm (9.60 pav.) nuo viršutinės plokštumos su 90 mm/min pastūma);

N7 G41 Y40.0 D01 F120.0 M08 (įsipjovimo judesys su 120 mm/min pastūma į pradinį apskritiminę interpoliacijos tašką (9.61 pav., a) pritaikant frezos spindulio kompensaciją iš profilio kairės, kompensacijos reikšmė saugoma kompensacijų lentelės 1-oje eilutėje (D01), prieš judesį įjungiamas TAS);

N8 G02 J-40.0 (viso apskritimo judesys pagal laikrodžio rodyklę, pastūma – 120 mm/min);

N9 G01 G40 Y52.0 M09 (judesys į įsipjovimo judesio pradžios tašką pakeliui iki jo atšaukiant kompensaciją kodu G40, nutraukti TAS tiekimą);

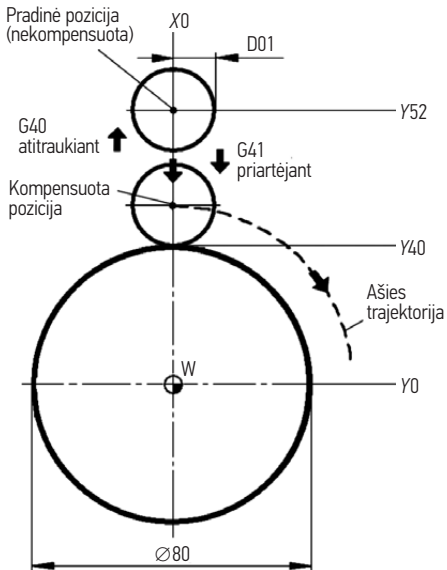
N10 G00 Z3.0 (greitasis frezos galo pozicionavimas 3 mm virš detalės viršutinės plokštumos);

N11 Y0.0 (greitasis frezos ašies pozicionavimas taške X0 Y0, t. y. detalės centre);

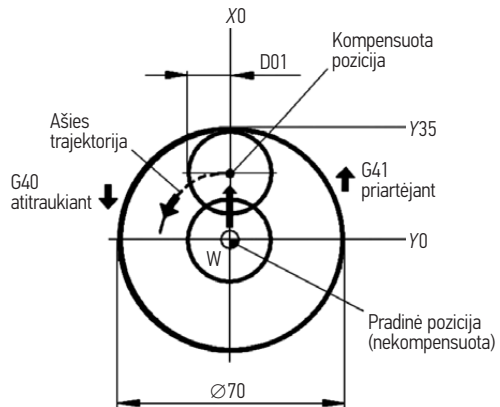
N12 G01 Z-17.0 F90.0 (frezos viršūnės nuleidimas į skylės apdirbimo darbinį gylį 17 mm (9.60 pav.) žemiau detalės viršutinės plokštumos (Z0) su 90 mm/min pastūma (palikta 2 mm atsarga, kad neliktų užvartos));

N13 G41 Y35.0 D01 F120.0 M08 (įsipjovimo judesys su 120 mm/min pastūma į pradinį vidinio

a)



b)



9.61 pav. Įrankio judesio trajektorijos apdirbant detalės (9.60 pav.) iškyšą (a) ir kišenę (b) pagal programą O30955

kontūro tašką X0 Y35 pakeliui pritaikant frezos spindulio kompensaciją iš kontūro kairės, kompensacijos reikšmė iš D kompensacijų lentelės 1-os eilutės (D01), prieš judesį įjungti TAS);
 N14 G03 J-35.0 (skylės frezavimas prieš laikrodžio rodyklę (9.61 pav., b));
 N15 G01 G40 Y0.0 M09 (judesys į skylės centrą (9.61 pav., b) pakeliui iki jo atšaukiant kompensaciją kodu G40, nutraukti TAS tiekimą);
 N16 G00 Z3.0 (greitasis frezos galo pozicionavimas 3 mm virš detalės viršutinės plokštumos);
 N17 G28 Z3.0 (suklio galvutės grįžimas į staklių nulį per įrankio tašką Z3 mm);
 N18 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Šioje programoje, taikant frezos spindulio kompensaciją iškyšai ir skylėi frezuoti, spindulio (skersmens) reikšmei nustatyti buvo kreipiamasi į tą pačią D kompensacijų lentelės eilutę, o būtent D01 (N7 ir N13 programos eilutės). Galima buvo naudoti ir dvi eilutes (pvz., D01 ir D21). Nepaisant to, kad abu detalės elementai apdirbami ta pačia freza, vieno jų išmatuoti tikrieji skersmenys gali būti tarp ribinių matmenų, o kito nebūti, nes programoje nurodytos tik nominaliosios koordinatės. Todėl, apdirbus bandomąsias detales ir išmatavus, kartais tenka koreguoti frezos spindulį, o tai daryti patogiau, kai spindulio reikšmės kiekvienam kontūrai apdirbti yra skirtingose eilutėse. Naudojant programoje tik vieną reikšmę D01, to padaryti nepavyks ir teks taisyti programos koordinatas. Dėl to pateiktas variantas yra ne toks lankstus.

3-iasis pavyzdys. Parengti tekimo staklių valdymo programą detalei 9.62 pav. apdirbti. Ši detalė turi ir išorinį, ir vidinį paviršių, kuriuos reikia tekinti, taip pat reikia tekinti galą. Sakykime, detalė yra kaltinys, jos vidinis ir išorinis profiliai jau suformuoti. Detalę reikia tekinti ir ištekinti tik švariai, t. y. atlikti vieną tekimo peilio eigą išilgai išorinio profilio ir vieną ištekimo peilio eigą išilgai vidinio profilio iki taško 16. Ø40 skylę apdirbsime 40 mm skersmens grąžtu. Šioje pakopoje įrankio spindulio kompensacija nereikalinga, taip pat netaikysime jos tekindami galą (galas apdirbamas judesiu tik išilgai vienos ašies). Tekinant ir ištekinant išorinį bei vidinį paviršius spindulio kompensacija yra būtina, norint gauti reikiamus matmenis. Todėl ją taikysime šioms pakopoms atlikti. Reikia atkreipti dėmesį į tai, kad apdirbimui (ir išoriniam tekimui, ir ištekimui) bus naudojamos peilio plokštelės, kurių viršūnių suapvalinimo spindulys neviršytų 1 mm, kitaip nebus įvykdyti brėžinio reikalavimai – didžiausias leistinas spindulys R1 (9.62 pav., taškai 6, 13). Programa, kurioje įrankio trajektorija nurodyta absoliučiosiose koordinatėse, pateikta toliau.

030957

(programa detalei (9.62 pav.) apdirbti, absoliučiosios koordinatės);

N1 G21 G28 (metriniai vienetai, revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

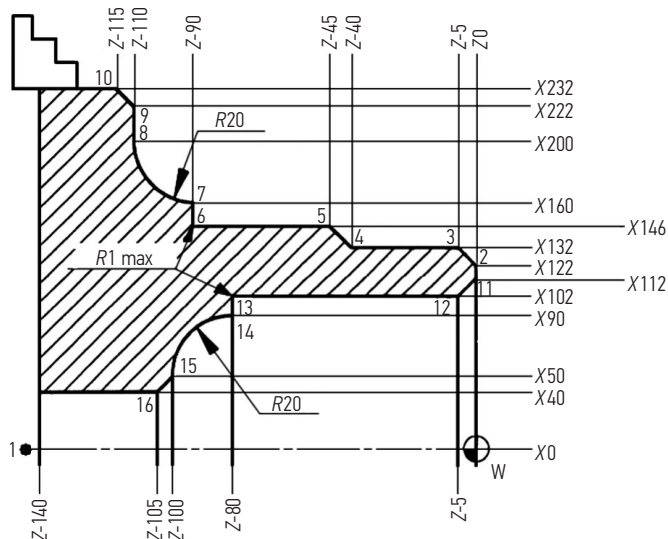
N2 G50 S3000 (ribojami suklio sūkliai iki 3000 sūk./min);

N3 T10 (įrankis Nr. 10 – 40 mm skersmens grąžtas nustatomas į darbo poziciją);

N4 S1000 M03 (suklys paleidžiamas suktytis pagal laikrodžio rodyklę, sūkliai – 1000 sūk./min);

N5 G00 X0.0 (greitojo pozicionavimo judesys X ašies kryptimi, grąžto ašis sutapdinama su detalės ašimi);

N6 Z-50.0 (greitojo pozicionavimo judesys Z ašies kryptimi, atraminis įrankio taškas juda į tašką, kurio koordinatė yra Z-50 detalės koordinacių sistemoje);



9.62 pav. Tekinama detalė

- N7 G01 Z-145.0 F0.15 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką 1 (9.62 pav.), judesio pradžioje įjungiamas TAS siurblys);
- N8 Z-100.0 (grąžto atitraukimo tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką Z-100 detalės koordinačių sistemoje);
- N9 G00 Z20.0 M09 (greitojo pozicionavimo judesys Z ašies kryptimi į tašką Z20 detalės koordinačių sistemoje, nutraukiamas TAS tiekimas);
- N10 X300.0 (greitojo pozicionavimo judesys X ašies kryptimi saugiu atstumu nuo detalės);
- N11 T01 (pirmasis įrankis revolverinėje galvutėje (išorinio tekinimo peilis, viršūnės spindulys – 0,5 mm) nustatomas į darbo poziciją);
- N12 G96 S200 M03 (įjungiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, palaikomas 200 m/min pjovimo greitis);
- N13 G00 Z0.0 (greitojo pozicionavimo judesys Z ašies kryptimi į tašką Z0 detalės koordinačių sistemoje);
- N14 X140.0 (greitojo pozicionavimo judesys X ašies kryptimi į tašką X140 detalės koordinačių sistemoje);
- N15 G01 X95.0 F0.12 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką X95 su 0,12 mm/sūk. pastūma, judesio metu bus apdirbtas galinis detalės paviršius, įjungiamas TAS siurblys);
- N16 Z5.0 (peilio atitraukimas tiesinės interpoliacijos judesiu Z ašies kryptimi į tašką Z5, t. y. 5 mm nuo galinio paviršiaus);
- N17 G00 G42 Z2.0 X118.0 (greitojo pozicionavimo judesys X ir Z ašių kryptimis į pirmą išorinio kontūro tašką 2 (9.62 pav.), paliekant tarpelį (9.57 pav.), nes šio judesio metu bus pritaikyta peilio viršūnės spindulio kompensacija profilio dešinėje. Profilio atkarpa 2–3 atstumu 2 mm pratęsiamą X ir Z ašių kryptimis iki taško X118 Z2);
- N18 G01 X132.0 Z-5.0 (tiesinės interpoliacijos judesys ašių X ir Z kryptimis į tašką 3 su 0,12 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija jau pritaikyta);
- N19 Z-40.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi į tašką 4 su 0,12 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija jau pritaikyta);
- N20 X146.0 Z-45.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ir Z ašių kryptimis į tašką 5 su 0,12 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta);
- N21 Z-90.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi į tašką 6 su 0,12 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta);
- N22 X160.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką 7 su 0,12 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta);
- N23 G02 X200.0 Z-110.0 R20.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 20 mm spinduliu į tašką 8 su 0,12 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta);
- N24 G01 X222.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką 9 su 0,12 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta);
- N25 X235.0 Z-116.5 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,12 mm/sūk. pastūma X ir Z ašių kryptimis į tašką 10, prailginant kontūro atkarpą 9–10 2,12 mm, spindulio kompensacija pritaikyta);
- N26 X238.0 M09 (peilio atitraukimas X ašies kryptimi, eigos gale nutraukiamas TAS tiekimas);

- N27 G00 G40 X300.0 Z200.0 (greitojo pozicionavimo judesys į įrankio keitimo poziciją X300 Z200 detalės koordinacių sistemoje, pakeliui atšaukiant spindulio kompensaciją);
- N28 T02 (pasirenkamas įrankis vidiniam paviršiui tekinti, esantis revolverinės galvutės lizde Nr. 2 (ištekimo peilis, viršūnės spindulys – 0,5 mm));
- N29 G00 G41 X118.0 Z3.0 (įrankis pagreitinai pozicionuojamas taške 11, tačiau tarp ruošinio ir įrankio paliekamas tarpelis, vidinio kontūro atkarpa 11–12 pratęsiama 3 mm X ir Z ašių kryptimis, nes pakeliui į tašką bus taikoma spindulio kompensacija profilio kairėje, spindulio reikšmė imama iš 2-os kompensacijų lentelės eilutės);
- N30 G01 X102.0 Z-5.0 F0.1 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys X ir Z ašių kryptimis į tašką 12 su 0,1 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta, prieš judesį įjungiamas TAS);
- N31 Z-80.0 (tiesinės interpoliacijos judesys ašies Z kryptimi į tašką 13 su 0,1 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta);
- N32 X90.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką 14 su 0,1 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta);
- N33 G03 X50.0 Z-100.0 R20.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys prieš laikrodžio rodyklę 20 mm spinduliu į tašką 15 su 0,1 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta);
- N34 G01 X37.0 Z-106.5 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,1 mm/sūk. pastūma X ir Z ašių kryptimis į tašką 16, prailginant kontūro atkarpą 15–16 1,5 mm abiejų ašių kryptimis, spindulio kompensacija pritaikyta);
- N35 X34.0 M08 (peilio atitraukimas nuo apdirbto paviršiaus X ašies kryptimi, eigos gale nutraukiamas TAS tiekimas);
- N36 G00 G40 Z5.0 (pagreitintas peilio ištraukimas iš skylės į tašką X34 Z5 detalės koordinacių sistemoje, pakeliui atšaukiant spindulio kompensaciją);
- N37 G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);
- N38 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Tą pačią programą parašysime prieaugio koordinatėmis. Dalis programos nesikeis, kaip ir frezavimo atveju (1-asis pavyzdys), todėl pateiksime tik eilutes, kurios skirsis nuo jau parengtos programos.

040957

(programa detalei (9.62 pav.) apdirbti, prieaugiai);

...;

N7 G01 W-95.0 F0.15 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką 1 (9.62 pav.), judesio pradžioje įjungiamas TAS siurblys);

N8 W45.0 (grąžto atitraukimo tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką Z-100 detalės koordinacių sistemoje);

N9 G00 W120.0 M09 (greitojo pozicionavimo judesys Z ašies kryptimi į tašką Z20 detalės koordinacių sistemoje, nutraukiamas TAS tiekimas);

N10 U300.0 (greitojo pozicionavimo judesys X ašies kryptimi į saugų atstumą nuo detalės);

...;

N13 G00 Z0.0 (greitojo pozicionavimo judesys Z ašies kryptimi į tašką Z0 detalės koordinacių sistemoje);

N14 X140.0 (greitojo pozicionavimo judesys X ašies kryptimi į tašką X140 detalės koordinatinių sistemoje);

N15 G01 U-45.0 F0.12 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką X95 su 0,12 mm/sūk. pastūma, judesio metu bus apdirbtas galinis detalės paviršius, įjungiamas TAS siurblys);

N16 W5.0 (peilio atitraukimas tiesinės interpoliacijos judesiu Z ašies kryptimi į tašką Z5, t. y. 5 mm nuo apdirbto galinio paviršiaus (Z0));

N17 G00 G42 W-3.0 U23.0 (greitojo pozicionavimo judesys X ir Z ašių kryptimis į pirmą išorinio kontūro tašką 2 (9.62 pav.), tačiau paliekant tarpelį (9.57 pav.), nes šio judesio metu bus pritaikyta viršūnės spindulio kompensacija profilio dešinėje. Profilio atkarpa 2–3 atstumu 2 mm pratęsima X ir Z ašių kryptimis iki taško X118 Z2);

N18 G01 U14.0 W-7.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ir Z ašių kryptimis į tašką 3 su 0,12 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija jau pritaikyta);

N19 W-35.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi į tašką 4 su 0,12 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta);

N20 U14.0 W-5.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ir Z ašių kryptimis į tašką 5 su 0,12 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta);

N21 W-45.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi į tašką 6 su 0,12 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta);

N22 U14.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką 7 su 0,12 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta);

N23 G02 U40.0 W-20.0 R20.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys 20 mm spinduliu į tašką 8 su 0,12 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta);

N24 G01 U22.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką 9 su 0,12 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta);

N25 U13.0 W-6.5 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,12 mm/sūk. pastūma X ir Z ašių kryptimis į tašką 10, prailginant kontūro atkarpa 9–10 2,12 mm, spindulio kompensacija jau pritaikyta);

N26 U3.0 M09 (peilio atitraukimas X ašies kryptimi, eigos gale nutraukiamas TAS tiekimas);

N27 G00 G40 U62.0 W316.5 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką X300 Z200 detalės koordinatinių sistemoje, pakeliui atšaukiant spindulio kompensaciją);

...;

N29 G00 G41 X118.0 Z3.0 (įrankis pagreitinamai pozicionuojamas taške 11, tarp ruošinio ir įrankio paliekant tarpelį, vidinio kontūro atkarpa 11–12 pratęsima 3 mm X ir Z ašių kryptimis, nes pakeliui į tašką bus taikoma spindulio kompensacija profilio kairėje, spindulio reikšmė imama iš 2-os kompensacijų lentelės eilutės);

N30 G01 U-16.0 W-8.0 F0.1 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys X ir Z ašių kryptimis į tašką 12 su 0,1 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta, prieš atliekant judesį įjungiamas TAS siurblys);

N31 W-75.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi į tašką 13 su 0,1 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta);

N32 U-12.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi į tašką 14 su 0,1 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta);

- N33 G03 U-40.0 W-20.0 R20.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys prieš laikrodžio rodyklę 20 mm spinduliu į tašką 15 su 0,1 mm/sūk. pastūma, spindulio kompensacija pritaikyta);
N34 G01 U-13.0 W-6.5 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,1 mm/sūk. pastūma X ir Z ašių kryptimis į tašką 16, prailginant kontūro atkarpą 15–16 1,5 mm abiejų ašių kryptimis, spindulio kompensacija pritaikyta);
N35 U-3.0 M08 (peilio atitraukimas nuo apdirbto paviršiaus X ašies kryptimi, eigos gale nutraukiamas TAS tiekimas);
N36 G00 G40 W111.5 (pagreitinatas peilio ištraukimas iš skylės į tašką X34 Z5 detalės koordinacijų sistemoje, pakeliui atšaukiant spindulio kompensaciją);
N37 G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);
N38 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

9.2.3. Įrankių dilimo kompensacijos

Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai

Šiuolaikinių frezavimo staklių įrankių kompensacijų lentelėje (pvz., „HAAS“ firmos staklių lentelė parodyta 9.8 pav., viršuje) galima matyti, kad prie ilgių ir spindulio/skersmens kompensacijų stulpelių yra dar atskiri stulpeliai, pavadinti „nudilimas“ (*Wear*). Į šio stulpelio eilutes galima įvesti vadinamąsias įrankio nudilimo kompensacijų reikšmes. Žinoma, kad darbo metu įrankis dyla, kinta jo matmenys, todėl įrankio atraminio taško padėtis taip pat keičiasi. Padirbus frezai, jos ilgis sumažės, todėl priderinant naujus įrankius prie detalės Z nulio prisilietimo metodu gauti matmenys arba ilgių kompensacijos H01–H03 (9.18 pav.) neatitiks tikrovės. Programoje nurodžius frezos atraminiam taškui judėti į tašką Z–2, jis atsidurs aukščiau nudilimo dydžiu, pvz., taške Z–1,99. Griovelio gylis tokiu atveju taip pat pasikeis ir gali būti taip, kad tikrasis jo matmuo viršys ribinį. Pakoreguoti trajektoriją galima įvedant nudilimo pataisą ir nekeičiant programos koordinacijų, taip pat įrankio spindulio arba ilgio kompensacijų reikšmių, esančių kompensacijų lentelės D arba H stulpeliuose. Trajektorija gali būti koreguojama ne vieną kartą, o kelis kartus per įrankio patvarumo laikotarpį. Naujos dilimo kompensacijos reikšmės įrašomos į lentelę tada, kai gaunamas matmuo pasikeičia ir priartėja prie ribinio matmens.

Gali kilti klausimas – kodėl negalima pakoreguoti trajektorijos keičiant pačios kompensacijos (ilgio arba spindulio) reikšmes? Be jokios abejonės, galima ir tokiu būdu, tačiau operatorius į dilimo kompensacijų stulpelį pradeda įvesti nudilimo reikšmes nuo nulinės reikšmės, o toliau prideda naują reikšmę prie senos. Jis turi galimybę sekti vaizduoklyje, kaip dyla įrankis ir pakeisti įrankį, kai nudilimas pasiekia ribinę reikšmę. Pakeitęs įrankio plokštelę nauja operatorius įveda nulinę dilimo kompensacijos reikšmę, o ilgio kompensacijos reikšmė lieka ta pati kaip ir seno įrankio, todėl kai kuriais atvejais jos nereikės keisti, galima tiesiog pradėti dirbti nauju įrankiu iš karto, jo nederinant.

Frezos spindulys taip pat mažėja frezuojant. Taikant spindulio kompensaciją sistema perstumia trajektoriją spindulio dydžiu iš kompensacijų lentelės. Jeigu lentelėje

nurodyta reikšmė neatitiks tikrosios, o bus didesnė, pjovimo briaunos bus atitrauktos toliau nuo kontūro. Todėl frezuojamos iškyšos matmuo, kaip buvo parodyta 9.2.2 skirsnyje, bus didesnis, o kišenės – mažesnis. Dėl to kartkarčiais reikia koreguoti spindulio/skersmens reikšmę, nurodytą lentelėje. Čia geriausia pataisą įrašyti į dilimo, o ne į spindulio/skersmens stulpelį. Taip suderinus naują įrankį atsiras galimybė stebėti jo dilimo dinamiką.

Kaip jau žinoma, valdymo sistema, koreguojant užprogramuotą trajektoriją frezos spindulio dydžiu, ima jo reikšmę iš eilutės, kurios numeris nurodytas programoje po adreso D. Kartu ji pasiima dilimo kompensacijos reikšmę iš to paties numerio eilutės *Wear* stulpelio ir prideda prie spindulio iš D lentelės. Dilimo kompensacija gali būti įvedama su „+“ arba su „-“ ženklu. Taigi jeigu dilimo kompensacija įvedama su „-“ ženklu, frezos skersmuo tampa mažesnis negu nurodytas D lentelėje, ir freza priartinama arčiau prie kontūro (kaip ir turi būti jai dylant). Jeigu kompensacijos reikšmė įvesta su „+“ ženklu, skersmuo padidėja ir freza atitraukiama nuo kontūro kompensacijos dydžiu (toks atvejis negali būti frezai dylant, tačiau dilimo kompensacijos stulpelis gali būti naudojamas ir kitiems tikslams). Jeigu dilimo kompensacijos reikšmė yra 0.000, kaip yra pagal nustatytuosius parametrus, trajektorija kompensuojama tik spindulio dydžiu, esančiu atitinkamoje D lentelės eilutėje. Sistema prideda prie jo 0, trajektorija nesikeičia. Pakeitus įrankį arba jo plokšteles naujomis, dažniausiai nereikės iš naujo matuoti jo tikrojo skersmens, o tiesiog dilimo kompensacija nustatoma vėl lygi nuliui ir dirbama toliau. Tai yra dar vienas dilimo lentelės plusas, kurio neturėtume, jeigu sugalvotume koreguoti trajektoriją keisdami spindulio reikšmę. Jeigu negalėtume prisiminti tikrojo pradinio įrankio skersmens (t. y. naujo, dar nedirbusio įrankio), jį reikėtų matuoti iš naujo.

Dilimo kompensacijų lentelėje esančios reikšmės, kaip minėta, gali būti taip pat naudojamos ir įrankio trajektorijai koreguoti, jeigu dėl tam tikrų priežasčių nepavyko gauti norimo matmens. Tokiu atveju spindulių lentelės eilutėje lieka nominalusis įrankio spindulys, o į dilimo kompensacijų lentelės eilutę įvedama reikiamo ženklo pataisa.

Paminėtina, kad spindulio dilimo kompensacija reikalinga tais pačiais atvejais, kaip ir spindulio kompensacija, t. y. frezuojant iškyšas ir kišenes pirštinėmis frezomis. Dirbant su kitais įrankiais (grąžtais, sriegikliais, galinėmis frezomis ir pan.), t. y. tais atvejais, kai patogiau valdyti įrankio ašies poslinkį, ši kompensacija nereikalinga.

Panašiai yra ir su įrankių ilgųjų kompensacijomis (H stulpelis, 9.8 pav.). Pritaikius ilgio kompensaciją kodu G43 H... prie jos bus automatiškai pridėdama (arba atimama, priklausomai nuo ženklo) toje eilutėje nurodyta dilimo kompensacija. Jeigu ilgio kompensacija nurodoma su „-“ ženklu (o taip dažniausiai ir būna derinant įrankius prisilietimo metodu), įvesta su „-“ ženklu dilimo kompensacija nukreips įrankio galą arčiau detalės paviršiaus (to ir reikia dylant įrankiui). Teigiama dilimo kompensacija nukreips atraminį įrankio tašką nuo detalės paviršiaus dilimo kompensacijos dydžiu. Įvesta į eilutę nulinė kompensacijos reikšmė neturės įtakos įrankio trajektorijai.

Ilgio dilimo kompensacijų stulpelio reikšmės gali būti naudojamos ir kitiems tikslams, ne vien tik dilimui kompensuoti. Reikšmės, įvestos su atitinkamu ženklu, gali būti naudojamos detalės Z0 plokštumai „pakelti“ arba „nuleisti“, panašiai kaip buvo naudojamos detalės koordinacių sistemų G54–G59 ir kt. kompensacijų lentelės Z stulpelio reikšmės.

Tekinimo staklės

Kaip ir frezos, tekinimo peiliai (tiksliau, jų keičiamosios plokštelės) taip pat dyla. Keičiasi jų viršūnių padėtis detalės nulinio atžvilgiu. Tekinimo staklėse, lyginant su frezavimo staklėmis, naudojamos šiek tiek kitokios dilimo kompensacijos. Čia dilimo kompensacija taikoma ne įrankio spinduliui ir ilgiui, o iškyšų ilgių pasikeitimui pagal X ir Z ašis. Programinio valdymo įrenginio vaizduoklyje į dilimo kompensacijų lentelę taip pat galima įvesti ir įrankio viršūnės spindulio nudilimo reikšmę (9.63 pav., (RADIIUS)). Ji bus naudojama koreguoti viršūnės suapvalinimo spindulį (jo reikšmė įvesta į geometrijos kompensacijų lentelę), kuris, dylant įrankiui, taip pat šiek tiek pasikeičia. Paprastai spindulio dilimo pataisa nurodoma tikslaus fasoninių paviršių tekinimo peiliams.

Dilimo kompensacijos kryptiniai taip pat turi įtakos jos ženklas. Jei kompensacija įvesta su „-“ ženklu, tekinimo peilio viršūnė priartės prie apdirbamo detalės paviršiaus (kaip ir turi būti jam dylant), priešingai – atsitrauks. Ištekinimo peilio viršūnė priartės prie apdirbamo vidinio paviršiaus, kai X ašies dilimo kompensacija bus teigiama, o Z – neigiama. Spindulio dilimo pataisa, dylant įrankiui, būna teigiama, spindulys didėja.

NO	(TOOL WEAR)		(RADIUS)
	(X)	(Z)	
1	-0.020	-0.010	0.
2	0.	0.	0.
3	0.	0.	0.
4	0.	0.	0.
5	0.	0.	0.
6	0.	0.	0.
7	0.	0.	0.
8	0.	0.	0.
9	0.	0.	0.
10	0.	0.	0.
11	0.	0.	0.
12	0.	0.	0.
13	0.	0.	0.
14	0.	0.	0.
15	0.	0.	0.
16	0.	0.	0.
17	0.	0.	0.
18	0.	0.	0.
19	0.	0.	0.
20	0.	0.	0.
21	0.	0.	0.
22	0.	0.	0.
23	0.	0.	0.
24	0.	0.	0.
Z POSITION : 0.000 WRITE ADD/F1 SET/OFFSET TOGGLE			

9.63 pav. „HAAS“ firmos tekinimo staklių dilimo kompensacijų lentelė

Reikia nepamiršti, kad kai X koordinatės nurodomos skersmeniui (dažniausiai būna taip, tačiau sistemos nustatymais galima perjungti ir į spindulio režimą), dilimo kompensacijos reikšmę prieš įvedant į lentelę taip pat reikia padvigubinti.

Dilimo (kaip ir geometrijos arba ilgio) kompensacijos tekinimo staklėse pritaikomos ne adresais D... ir H..., o tiesiog įrankio numeriu. Įrankis tekinimo staklių programoje nustatomas į darbo poziciją adresu T, po kurio nurodomas dviejų arba keturių ženklų skaičius, pvz., T0101, T0303, T0305 ir pan. Pirmi du skaičiai (arba vienas) po adreso T nurodo įrankio numerį revolverinėje galvutėje, taip pat tai, kad jo geometrijos kompensacijų reikšmės (pagal X ir Z ašis) bus pritaikytos iš to pačio numerio eilutės geometrijos kompensacijų lentelėje. Šiuos skaičius būtina nurodyti norint nustatyti įrankį į darbo poziciją (pvz., T01, T03, T03 arba T1, T2, T3). Tačiau po jų galima nurodyti dar du skaičius. Šie paskutiniai du skaičiai nurodo dilimo kompensacijų lentelės eilutės numerį, kur yra dilimo kompensacijų reikšmės, taikomos šiam įrankiui. Šie skaičiai nebūtinai turi sutapti su įrankio numeriu, leidžiama naudoti skirtingas dilimo kompensacijas tam pačiam įrankiui, nors praktikoje, siekiant išvengti painiavos, stengiamasi naudoti vienodus numerius, pvz., T0101 (T101), T0202 (T202) ir pan. Pavyzdžiui, jeigu programoje nurodyta T0202, revolverinė galvutė bus pasukta taip, kad darbo pozicijoje atsidurtų įrankis Nr. 2, jo geometrijos kompensacijos bus paimtos iš 9.27 pav. lentelės 2-os eilutės, o dilimo kompensacijos – iš 9.63 pav. parodytos dilimo kompensacijų lentelės 2-os eilutės. Jeigu nurodytas kodas T0405, įrankis Nr. 4 atsiduria darbo pozicijoje, jo geometrijos kompensacijos imamos iš 9.27 pav. parodytos lentelės 4-os eilutės, o dilimo kompensacijos – iš dilimo kompensacijų lentelės 5-os eilutės. Paprastai paskutiniai du skaičiai nebūtinai, jeigu nereikia taikyti dilimo kompensacijų arba vietoje jų galima nurodyti nulius, t. y. T0100, T0400 ir pan.

9.3. Kompensacijų nustatymas iš programos

Žinoma, kad operatorius dažniausiai nustato koordinačių sistemų (G54–G59 ir kitų) pradžių padėtis ir įrankių ilgių (geometrijos) kompensacijas derinimo metu, tiesiog prisiliesdamas įrankiu (-iais) prie detalės paviršiaus. Pakeitus sudilusius įrankius naujais arba pasikeitus ruošinio padėčiai staklių darbo erdvėje, jis derina įrankius iš naujo. Toks metodas yra gana paprastas, galima netgi nežinoti įrankių ilgių, tačiau derinimo metu staklės neatlieka savo pagrindinio darbo – apdirbti ruošinius, atsiranda laiko nuostolių, kurie gali būti nepriimtini stambių serijų ir masinės gamybos sąlygomis.

Stambiose įmonėse gamyba dažniausiai yra automatizuota. Ten valdymo programoms sudaryti naudojami CAD/CAM programų paketai, taikomos automatinės įrankių tiekimo sistemos, staklių pakrovimo/iškrovimo robotai, palečių keitikliai, įrankių būklės stebėjimo sistemos, įrankių derinimo įranga. Tokiomis sąlygomis cechuose nereikia daug operatorių, derinti kiekvieną naują įrankį yra labai nenašu, nes dirbama daug ir reikia dažnai keisti sudilusius įrankius. Šiuo atveju geriau tiekti prie staklių

įrankius su jau žinomomis kompensacijomis (suderintus už staklių ribų), o jų kompensacijas nurodinėti pačiose programose.

Tokiai koncepcijai įgyvendinti „Fanuc“ firmos ir panašiose valdymo sistemose (taip pat ir „HAAS“ firmos) yra kodas G10, kuris vadinamas *duomenų įvedimo kodu* (*Data Setting*). Naudojant skirtingus adresus galima įvesti įvairias kompensacijas (pvz., ilgių, skersmens/spindulio, detalės koordinacių sistemos pradžios ir pan.) tiesiog iš valdymo programos, o ne įvesti į lenteles. Jos atsidurs taip pat ir lentelėse, tačiau tik po to, kai vykdant programą bus apdorotos eilutės su kodu G10.

Kodo G10 formatas gali skirtis net ir įvairiose tos pačios firmos valdymo sistemose. Todėl reikia visada peržiūrėti operatoriaus vadovą. Toliau pateikti pavyzdžiai tinka „Fanuc 16 Model B“ ir šiuolaikinėms „HAAS“ firmos valdymo sistemoms.

Kodas G10 yra nedomalnis, jis galioja tik toje eilutėje, kurioje nurodytas. Juo nustatytos kompensacijos galioja visoje programoje tol, kol nebus nurodytas šis kodas su kitomis kompensacijų reikšmėmis.

G10 kodui turi įtakos, koks koordinacių įvedimo režimas yra aktyvus – absoliučiosios koordinatės (G90) arba prieaugiai (G91). Pirmuoju atveju prieš tai galiojanti kompensacijos reikšmė bus pakeista į nurodytą po G10 kodo, antruoju atveju – atnaujinta, t. y. prie jos bus pridėta po G10 užprogramuota kompensacijos reikšmė.

Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai

Frezavimo staklėse šešias pagrindinių detalės koordinacių sistemų G54–G59 pradžias galima nustatyti programoje. Formatas yra toks:

G10 L2 P... X... Y... Z... A... B...;

Šioje eilutėje L2 reiškia, kad norima pakeisti būtent detalės koordinacių pradžios padėtį, o skaičius po raidės P nurodo, kokios būtent koordinacių sistemos. Kiekvienai iš šešių pagrindinių koordinacių sistemų G54–G59 priskiriamas numeris nuo 1 iki 6 atitinkamai. Pavyzdžiui eilutėje:

G90 G10 L2 P1 X-320.5 Y-199.4;

valdymo sistemai nurodoma įvesti į detalės koordinacių sistemų kompensacijų registrą naujus atstumus nuo staklių nulio iki detalės koordinacių sistemos G54 pradžios: X-320,5 Y-199,4 mm. Z koordinatė liks tokia pat kaip ir buvo (dažniausiai 0), nes kitokia eilutėje nenurodyta. Atstumai į registrą bus įvesti vietoje buvusių, nes aktyvus absoliučiąjį koordinacių režimas (G90). Jeigu būtų aktyvus prieaugių režimas (G91), atstumų reikšmės būtų pridėtos prie esančių G54 registre. Eilutėje:

G90 G10 L2 P3 X-320.5 Y-199.4;

nurodoma įvesti tas pačias reikšmes į G56 registrą (P3).

Mes jau žinome, kad staklių valdymo sistemose galima naudoti ir papildomas koordinacių sistemas. „Fanuc“ firmos sistemose pereiti į papildomas sistemas naudojami kodai G54.1 P1–G54.1 P48, „HAAS“ firmos sistemose – kodai G110–G129 arba

G154 P1–G154 P99. Papildomų koordinacių sistemų pradžių padėčiai apibrėžti programoje naudojamas adresas L20. Programos eilutė atrodo taip:

G10 L20 P... X... Y... Z...;

Čia po adreso P nurodomas koordinacių sistemos numeris. Pavyzdžiui, jeigu nurodytas P1, atstumai bus įvesti į G54.1 P1 registrą („Fanuc“ firma) arba į G110 (G154 P1) registrą („HAAS“ firma). Jeigu nurodyta P3 duomenys atsiras registre G54.1 P3 („Fanuc“ firma) arba G112 (G154 P3) registre („HAAS“ firma). Esmė yra tokia pat, kaip ir pagrindinių koordinacių sistemų atveju, keičiasi tik kompensacijų grupės numeris iš L2 į L20.

Įrankių ilgių kompensacijos programuojamos panašiai, tik, priklausomai nuo „Fanuc“ firmos valdymo sistemos tipo ir pagaminimo metų, gali būti naudojami skirtingi adresai L... Jau minėjome, kad vystantis šioms sistemoms, jose buvo naudojamas skirtingas ilgių kompensacijų lentelių stulpelių skaičius. A tipo sistemose, kuriose yra tik vienas stulpelis, įrankių ilgių kompensacijoms eilutės formatas yra toks:

G10 L11 P... R...;

B ir C tipo sistemose, kuriose galima įvesti ir dilimo kompensaciją, formatas yra toks:

G10 L10 P... R... (ilgių kompensacijų reikšmėms įvesti);

G10 L11 P... R... (dilimo (pagal ilgį) kompensacijų reikšmėms įvesti);

Čia visur po adreso P nurodomas registro numeris (kitais tariant, kompensacijų lentelės eilutė, į kurią reikia įvesti kompensaciją), o po adreso R nurodoma kompensacijos reikšmė. G90/G91 šiuo atveju turi lygiai tokią pat prasmę, kaip detalės koordinacių sistemoms G54–G59 ir papildomoms.

Pavyzdžiui, įrankiui Nr. 2 reikia įvesti ilgio kompensaciją $-365,5$ mm. Eilutė tam atlikti atrodys taip:

G90 G10 L10 P2 R-365.5;

Jeigu reikėtų, kad įrankis pjautų 2 mm giliau, galima užprogramuoti prieaugių režimu:

G91 G10 L10 P2 R-2.0;

Tokiu būdu valdymo sistema prie paskutinės kompensacijos pridėtų naują reikšmę, t. y. $-365,5 + (-2)$ ir į registrą Nr. 2 būtų įvestas rezultatas $-367,5$ mm.

Pažymėtina, kad senesnėse „Fanuc“ firmos valdymo sistemose vietoje L11 buvo naudojamas žodis L1. Todėl naujose sistemose taip pat numatyta galimybė naudoti ir L1 ir L11 žodžius. Naujausiose „HAAS“ firmos valdymo sistemose, taip pat kaip ir „Fanuc“ firmos, naudojami žodžiai L10 ir L11. Taip pat galima naudoti L1 vietoj L11.

Įrankių spindulio kompensacijos reikšmės taip pat gali būti įvestos programoje. Tam „Fanuc“ firmos C tipo sistemose naudojami adresai L12 (spindulys) ir L13 (spindulio dilimo kompensacija). Pavyzdžiui, vykdant eilutę:

G90 G10 L12 P5 R10.0;

Į D lentelės registrą (spindulio kompensacijos lentelės eilutę) Nr. 5 bus įvesta spindulio (skersmens, priklausomai nuo nustatymo) reikšmė 10 mm. Eilutėje:

G90 G10 L13 P5 R-0.003;

į spindulio dilimo kompensacijų registrą Nr. 5 bus įvesta kompensacijos reikšmė $-0,003$ mm.

Jeigu kompensacijos reikšmė turi būti nepakeista, bet padidinta arba sumažinta, galima programuoti prieaugių režimu:

G91 G10 L13 P5 R0.002;

Vykdamt tokią eilutę esama spindulio dilimo kompensacijų eilutėje Nr. 5 dilimo kompensacijos reikšmė bus padidinta 0,002 mm, galutinė reikšmė bus $-0,003 + 0,002 = -0,001$ mm.

Lygiai taip pat spindulio/skersmens kompensacijos valdomos ir „HAAS“ firmos frezavimo staklėse. Reikia nepamiršti, kad priklausomai nuo sistemos nustatymų į lentelę galima įvesti spindulio arba skersmens reikšmę (po adreso R nurodomas spindulys arba skersmuo).

Tekinimo staklės

Tekinimo staklėse įrankių iškyšų dydžių kompensavimo būdas skiriasi nuo frezavimo. Čia kodo G10 formatas yra toks:

G10 L... P... X(U)... Z(W)... R... Q...;

Kaip ir frezavimo staklėse, adresus L valdymo sistemai nurodo, kokį kompensacijų tipą (detalės koordinacių sistemos pradžios, geometrijos ar dilimo) reikia pakeisti, adresu P kreipiamasi į registrą, kurio duomenys turi būti pakeisti, adresai X ir Z nurodo, kokia kompensacijos reikšmė turi būti pritaikyta pagal atitinkamą ašį, po adreso R nurodomas peilio viršūnės spindulys. Tekinimo staklėse absoliučiuųjų koordinacių ir prieaugių režimai, kaip žinoma, dažniausiai įjungiami ne kodais G90/G91, kaip frezavimo staklėse, bet nurodant skirtingus koordinacių adresus X/U ir Z/W. Todėl, jeigu nurodytas adresus X, skaičius registre bus pakeistas kitu, esančiu po X adreso, o jeigu nurodytas adresus U, po jo esanti koordinatės reikšmė bus pridėta prie esamos. Adresas Q nurodo įrankio viršūnės kryptį, kuri yra labai svarbi programuojant peilių spindulio kompensacijas, po jo turi būti nurodytas skaičius, atitinkantis peilio viršūnės padėtį (9.54, 9.55 pav.).

Adresas L tekinimo staklėse gali būti naudojamas su tokiais skaičiais:

L2 – pagrindinių (G54–G59) detalės koordinacių sistemų pradžioms nustatyti (retai naudojamas tekinant);

L10 – įrankių geometrijos kompensacijoms nustatyti;

L11 arba L1 – įrankio dilimo kompensacijoms programuoti;

L20 – papildomų (G54.1 P1–G54.1 P48 „Fanuc“, G110–G129 arba G154 P1–G154 P99 „HAAS“ firmos sistemose) koordinacių sistemų pradžioms nustatyti (retai naudojamas tekinant).

Toliau pateikti programavimo pavyzdžiai su paaiškinimais.

G10 L2 P2 W12.0 (perkelti koordinačių sistemos G55 pradžią 12 mm teigiamąja Z ašies kryptimi);

G10 L2 P1 Z-15.5 (nustatyti koordinačių sistemos G54 pradžią į Z-15,5);

G10 L10 P2 X-175.4 Z-200.0 (nustatyti naujas įrankio Nr. 2 geometrijos kompensacijas X-175,4 ir Z-200);

G10 L10 P1 R2.5 Q3 (nustatyti įrankio Nr. 1 viršūnės spindulį 2,5 mm, viršūnės padėtį Nr. 3 (9.54 pav.));

G10 L10 P2 X-175.4 Z-200.0 R0.8 Q2 (nustatyti įrankio Nr. 2 geometrijos kompensacijas X-175,4 ir Z-200, spindulį 0,8 mm ir viršūnės padėtį Nr. 2);

Įvykdžius paskutinę eilutę įrankių geometrijos kompensacijų lentelės duomenys pateikiami 9.6 lentelėje.

9.6 lentelė. Tekinimo staklių įrankių geometrijos kompensacijų lentelės fragmentas

	X	Z	Radius	Tip
01	...	...	...	...
02	-175.4	-200.0	0.8	2
...

9.4. Įrankio pozicijos registracija

Įrankių pozicijos registracijos arba koordinačių sistemos perkėlimo kodai buvo naudojami detalės koordinačių sistemos pradžios padėčiai nustatyti. Šiuolaikinėse staklėse tas funkcijas atlieka pagrindinių ir papildomų detalės koordinačių sistemų kodai. Pozicijos registracija buvo pagrindinė priemonė detalės nulio padėčiai nustatyti programoje senesnėse programinio valdymo sistemose, kuriose dar nebuvo naudojami koordinačių sistemų kodai (G54–G59 ir kt.) ir nebuvo detalės koordinačių sistemų kompensacijų lentelių, panašių į pateiktas 9.8 ir 9.12 pav. Nepaisant to, koordinačių sistemos perkėlimo kodai galioja ir šiuolaikinėse valdymo sistemose. Tai daroma tam, kad nereikėtų redaguoti programų, sudarytų senesnio tipo įrengimams. Be to, kai kurie operatoriai ir programuotojai, dirbantys ilgą laiką su CNC staklėmis, yra pripratę prie šių kodų ir naudoja tik juos. Pozicijos registracijos kodai gali būti sėkmingai naudojami ir kartu su G54–G59.

Frezavimo staklėse koordinačių sistemos pradžiai perkelti naudojamas kodas G92, tekimo – G50. Kai kuriose tekimo staklių valdymo sistemose taip pat naudojamas G92 kodas. Tačiau daugeliu atvejų „Fanuc“ firmos ir panašiose (pvz., „HAAS“ firmos) naudojamas G50 kodas, šis kodas taip pat naudojamas ir suklio sukiamas apriboti.

Registracijos kodu apibrėžiama detalės nulio padėtis atstumais iki esamos įrankio pozicijos (tiksliau, jo atraminio taško pozicijos), išmatuotais pagal kiekvieną valdomą

ašį. Tokiu atveju valdymo sistemai lyg pranešama: įrankis šiuo metu yra nutolęs tokiu atstumu nuo detalės nulio pagal kiekvieną iš valdomų ašių. Įveikęs šiuos atstumus pagal kiekvieną ašį jis bus detalės nulio pozicijoje. Atkreipkite dėmesį, kad čia kalbama apie atstumą iki esamos įrankio padėties. Tai nereiškia, kad būtinai iki staklių nulio, tačiau įrankis gali būti nulio pozicijoje, o gali ir nebūti. Čia svarbi atstumų matavimo kryptis (ženklas), kuri yra nuo programos (detalės) nulio iki esamos įrankio padėties.

Perkėlimo kodus galima naudoti tik absoliučiąjų koordinacių režimu (G90).

Kodo G92 (panašiai ir G50, tik tekinimo staklėse nėra tiek ašių) formatas yra toks:

G92 X... Y... Z... A... B...;

Po atitinkamos ašies adreso X, Y ir t. t. nurodomas atstumas nuo programos nulio iki esamos (t. y. tos, kurioje įrankis yra iki šios eilutės) įrankio atraminio taško padėties. Jokie įrankio judesiai nevyks vykdant eilutę su kodu G92 (G50), įvyks tik įrankio atraminio taško padėties registracija valdymo sistemos atmintyje. Nuo eilutės su šiuo kodu valdymo sistema „žinos“, kad atraminis įrankio taškas yra nutolęs nurodytais atstumais iki detalės nulio, t. y. detalės nulio padėtis jau bus apibrėžta. Šios eilutės įvykdymo rezultatus galima matyti tik detalės koordinacių sistemos ekrane, kuriame koordinacių reikšmės bus pakeistos reikšmėmis, nurodytomis eilutėje su G92 (G50).

Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai

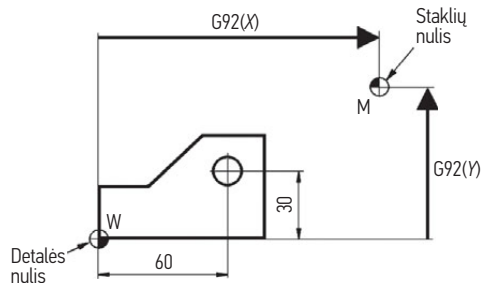
Frezavimo staklėse, kuriose nėra detalės koordinacių sistemų G54–G59 ir kitų, taip pat įrankių ilgių kompensacijų, kodas G92 gali būti naudojamas dviem būdais:

1. Įrankis yra nustatytas į staklių nulio poziciją.
2. Įrankis yra kitur, bet ne staklių nulio pozicijoje.

Pagal pirmąjį metodą reikia, kad staklių nulio pozicija taptų įrankio keitimo pozicija pagal visas valdomas ašis, t. y. X, Y ir Z. Programa dažniausiai rengiama ne prie staklių, joje nurodoma detalės nulio pozicija staklių nulio atžvilgiu, pavyzdžiui:

G92 X300.0 Y210.0 Z155.5;

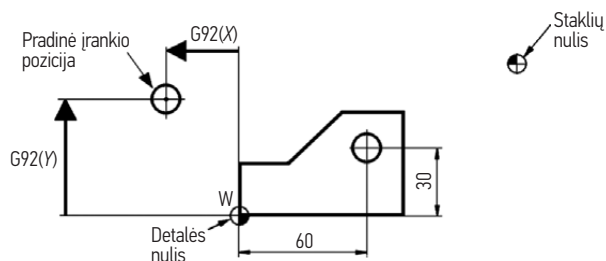
Tokiu būdu operatoriui lieka tik nustatyti detalę taip, kad jos nulio taškas būtų nutolęs nuo staklių nulio 300 mm pagal X ašį, 210 mm pagal Y ašį ir 155,5 mm – pagal Z ašį, panašiai, kaip parodyta 9.64 pav. Tai atlikti gana sudėtinga neturint specialių matavimo ir derinimo prietaisų, tačiau iš pradžių galima nustatyti detalę įtaise, paskui išmatuoti atstumus G92(X) ir G92(Y) (9.64 pav.) ir pakeisti programoje po kodo G92 esančius skaičius tikraisiais. Išmatuoti atstumus galima rankinio ašių poslinkio režimu, prisilietus kuriuo nors įrankiu prie kairiojo ir apatinio detalės šonų, sekant įrankio koordinatas vaizduoklyje, staklių koordinacių sistemoje (aišku, nereikia pamiršti pridėti įrankio spindulį ir pakeisti ženklą prieš nurodant koordinatas programos eilutėje). Toks metodas taikomas gana retai, nebent tada, kai spaustuvų arba kitokio tvirtinimo įtaiso padėtis stalo atžvilgiu nesikeičia ilgą laiką, taip pat kai yra pastovi



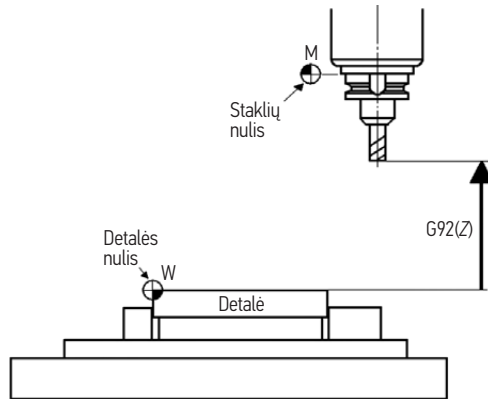
9.64 pav. Detalės koordinacių sistemos pradžios XY plokštumoje nustatymo schema naudojant kodą G92, kai įrankis yra staklių nulio pozicijoje (Smid 2003)

ruošinių padėtis šiame įtaise, t. y. ilgą laiką gaminamos vienodos detalės, nustatomos pagal įtaiso atramas.

Antruoju atveju programuotojas arba operatorius nustato įrankį XY plokštumoje ne staklių nulio pozicijoje ir naudoja šią poziciją, kaip įrankio keitimo poziciją X ir Y ašių atžvilgiu. Tokio derinimo pavyzdys parodytas 9.65 pav. Atstumai G92 nustatomi iš parengtos programos ją peržiūrint arba įrašomi ten vietoje. Tam, kad valdymo sistema „atsimintų“ šią poziciją, operatorius rankinio staklių ašių valdymo režimu tiesiog perstumia įrankį į tašką, atstumai iki kurio nuo detalės nulio programoje nurodyti po kodo G92 arba į kitą tašką, kurio koordinatės jam labiau patinka. Pavyzdžiui, 9.65 pav. atveju atstumai G92(X) ir G92(Y) galėtų būti -40 ir 80 mm atitinkamai. Atskaičiavus šiuos atstumus nuo detalės kampo rankinio ašių persislinkimo režimu, įrankis prieš paleidžiant programą turi būti ten ir paliktas. Programos eilutėje po kodo G92 reikėtų nurodyti G92 X-40.0 Y80.0. Po šios eilutės valdymo sistema galės nustatyti detalės nulį W (9.65 pav.). Toliau programoje visos koordinatės gali būti nurodomos nuo šio nulio. Atlikus darbą prieš keičiant įrankis grąžinamas į tašką X-40 Y80, toliau pakeičiamas ir programoje vėl nurodomas G92 su tomis pačiomis X ir Y koordinatėmis, tačiau jau kitu Z atstumu (9.66 pav.). Kaip jau žinoma, frezavimo staklių įrankių iškyšos yra skirtingos Z ašies kryptimi. Atstumai G92(Z) (9.66 pav.)



9.65 pav. Detalės koordinacių sistemos pradžios XY plokštumoje nustatymo schema naudojant kodą G92, kai įrankis yra ne staklių nulio pozicijoje (Smid 2003)



9.66 pav. Detalės koordinacių sistemos frezavimo staklėse Z ašies pradžios nustatymo schema naudojant kodą G92 (Smid 2003)

nustatomi kiekvienam įrankiui prisilietimo metodu, kaip ir staklėse su įrankių ilgių kompensacijomis. Tik šiuo atveju reikia atsekti ir atsiminti kiekvieno įrankio Z koordinatės staklių koordinacių sistemoje, po to nurodyti jas kiekvieną kartą pakeitus įrankį eilutėje su G92 kodu. Z ašies poziciją visada patogiau nurodyti, kai staklių galvutė yra staklių Z nulio pozicijoje, nes joje ir tik joje atliekamas įrankio keitimas. X ir Y paprastai paliekamos vienodos visiems įrankiams, taip yra ir naudojant G54–G59 koordinacių sistemų kodus.

Pagrindinis antrojo metodo trūkumas tas, kad nustatyta įrankio keitimo pozicija pagal X ir Y ašis bus atmintyje tol, kol staklės neišjungiamos iš tinklo. Išjungus stakles ji prarandama. Įjungus stakles reikia iš naujo įrankiu prisiliesti prie detalės nulio ir nukreipti jį į tašką, atstumai iki kurio nuo detalės nulio nurodyti programoje po G92 kodo (arba nukreipti kitokiais atstumais ir pakeisti koordinatės G92 eilutėse). Šią problemą galima išspręsti tiesiog atsimenant arba pasižymint atstumus ne nuo detalės, bet nuo staklių nulio (juos galima sekti vaizduoklyje, staklių koordinacių sistemoje), ir nukreipti įrankį į tą tašką, kiekvieną kartą įjungus stakles. Šio trūkumo neturi pirmasis metodas, nes pozicija registruojama nuo fiksuoto taško (staklių nulio) pagal visas valdomas ašis. Ten ašis galima bet kada grąžinti operatoriaus valdymo pulto mygtukais.

Norint teisingai taikyti G92 kodą, turi būti tenkinamos tokios sąlygos:

1. Prieš nurodant G92 įrankis turi būti suklyje.
2. Prieš kodą G92 įrankis turi būti kodu G92 apibrėžtoje pozicijoje.
3. G92 kodas turi būti nurodomas prieš bet kokią judesio komandą, t. y. programos pradžioje.
4. Įrankis į G92 poziciją turi būti grąžintas, kai jis atliko savo darbą.

Programos su G92 pavyzdys

025698

(programa su G92 skylei (9.65 pav.) išgręžti);

N5 G21 (metriniai vienetai);

N10 G17 G90 (plokštuma XY, absoliučiosios koordinatės (G90));

N15 T01 M06 (įrankis Nr. 1 iš dėtuvės (grąžtas) įstatomas į sukli, prieš tai jis buvo perstumtas atstumais 80 mm ir -40 mm nuo detalės nulio pagal Y ir X ašis atitinkamai (9.65 pav.));

N20 G92 X-40.0 Y80.0 Z280.0 (įrankio pozicijos registracija);

N25 G00 X60.0 Y30.0 S2000 M03 (greitasis pozicionavimas virš skylės, suklio paleidimas);

N30 Z3.0 M08 (greitasis pozicionavimas 3 mm aukščiau detalės, aušinimo skysčio siurblio įjungimas);

N35 G01 Z-12.0 F100.0 (judesys su 100 mm/min pastūma iki gylio 12 mm žemiau detalės viršutinės plokštumos);

N40 G04 P500 (0,5 s pauzė pasiekus skylės dugną);

N45 Z2.0 (grąžto atitraukimas į tašką Z2 su 100 mm/min pastūma);

N50 G00 Z280.0 M09 (suklio galvutės grįžimas į staklių nulį pagal Z ašį, TAS tiekimo nutraukimas);

N55 X-40.0 Y80.0 M05 (greitojo pozicionavimo judesys į nurodytą po G92 kodo poziciją);

N60 T02 M06 (įrankis Nr. 2 įstatomas į sukli);

N65 G92 Z301.523 (naujos Z pozicijos registracija, X ir Y nesikeičia);

N75 G00 ...;

...;

Atkreipkite dėmesį, kad Z pozicija registruojama, kai staklių galvutė yra nulyje pagal Z ašį, įrankis keičiamas X-40 ir Y80 pozicijoje XY plokštumoje. Z ašis turi būti staklių nulyje. Įrankiai turi skirtingus ilgius, todėl, iškvietus kitą įrankį, jo Z pozicija, nurodoma po G92, bus jau kita (įvertinamas ilgių skirtumas), o X ir Y lieka tos pačios.

Tekinimo staklės

Tekinimo staklėse su „Fanuc“ firmos arba artima (pvz., „HAAS“ firmos) valdymo sistema, įrankio pozicijai registruoti naudojamas kodas G50, kurio formatas yra panašus į G92:

G50 X... Z...;

Kai kuriose „Fanuc“ firmos ir kitose tekinimo staklių valdymo sistemose (dažniausiai pagamintose JAV rinkai), kaip ir frezavimo staklėse, įrankio pozicijai registruoti naudojamas kodas G92:

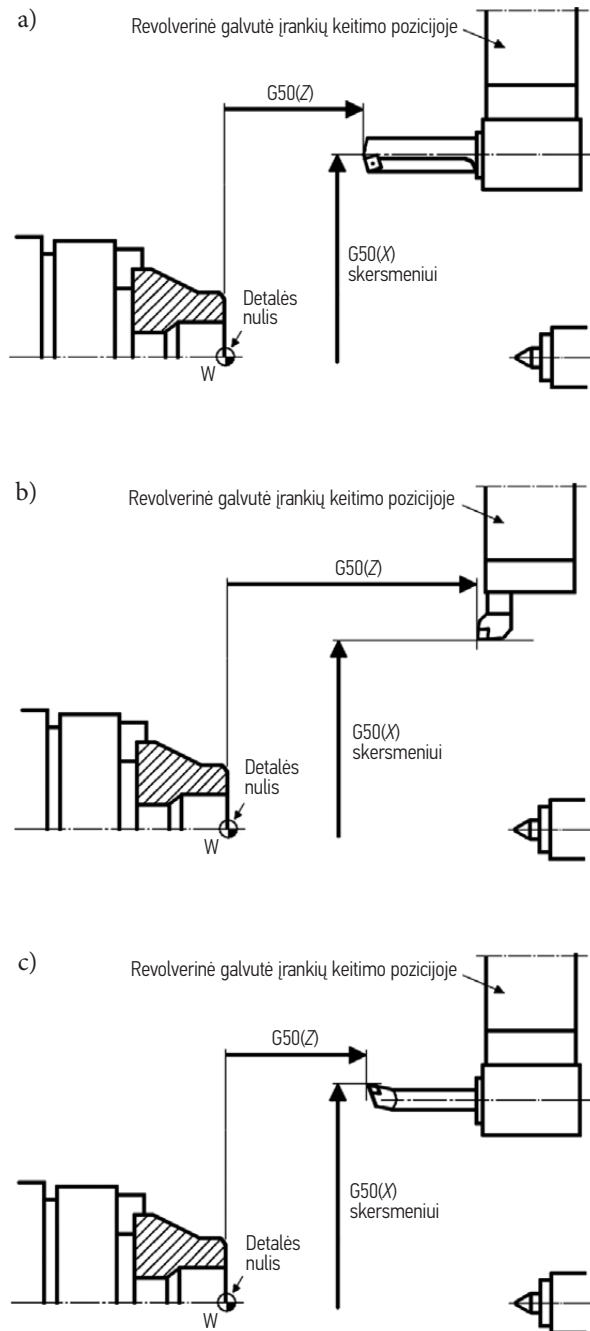
G92 X... Z...;

Šių kodų prasmė yra tokia pat, kaip ir frezavimo staklėse: jie apibrėžia atstumą nuo detalės (programos) nulio iki esamos įrankio (tiksliau, jo atraminio taško – viršūnės) pozicijos pagal valdomas ašis. Jokių judesių neįvyksta, kai vykdoma komanda G50 (G92), valdymo sistema tik registruoja koordinates atmintyje.

Naudojant G50 tekinimo staklėse reikia labai kruopščiai patikrinti registruojamus atstumus nuo detalės koordinacių sistemos pradžios, nes šiuo atveju įrankiai nesaugomi dėtuvėje (kaip frezavimo staklėse), revolverinė galvutė su visais įrankiais juda staklių ašimis ir, kviečiant įrankį į darbo poziciją, pasisuka su visais joje įtvirtintais įrankiais. Todėl galima lengvai užkabinti detalę arba kitą staklių dalį išsikišančiais įrankiais. Be abejo, galima nustatyti atstumus iki staklių nulinio ir ten keisti įrankius, tačiau tokiu atveju galvutei tektų judėti tuščiai gana dideliu atstumu iki darbo pozicijos (ypač stambiose staklėse) ir būtų gaišamas laikas, o darbo našumas mažėtų. Daug geriau parinkti atstumus kuo arčiau detalės nulinio, tačiau saugius. Parinkti atstumus reikia taip, kad pasisukus galvutei būtų pakankamas atstumas tarp detalės ir ilgiausio įrankio (dažniausiai tai ištekinimo peilis). Neblogas variantas – numatyti keitimo vietą pozicijoje, kai galvutė yra staklių nulyje tik pagal X ašį (nereikia atsiminti koordinacių, tik reikia nukreipti revolverinę galvutę į nulį pagal X), o pagal Z ašį nustatyti mažiausią atstumą. Taip daroma dėl to, kad tekinimo staklių X ašies eiga dažniausiai yra gerokai mažesnė už Z ašies eigą. Todėl neprarasime daug laiko pagreitinantiems judesiams X ašies kryptimi.

9.67 pav., a, b ir c, parodytos atitinkamai ašinio (grąžto, gilintuvo, plėstuvo ir pan.) įrankio, išorinio tekinimo ir ištekinimo peilių derinimo schemos. Atkreipkite dėmesį į tai, kad revolverinės galvutės padėtis nurodyta kaip įrankio keitimo pozicija, o ne staklių nulis. Tai reiškia, kad galvutė pasisukdama nebūtinai turi būti staklių nulyje, nors, aišku, gali būti ir ten.

Čia atlikęs savo darbą įrankis, siunčiamas į keitimo poziciją, nurodytą po G50 (G92). Paskui kviečiamas kitas įrankis, registruojama jau kita jo pozicija, nes dėl nevienodo išsikišimo pasikeičia viršūnės padėtis detalės nulinio atžvilgiu. Atstumai nustatomi prisilietimo metodu, kaip ir nustatant įrankių geometrijos (ilgio) kompensacijas naujesnėse staklėse. Tik šiuo atveju reikia sekti ir atsiminti koordinates staklių koordinacių sistemoje. Prieš paleidžiant programą pirmas joje naudojamas įrankis turi būti pirmoje, registruojamoje kodu G50 (G92), pozicijoje. Tai parodyta programos pavyzdyje, pateiktame toliau. Joje reiktų atkreipti dėmesį į tai, kad eilutėse N2 ir N11 nurodyti atstumai yra skirtingi, nes jie naudojami skirtingiems įrankiams, kurie turi skirtingus išsikišimų ilgius. Pati revolverinė galvutė, vykdant programos eilutę N2 ir eilutę N11, yra toje pačioje vietoje staklių koordinacių sistemoje. Šiose eilutėse tik „pranešama“ valdymo sistemai, kad atstumas nuo detalės nulinio iki pirmo įrankio viršūnės yra lygus 200,5 mm pagal X ašį ir 140 mm pagal Z ašį, o antro įrankio šie atstumai yra jau 220,3 ir 95,4 atitinkamai.



9.67 pav. Tekinimo staklių detalės koordinatinių pradžių nustatymas kodu G50 (G92): a – grąžtui arba kitam ašiniam įrankiui; b – išorinio tekimo peiliui; c – ištekimo peiliui (Smid 2003)

Programos su G50 pavyzdys

012563

(programa tekinimo staklėms su kodu G50);

N1 T01 (pasirenkamas įrankis Nr. 1 – tekinimo peilis);

N2 G50 X200.5 Z140.0 (registruojamas atstumas nuo detalės nulio iki įrankio Nr. 1 atraminio taško);

N3 G96 S150 M03 (aktyvuojamas pastovaus pjovimo greičio režimas, paleidžiamas sukštis į priekį suklysus, palaikant 150 m/min pjovimo greitį);

N4 G00 X72.0 Z2.0 M08 (greitasis įrankio viršūnės pozicionavimas prie detalės galo, taške X72 Z2 detalės koordinacių sistemoje, aušinimo įjungimas);

N5 G01 Z-1.0 F0.1 (tiesinės interpoliacijos judesys pagal Z ašį į Z-1 su 0,1 mm/sūk. pastūma, pasiekiamas 1 mm pjovimo gylis nuo ruošinio galo);

N6 X50.0 (galo tekinimas judant peilio viršūnei iki X50 Z-1);

N7 G00 Z2.0 M09 (pagreitintas peilio atitraukimas nuo detalės galo Z ašies kryptimi, TAS tiekimo nutraukimas);

N8 X200.5 Z140.0 (įrankio greitojo pozicionavimo judesys į tą pačią keitimo poziciją, kurioje jis buvo iki pozicijos registracijos eilutėje N2);

N9 M05 (sustabdomas suklysus);

N10 T02 (įrankis Nr. 2 – ištekinimo peilis nustatomas į darbo poziciją, revolverinė galvutė pasukama);

N11 G50 X220.3 Z95.4 (registruojamas atstumas nuo detalės nulio iki įrankio Nr. 2 atraminio taško (viršūnės));

N12 G97 S1500 M03 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklysus pradeda sukštis į priekį 1500 sūk./min greičiu);

N13 G00 X56.0 Z1.0 M08 (įrankis greitai pozicionuojamas prie detalės skylės paviršiaus, taške X56 Z1 nuo detalės nulio, įjungiamas TAS siurblys);

N14 G01 Z-32.0 F0.08 (skylės ištekinimas tiesinės interpoliacijos įrankio judesiu išilgai ašies Z su 0,08 mm/sūk. pastūma);

N15 X50.0 M09 (įrankio atitraukimas pagal X ašį nuo apdirbto skylės paviršiaus su 0,08 mm/suk. pastūma, TAS tiekimo nutraukimas);

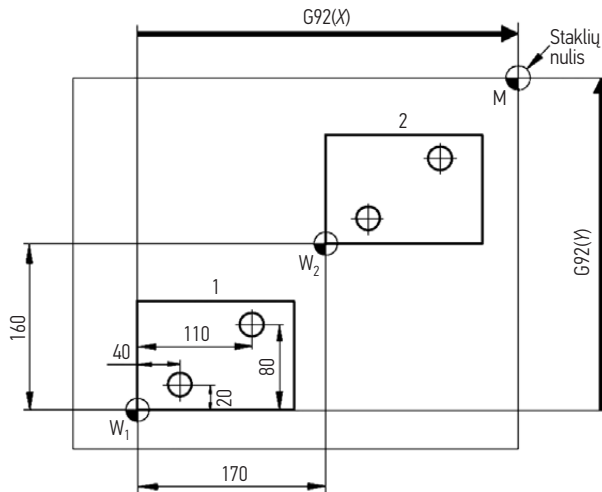
N16 G00 Z5.0 (pagreitintas peilio ištraukimas iš skylės Z ašies kryptimi);

N17 G00 X220.3 Z95.4 (įrankio atitraukimas į keitimo poziciją);

N18 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Koordinacių sistemos perkėlimas šiuolaikinėse staklėse

Jau minėta, kad kodai G92 ir G50 galioja ir šiuolaikinėse CNC staklėse. Šiuo atveju jie tampa papildoma priemone, kai programoje reikia laikinai perkelti nulį iš vienos vietos į kitą, dažniausiai to reikia frezavimo staklėse ir dažniausiai pagal X ir Y ašis (Z ašies nulio padėtis patogiau valdoma ilgių kompensacijomis, nors gali būti ir kodu G92). Tai gali būti daroma, kai kelios įtvirtintos ant stalo arba esančios viename daugiaviečiame tvirtinimo įtaise detalės apdirbamos vienu įrankiu ir kai tokios detalės bus apdirbamos programa vieną kartą. Detalės koordinacių sistemos G54–G59 gali



9.68 pav. Apdirbamų detalių išdėstymas ant vertikaliųjų frezavimo staklių stalo (plokštuma XY)

būti visai nenaudojamos, detalės koordinatinių sistemų pradžių kompensacijų lentelėje visuose stulpeliuose yra nuliai.

Sakykime, reikia apdirbti dvi detales (9.68 pav.), kai jos yra pastatytos ir įtvirtintos skirtingose stalo vietose. Atstumai tarp detalių yra žinomi (9.68 pav.). Detalių aukščiai yra vienodi. Atstumai $G92(X)$ ir $G92(Y)$ yra atstumai nuo apatinės detalės nulio W_1 iki staklių nulio. Jie nustatyti prisilietimo būdu (tegu tai 423,256 ir 383,524 pagal X ir Y ašis atitinkamai) ir nurodomi eilutėje su kodu $G92$. Atstumas pagal Z (9.66 pav.) taip pat nustatytas ir yra 320,456. Prieš paleidžiant programą staklių suklio galvutė turi būti savo nulio pozicijoje pagal visas valdomas ašis. Skylių gręžimo šiose detalėse programa pateikta toliau.

049631

(skylių gręžimo detalėse (9.68 pav.) programa);

N5 G21 G90 G28 (metriniai vienetai, absoliučiosios koordinatės, visos ašys grąžinamos į staklių nulį);

N10 T01 M06 (įrankis Nr. 1 – spiralinis grąžtas įstatomas į sukli);

N15 G92 X423.256 Y383.524 Z320.456 (įrankio pozicija registruojama, atstumai nuo detalės nulio iki staklių nulio (pagal X ir Y ašis) ir iki įrankio galo (pagal Z ašį) registruojami valdymo sistema);

N20 S1200 M03 (suklys paleidžiamas suktais 1200 suk./min greičiu);

N25 G00 X40.0 Y20.0 (greitasis grąžto ašies pozicionavimas virš 1-os detalės apatinės skylės centro);

N30 Z5.0 (greitasis grąžto nuleidimas 5 mm aukščiau detalės paviršiaus);

N35 G01 Z-12.0 F175.0 M08 (apatinės skylės 1-oje detalėje gręžimas su 175 mm/min pastūma, pradedama tiekti TAS);

- N40 G00 Z5.0 (greitasis grąžto ištraukimas iš skylės);
 N45 X110.0 Y80.0 (greitasis pozicionavimas virš viršutinės skylės centro);
 N50 G01 Z-12.0 (viršutinės skylės 1-oje detalėje grėžimas su 175 mm/min pastūma);
 N55 G00 Z5.0 (greitasis grąžto ištraukimas iš skylės);
 N60 X170.0 Y160.0 (greitasis pozicionavimas virš 2-os detalės nulio W_2);
 N65 G92 X0.0 Y0.0 (naujų atstumų iki 2-os detalės nulio W_2 registravimas pagal X ir Y ašis);
 N70 G00 X40.0 Y20.0 (greitasis grąžto ašies pozicionavimas virš 2-os detalės apatinės skylės centro);
 N75 G01 Z-12.0 (apatinės skylės 2-oje detalėje grėžimas su 175 mm/min pastūma);
 N80 G00 Z5.0 (greitasis grąžto ištraukimas iš skylės);
 N85 X110.0 Y80.0 (greitasis pozicionavimas virš viršutinės skylės centro);
 N90 G01 Z-12.0 (viršutinės skylės 2-oje detalėje grėžimas su 175 mm/min pastūma);
 N95 G00 Z5.0 M09 (greitasis grąžto ištraukimas iš skylės, nutraukiamas TAS tiekimas);
 N100 G92 X-143.256 Y-143.524 (atstumų registravimas iki kito programos nulio – staklių nulio);
 N105 G00 Z320.456 (suklio galvutės grąžinimas į staklių nulį pagal Z ašį);
 N110 X0.0 Y0.0 (įrankio grąžinimas į staklių nulį pagal likusias ašis);
 N115 M30 (programos pabaiga ir grąžinimas į pradžią);

Paaškinsime kai kurias eilutes, ypač N15, N65 ir N100. Įrankis programos pradžioje nukreipiamas į staklių nulinę poziciją. Eilutėje N15 pereinama dirbti į 1-os detalės koordinacių sistemą W_1 , kad valdymo sistema žinotų, kur yra jos pradžia, nurodomi atstumai nuo jos iki dabartinės įrankio (jo atraminio taško) pozicijos. Toliau įrankis dirba 1-os detalės koordinacių sistemoje ir, vykdant eilutę N60, atsiduria virš 2-os detalės nulio. Kad visos koordinatės būtų atskaitomos nuo 2-os detalės nulio W_2 , reikia nurodyti atstumus nuo jo iki dabartinės įrankio padėties, kas ir nurodyta eilutėje N65. Eilutėje N100 programos nuliu tampa staklių nulis. Atstumai nuo jo iki esamos įrankio pozicijos buvo nustatyti pagal tokias formules:

$$-423,256 + 170 + 110 = -143,256 \text{ mm pagal } X \text{ ašį};$$

$$-383,524 + 160 + 80 = -143,524 \text{ mm pagal } Y \text{ ašį}.$$

Jie ir buvo nurodyti eilutėje N100 kaip atstumai nuo kito detalės nulio, kuris šiuo atveju sutampa su staklių nuliu. Atstumas pagal Z ašį buvo nustatytas eilutėje N15, toliau jis nebuvo keičiamas.

Reikia pasakyti, kad kodu G92 programoje nustatyti poslinkiai šiuolaikinėse staklėse išsaugomi detalės koordinacių pradžių kompensacijų lentelėje (pvz., „HAAS“ firmos valdymo sistemoje yra speciali eilutė G92). Paskutinį kartą programoje nustatyti jie bus taikomi ir toliau kitose programose, pridodant prie aktyvios detalės koordinacių sistemos G54–G59 (žinome, kad „atsikratyti“ detalės koordinacių sistemos šiuolaikinėse staklėse negalima) arba kitų kompensacijų tol, kol staklės bus išjungtos iš tinklo. Kitaip tariant, staklės dirbs aktyvioje detalės koordinacių sistemoje, tik jos nulis bus perstumtas kodu G92 nurodytais atstumais. Tada, kai jie tampa nereikalin-

gi, norint vėl pereiti dirbti į koordinačių sistemą G54 arba kitą, reikia priskirti G92 kompensacijoms nulines reikšmes detalės koordinačių sistemų pradžią kompensacijų lentelėje rankiniu būdu.

Programoje galėjome pasinaudoti ir koordinačių sistema G54 arba kitokia. Pavyzdžiui, jeigu detalės koordinačių sistema G54 nustatyta taške W_1 ir į kompensacijų lentelę įvestos jos pradžios kompensacijos, galima atlikti judesį į tašką W_1 šioje sistemoje, apdirbti joje 1-os detalės skylės, paskui kodu G92 perstumti nulį į tašką W_2 . Programa atrodytų taip:

049631

(skylių gręžimo detalėse (9.68 pav.) programa);

N5 G21 G90 G28 G54 (metriniai vienetai, absoliučiosios koordinatės, visos ašys grąžinamos į staklių nulį, koordinačių sistema G54);

N10 T01 M06 (įrankis Nr. 1 – spiralinis grąžtas įstatomas į suklij);

N15 G92 Z320.456 (įrankio Z pozicija registruojama, atstumai nuo detalės nulio iki įrankio galo registruojami valdymo sistema);

N20 S1200 M03 (suklys paleidžiamas sukis 1200 sūk./min greičiu);

N25 G00 X40.0 Y20.0 (greitasis grąžto ašies pozicionavimas virš 1-os detalės apatinės skylės centro);

N30 Z5.0 (greitasis grąžto nuleidimas 5 mm aukščiau detalės paviršiaus);

N35 G01 Z-12.0 F175.0 M08 (apatinės skylės 1-oje detalėje gręžimas su 175 mm/min pastūma, pradedama tiekti TAS);

N40 G00 Z5.0 (greitasis grąžto ištraukimas iš skylės);

N45 X110.0 Y80.0 (greitasis pozicionavimas virš viršutinės skylės centro);

N50 G01 Z-12.0 (viršutinės skylės 1-oje detalėje gręžimas su 175 mm/min pastūma);

N55 G00 Z5.0 (greitasis grąžto ištraukimas iš skylės);

N60 X170.0 Y160.0 (greitasis pozicionavimas virš 2-os detalės nulio W_2);

N65 G92 X0.0 Y0.0 (atstumų iki 2-os detalės nulio W_2 registravimas pagal X ir Y ašis);

N70 G00 X40.0 Y20.0 (greitasis grąžto ašies pozicionavimas virš 2-os detalės apatinės skylės centro);

N75 G01 Z-12.0 (apatinės skylės 2-oje detalėje gręžimas su 175 mm/min pastūma);

N80 G00 Z5.0 (greitasis grąžto ištraukimas iš skylės);

N85 X110.0 Y80.0 (greitasis pozicionavimas virš viršutinės skylės centro);

N90 G01 Z-12.0 (viršutinės skylės 2-oje detalėje gręžimas su 175 mm/min pastūma);

N95 G00 Z5.0 M09 (greitasis grąžto ištraukimas iš skylės, nutraukiamas TAS tiekimas);

N100 X0.0 Y0.0 (įrankio greitasis pozicionavimas taške W_2);

N105 G92 X170.0 Y160.0 (atstumų registravimas nuo detalės nulio W_1 , kartu nulinėmis tampa X ir Y reikšmės kompensacijų lentelės eilutėje G92);

N110 G00 Z320.456 (suklio galvutės grąžinimas į staklių nulį pagal Z ašį);

N115 G92 Z0.0 (registruojamas atstumas nuo naujo nulio pagal Z ašį, nuline tampa Z reikšmė kompensacijų lentelės eilutėje G92);

N120 M30 (programos pabaiga ir grąžinimas į pradžią);

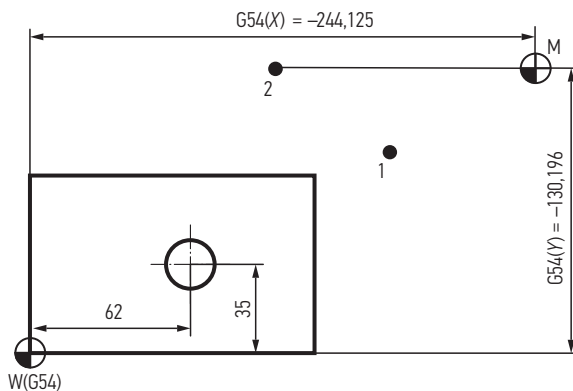
Antrajame pavyzdyje N105 eilutėje registruojami įrankio atstumai nuo naujo detalės nulio – to paties, kaip ir nustatyto G54 koordinacių sistemos pradžios kompensacijomis. Todėl reikšmės G92 eilutėje taps nuliais automatiškai, jų lentelėje nereikės keisti papildomai, o bus galima pradėti dirbti pagal kitą programą, kurioje nenaudojamas pozicijos registravimo kodas. Taps nuline ir Z reikšmė minėtoje eilutėje. Tai įvyks vykdant sistemai N115 programos eilutę.

Pateikti pavyzdžiai kai kam gali pasirodyti per daug sudėtingi. Be abejo, apdirbti detales galima buvo ir kitaip, paprasčiau, pvz., nustatyti dar vieną koordinacių sistemą W_2 (sakykime, G55) 2-os detalės kampe ir pereiti dirbti į ją (toks atvejis buvo nagrinėtas 9.1.1 skirsnyje, 9.3 pav.). Taip pat paprasčiau buvo sukurti lokalinę koordinacių sistemą naudojantis G52 kodu (9.1.2 skirsnis), tačiau kodas G92 suteikia papildomą galimybę, tegul jų būna daugiau negu mažiau.

Sudaryta valdymo programa galėjo būti užrašyta kompaktiškiau, jei būtų taikomi standartiniai ciklai ir paprogramės, tačiau tai bus nagrinėjama toliau, jie neturi nieko bendro su kodais G92/G50.

Kontroliniai klausimai

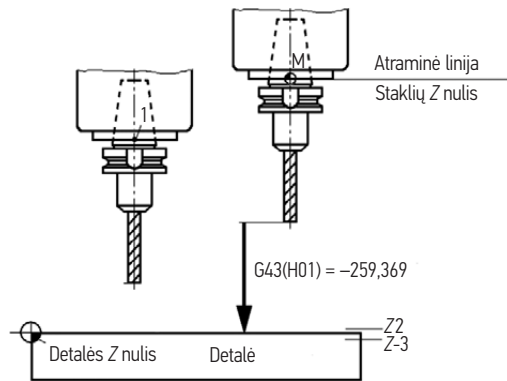
1. Kiek pagrindinių detalės koordinacių sistemų pradžių galime nustatyti CNC staklėse? Kokiais kodais tai galima padaryti?
2. Kokius atstumus ir pagal kurias ašis turi nustatyti operatorius, norėdamas nustatyti detalės koordinacių sistemos pradžią frezavimo staklėse? Kur jis turi įvesti šiuos atstumus? Kokie yra atstumų ženklai?
3. Kodėl frezavimo staklių detalės koordinacių sistemos pradžių kompensacijų lentelėje Z stulpelyje dažniausiai paliekami nuliai? Kokiais atvejais ten įrašomos reikšmės?



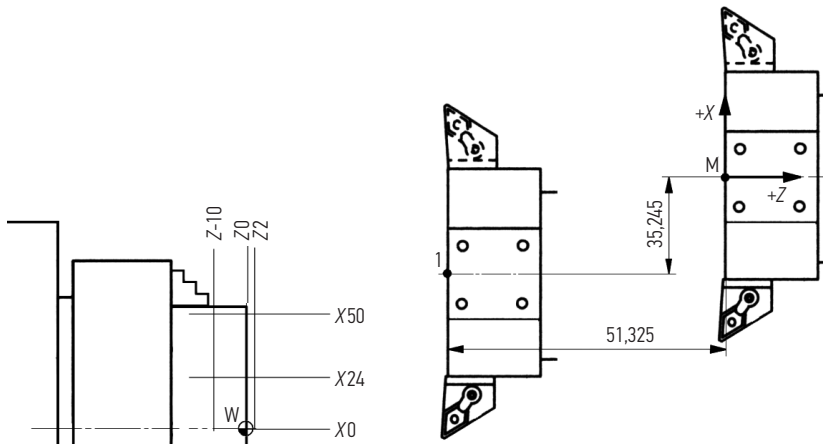
4. Nustatykite, kokius atstumus pagal ašis X ir Y reikia nueiti įrankio (grąžto) ašiai iki skylės centro (pirmiau pateiktame paveiksle) staklių koordinacių sistemoje, jei-

gu žinomos detalės koordinacių sistemos pradžios kompensacijos pagal šias ašis, o pradinė įrankio padėtis: staklių nulyje M, taške 1 (X-69 Y-45 staklių koordinacių sistemoje), taške 2 (X-100 Y0 staklių koordinacių sistemoje).

5. Kokios detalės koordinacių sistemų pradžių kompensacijų reikšmės dažniausiai paliekamos tekinimo staklių kompensacijų lentelėje? Kodėl taip yra?
6. Kokiais atvejais gali būti panaudota lokalinė koordinacių sistema? Koks kodas naudojamas jos pradžiai nustatyti?
7. Kaip kompensuojami skirtingi įrankių iškyšų ilgiai frezavimo staklėse? Kur laikomos kompensacijų reikšmės? Kokie kodai naudojami ilgio kompensacijai pritaikyti programoje? Koks kodų formatas?
8. Kokiais metodais gali būti nustatytos įrankių ilgių kompensacijos frezavimo staklėse? Koks metodas labiausiai paplitęs?
9. Nustatyti, kokį atstumą Z ašies kryptimi reikia nueiti frezavimo staklių suklio galvutei, kad įrankio galas atsidurtų taške Z2, Z0 ir Z-3 detalės koordinacių sistemoje, jeigu žinoma įrankio ilgio kompensacijos reikšmė (žr. pavyzdį toliau) ir pradinė suklio atraminio taško padėtis: staklių Z nulyje, Z-51,325 staklių koordinacių sistemoje (taškas 1).



10. Kokį vaidmenį atlieka įrankių geometrijos (ilgio) kompensacijos tekinimo staklėse? Kaip jos nustatomos? Kur laikomos? Koks jų ženklas? Kaip pritaikomos programose?
11. Nustatyti, kokį atstumą reikia nueiti tekinimo staklių revolverinei galvutei pagal kiekvieną valdomą ašį, kad peilio viršūnė atsidurtų taške X50 Z2; X24 Z0 ir X0 Z-10 (žr. paveikslą toliau) detalės koordinacių sistemoje, jeigu žinomos įrankio geometrijos kompensacijų reikšmės (-120,523 pagal Z ašį ir -203,562 pagal X ašį) ir pradinė galvutės atraminio taško padėtis: staklių nulyje (taškas M) ir X-35,245 Z-51,325 staklių koordinacių sistemoje (taškas 1). Visos X koordinatės ir X ašies kompensacijos išreikštos skersmeniui.



12. Kam naudojama frezos spindulio kompensacija? Kokiems darbams, atliekamiems frezavimo staklėmis, taikoma? Kokie pranašumai?
13. Kokiais kodais pritaikoma spindulio kompensacija frezavimo staklėse? Kaip atšaukiama? Koks kodų formatas? Kur laikoma spindulio reikšmė?
14. Kaip nustatyti spindulio kompensacijos kryptį? Kaip tai daro valdymo sistema?
15. Kokios frezos spindulio kompensacijos pritaikymo frezavimo staklėse pagrindinės taisyklės?
16. Kaip galima koreguoti detalės matmenis keičiant spindulio kompensacijos reikšmę?
17. Parengti programą kišenei ir iškyšai, pavaizduotoms 9.59 pav., frezuoti, taikant spindulio kompensaciją iš kontūro dešinės, o ne iš kairės. Parengti tos pačios detalės apdirbimo programą taikant frezos kompensaciją iš kontūro kairės, tačiau kai detalės nulis yra taške 8.
18. Parengti programą grioveliui 9.22 pav. pavaizduotoje detalėje frezuoti taikant frezos spindulio kompensaciją.
19. Koks spindulys kompensuojamas tekinant? Kokiems darbams reikia kompensuoti spindulį tekinimo staklėse ir kada galima apseiti be kompensacijos?
20. Koks kodas naudojamas spindulio kompensacijai pritaikyti tekinant detalę nuo arkliuko iki griebtuvo? Ištekinant ta pačia kryptimi? Tekinant detalės galą?
21. Kokią papildomą informaciją, be spindulio reikšmės, reikia nurodyti tekinimo staklių valdymo sistemai, kad ji galėtų pritaikyti spindulio kompensaciją? Kur reikia pateikti ją ir spindulio reikšmę?
22. Kam naudojamos įrankių dilimo kompensacijos frezavimo ir tekinimo staklėse? Kokios jos būna? Kaip pritaikomos?
23. Koku dar būdu, be įrašymo į kompensacijų lenteles, galima nustatyti kompensacijas CNC staklėse? Koks kodas tam naudojamas? Koks jo formatas?
24. Kaip be lokalinės koordinatinių sistemų galima perkelti detalės nulį frezavimo ir tekinimo staklėse? Kokie kodai tam naudojami? Koks jų formatas?

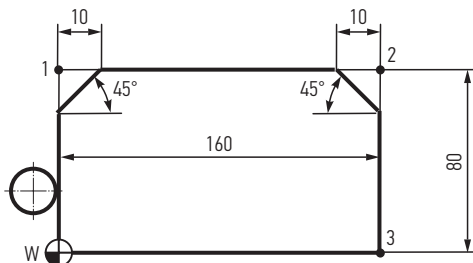
PAPILDOMI CNC STAKLIŲ ĮRENGINIAI IR VALDYMO SISTEMOS FUNKCIJOS

Šiuolaikinės CNC staklės gali ne tik užtikrinti įrankio judesius pagal užprogramuotą trajektoriją, bet turi ir daug kitų naudingų funkcijų, leidžiančių sumažinti programautojo darbo apimtį. Be to, dauguma staklių gamintojų siūlo ir papildomą programiniu būdu valdomą staklių įrangą, kuri leidžia automatizuoti staklių darbą, sumažinti operatoriaus nuovargį, atleidžiant jį nuo sunkaus ir monotoniško darbo bei praplėsti technologines staklių galimybes. Tokios įrangos ir siūlomų valdymo sistemų funkcijų rinkinys staklėse labai priklauso nuo gamintojo, nuo modelio ir gali būti įdiegtas į bazinį staklių variantą arba gali būti užsakomas atskirai, perkant stakles. Visos šios funkcijos tam tikrais atvejais yra labai naudingos, todėl turi būti apžvelgtos atskirai. Šiame skyriuje tai padarysime ir pateiksime valdymo kodus atskirai frezavimo ir tekimo staklėms su „HAAS“ (ir šiek tiek „Fanuc“) firmos valdymo sistemomis.

10.1. Frezavimo staklės ir apdirbimo centrai

10.1.1. Automatinis nuožulnų nuėmimas ir kampų suapvalinimas

Frezuojant išorinius arba vidinius kontūrus ne visada būtina programuoti atskirą įrankio judesį norint nuimti nuožulną arba suapvalinti kampą spinduliu. Jeigu nuožulnos kampas su staklių ašimi yra 45° , jos apdirbimą galima užprogramuoti tiesinės interpoliacijos eigos G01 pabaigoje, „HAAS“ firmos staklių programos eilutėje su G01 nurodžius adresu ,C, po kurio yra teigiamas nuožulnos dydis, išmatuotas lygiagrečiai ašiai (bet kuriai iš dviejų, nes kampas turi būti 45°). Tai parodyta 10.1 pav. Po paveikslu pateiktas programos fragmentas. Be nuožulnos kampo, reikia patenkinti dar kai kuriuos reikalavimus. Po eilutės su adresu ,C turi būti kita tiesinės interpoliacijos judesio eilutė. Abiejose eilutėse gali būti užprogramuoti tik skirtingų ašių tiesinės interpoliacijos judesiai ir tik pagal vieną ašį kiekvienoje eilutėje. Jeigu eilutėje su adresu ,C užprogramuotas judesys Y ašies kryptimi, kitoje eilutėje turi būti tiesinės interpoliacijos judesys tik X ašies kryptimi ir pan. Judesys eilutėje, kurioje nurodytas adresas ,C, turi būti ne į tašką, kuriame prasideda nuožulna, o į tašką, kuriame susikerta kontūro tęsiniai, t. y. į tašką 1 ir tašką 2, kaip parodyta 10.1 pav. Programuojama taip, lyg nuožulna yra nepjaunama, o atliekamas tiesinės interpoliacijos judesys į galinį tašką, nepaisant to, kad įrankis, valdomas ,C adresu, į tą tašką nepateks, o pasuks nepasiekęs jo nurodytu nuožulnos dydžiu.



10.1 pav. Išorinio kontūro su nuožulnomis frezavimas

...;

G01 F220.0 Y80.0 ,C10.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 220 mm/min pastūma į tašką 1, nupjauti eigos pabaigoje 10 mm nuožulną);

X160.0 ,C10.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 220 mm/min pastūma, į tašką 2, nupjauti eigos pabaigoje 10 mm nuožulną);

Y0.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 220 mm/min pastūma į tašką 3, nuožulnos eigos pabaigoje nepjauti);

...;

Jeigu eigos pabaigoje nereikia pjauti nuožulnos, o reikia suapvalinti kampą spinduliu, galima apsieti be kodų G02/G03, vien tik su kodu G01. Tam „HAAS“ firmos sistemoje naudojamas adresas ,R, po kurio nurodomas teigiamas spindulys. Naudojant šį adresą galima spinduliu pjauti apskritimo lankus, esančius viename apskritimo kvadrante, kai centrinis lanko kampas lygus 90°. Tai parodyta 10.2 pav., prieš tai pateiktas programos fragmentas. Anksčiau pateiktos taisyklės galioja ir suapvalinimui. Abi trajektorijos prieš ir po suapvalinimo turi būti tarpusavyje statmenos. Kiekviena trajektorija turi būti užprogramuota tik pagal vieną iš tarpusavyje statmenų ašių (pvz., X ir Y).

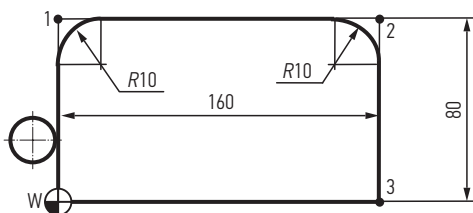
...;

G01 F220.0 Y80.0 ,R10.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 220 mm/min pastūma į tašką 1, eigos pabaigoje suapvalinti 10 mm spinduliu);

X160.0 ,R10.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 220 mm/min pastūma į tašką 2, eigos pabaigoje suapvalinti 10 mm spinduliu);

Y0.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 220 mm/min pastūma į tašką 3, eigos pabaigoje spinduliu nesuapvalinti);

...;



10.2 pav. Išorinio kontūro frezavimas suapvalinant kampus spinduliu

Jeigu yra aktyvi frezos spindulio kompensacija, ji bus pritaikyta vykdant nuožulnų nuėmimo ir suapvalinimo komandas ,C... ir ,R... Aktyvi darbo plokštuma G17/G18/G19 turės įtakos minėtų komandų vykdymui. Nuožulna arba suapvalinimas bus pajunami aktyviojoje plokštumoje.

10.1.2. Koordinačių plokštumos pasukimas

Daugumoje šiuolaikinių CNC staklių valdymo sistemų galima pasukti užprogramuotą įrankio trajektoriją nurodytu kampu apie tam tikrą tašką, kurio koordinatės yra nurodomos programuotojo. Šia modifikuota, o ne užprogramuota trajektorija judės įrankis vykdant programą. Ši funkcija, vadinama *koordinačių plokštumos pasukimu*, tam tikrais atvejais yra labai naudinga ir leidžia gerokai supaprastinti programavimo procesą. Tokia funkcija (yra daugumoje šiuolaikinių valdymo sistemų arba ją galima užsakyti kaip papildomą valdymo sistemos parinktį) labai panaši į kompiuterizuoto projektavimo sistemose naudojamą funkciją „Apskritiminis masyvas“ (*Circular Array*), kai projektuotojas nubraižo tik vieną detalės elementą (pavyzdžiui, skylę), o toliau pakartoja šį elementą nurodytą skaičių kartų aplink nurodytą tašką arba ašį nurodytu kampu.

Koordinačių plokštumos pasukimas gali būti naudingas, pavyzdžiui, frezuojant, kai detalių elementams apdirbti reikia užprogramuoti įrankio trajektorijas ne išilgai vienos arba kitos ašies (X arba Y), bet išdėstytas tam tikru kampu su minėtomis ašimis. 10.3 pav. parodyti du labai paprasti stačiakampio formos kontūrai. Tegul tai yra iškyšos, kurias reikia frezuoti. Kitaip tariant, reikia užprogramuoti frezos atraminio taško trajektorijas aplink minėtą kontūrą. 10.3 pav., a, pavaizduotam kontūrai užprogramuoti trajektoriją yra visai nesunku. Tam reikia nustatyti 4 profilio taškų koordinates ir užprogramuoti judesius nuo vieno iki kito tiesinės interpoliacijos režimu. Taip taško 1 koordinatė detalės koordinačių sistemoje yra $X_0 Y_0$, taško 2 – $X_0 Y_60$, taško 3 – $X_{120} Y_60$ ir taško 4 – $X_{120} Y_0$. Dabar pabandysime nustatyti šių taškų koordinates iškyšos kontūrai, pavaizduotam 10.3 pav., b. Taško 1 koordinatės detalės koordinačių sistemoje lieka tos pačios, t. y. $X_0 Y_0$, tačiau skaičiuojant kitų taškų koordinates be trigonometrijos formulių apsieiti neįmanoma. Taip taško 2 koordinatės nustatomos pagal formules:

$$X_2 = -60\sin 15^\circ = -15,529 \text{ mm.}$$

$$Y_2 = 60\cos 15^\circ = X_2/\tan 15^\circ = 57,956 \text{ mm.}$$

Taško 3 koordinatės gali būti nustatytos taip:

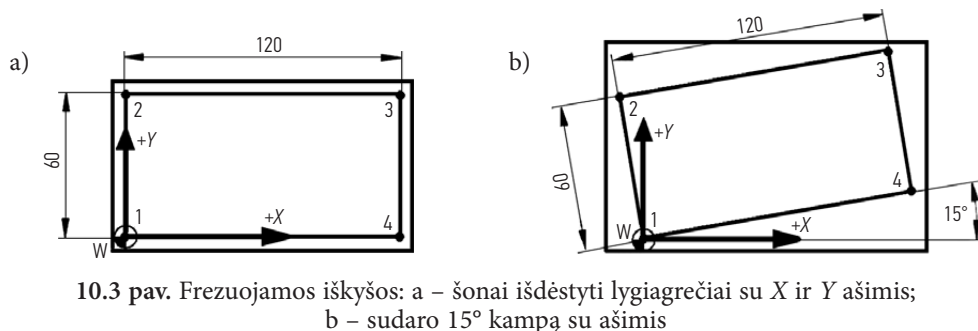
$$X_3 = 120\cos 15^\circ + X_2 = 100,382 \text{ mm.}$$

$$Y_3 = 120\sin 15^\circ + Y_2 = 89,014 \text{ mm.}$$

Paskutinio taško 4 koordinates nustatysime taip:

$$X_4 = 120\cos 15^\circ = 115,911 \text{ mm.}$$

$$Y_4 = 120\sin 15^\circ = X_4\tan 15^\circ = 31,058 \text{ mm.}$$



Skaičiuojant koordinates neapsieinama be skaičiuotuvo. Nepaisant to, kad staklių valdymo įrenginiuose dažniausiai yra vidinis skaičiuotuvai, skaičiuoti sunaudojamas laikas, be to, skaičiuojant galima padaryti klaidų. Tokiu atveju paprasčiau užprogramuoti trajektoriją 10.3 pav., a, pavaizduotam stačiakampiui frezuoti, o paskui leisti valdymo sistemai pačiai atlikti skaičiavimus ir pakeisti 10.3 pav., a, pavaizduotą trajektoriją į pavaizduotą 10.3 pav., b. Tai galima atlikti pasukant koordinačių plokštumą XY kampu 15° apie tašką $X_0 Y_0$, o tam reikia nurodyti specialų kodą.

Koordinačių sistemos pasukimo režimui įjungti naudojamas modalinis kodas G68. Išjungti režimą galima kodu G69. Kodo G68 formatas priklauso nuo to, kokia plokštuma (XY, XZ arba YZ) pasirinkta (kitais tarient, priklausomai nuo to, koks kodas iš trijų G17, G18 arba G19 yra aktyvus). Atrodo taip:

G68 X... Y... R... (kai aktyvus yra G17);

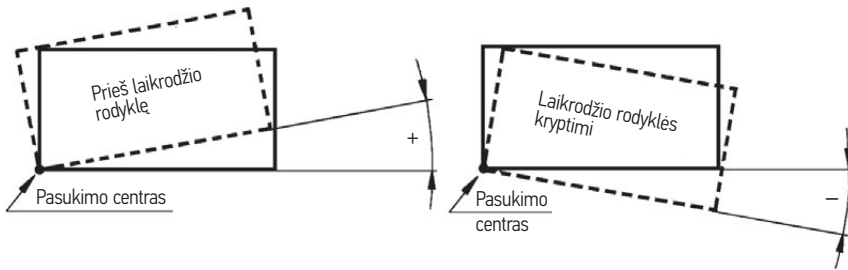
G68 X... Z... R... (kai aktyvus yra G18);

G68 Y... Z... R... (kai aktyvus yra G19);

čia: X, Y, Z – adresai, po kurių nurodomos absoliučiosios pasukimo centro koordinatės, o R yra posūkio kampo adresas. Atitinkamas plokštumos pasirinkimo kodas G17, G18 arba G19 turi būti nurodytas programoje prieš G68 (arba jis bus priimtas pagal nustatytuosius parametrus). Po adreso R nurodomas posūkio kampas laipsniais nuo $-360,000^\circ$ iki $360,000^\circ$. Šis kampas matuojamas nuo pasukimo centro, jo ženklas nustatomas taip, kaip parodyta 10.4 pav.

Tuo atveju, kai po kodo G68 nenurodytos jokios koordinatės, esama įrankio atraminio taško pozicija valdymo sistemos pasirenkama kaip pasukimo centras. Jeigu nenurodytas ir adresas R, kampas bus nustatytas pagal nustatytuosius parametrus, t. y. pagal valdymo sistemos nustatymus („HAAS“ firmos valdymo sistemose tam naudojamas nustatymas 72).

Kodą G68 galima naudoti ir priešingame režime G91. Tokiu atveju kampas bus atskaitomas priešingai nuo paskutinės reikšmės, o ne nuo 0 padėties, t. y. nuo 3 val. pagal laikrodžio ciferblatą, kaip parodyta 10.4 pav. Jeigu nenurodytas adresas R priešingame režime, bus pridėta kampo reikšmė, nustatyta valdymo sistemos nustatymais („HAAS“ firmos valdymo sistemose tam naudojamas nustatymas 73).



10.4 pav. Koordinačių plokštumos posūkio krypties nustatymas (punktyrine linija pažymėtas pasuktas kontūras)

Dabar pabandydysime parašyti valdymo programą 10.3 pav., b, parodytam išoriniam kontūrai frezuoti naudojant G68 kodą. Stačiakampio formos iškyšos kontūro šonai sudaro 15° kampą su detalės ir staklių koordinatžių sistemos ašimis X ir Y . Tačiau nekreipsime į tai dėmesio, o parašysime programą kontūrai, kuris parodytas 10.3 pav., a, frezuoti, paskui pasuksime užprogramuotą trajektoriją 15° kampu prieš laikrodžio rodyklę. Prieš programuojant reikia apsispręsti, kaip bus atliktas frezos išipjovimo judesys ir teisingai parinkti pasukimo centrą. 10.5 pav. parodytos dvi įrankio judėjimo trajektorijos, frezuojant iškyšą. 10.5 pav., a, parodyta trajektorija, kai posūkio centras yra $X-15$ $Y-15$, tokiu atveju detalės nulis W taip pat pasisuks kartu su kitais trajektorijos taškais apie tašką $X-15$ $Y-15$ ir detalės matmenys neatitiks brėžinio matmenų. 10.5 pav., b, atveju trajektorija bus pasukta apie detalės nulį $X0$ $Y0$, jo padėtis nepasikeis, iškyša bus išfrezuota teisingai. Parašysime programą 10.5 pav., a, pavaizduotam atvejui.

071051

(koordinatžių plokštumos XY pasukimas 15° kampu apie tašką $X-15$ $Y-15$);

N1 T01 M06 (iš dėtuvės įrankis Nr. 1 įstatomas į suklij);

N2 G69 (atšaukiamas pasukimo režimas, jei buvo įjungtas);

N3 G17 G90 G54 (plokštuma XY , koordinatžių sistema G54, absoliučiosios koordinatės);

N4 G00 X-15.0 Y-15.0 (greitasis įrankio pozicionavimas į pradinį tašką 0 (10.5 pav., a) XY plokštumoje);

N5 S1200 M03 (paleisti suklij sukty į priekį, sūtkiai – 1200 sūtk./min);

N6 G43 Z5.0 H01 (greitasis įrankio pozicionavimas 5 mm aukščiau detalės Z0 – viršutinės plokštumos, pritaikoma ilgio kompensacija iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės);

N7 G68 R15.0 (žemiau užprogramuotos trajektorijos pasukimas apie tašką $X-15$ $Y-15$ 15° kampu prieš laikrodžio rodyklę);

N8 G01 Z-6.0 F150.0 (frezos nuleidimas į darbinį gylį – 6 mm nuo viršutinės plokštumos);

N9 G41 X0.0 D01 F175.0 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys su 175 mm/min pastūma į tašką X0 (taškas 1, tačiau įrankis atsidurs taške 1', 10.5 pav., a) pritaikant spindulio kompensaciją iš kontūro kairės, spindulio reikšmė pritaikoma iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės, įjungiamas TAS tiekimas);

N10 Y60.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 175 mm/min pastūma į tašką 2 (10.5 pav., a), įrankis atsidurs taške 2');

- N11 X120.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 175 mm/min pastūma į tašką 3 (tiksliau 3', nes koordinatinių ašys jau pasuktos));
 N12 Y0.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 175 mm/min pastūma į tašką 4 (4'));
 N13 X-15.0 (kontūro atkarpos 4–5 (4'–5') frezavimas pratęsiant trajektoriją 15 mm į kairę (taškas 5 (5')), pastūma – 175 mm/min);
 N14 G40 Y-15.0 M09 (tiesinės interpoliacijos judesys su 175 mm/min pastūma į pradinį tašką X–15 Y–15 (taškas 0) pakeliui atšaukiant spindulio kompensaciją, nutraukiamas TAS tiekimas);
 N15 G69 (pasukimas atšaukiamas, valdymo sistema sugrįžta į nepasuktą koordinatinių sistemą G54);
 N16 G00 Z5.0 (frezos atitraukimas Z ašies kryptimi 5 mm aukščiau viršutinės plokštumos);
 N17 G28 Z5.0 (suklio galvutės judesys į staklių nulį pagal Z ašį per įrankio tašką Z5);
 N18 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

10.5 pav., b, pavaizduotu atveju programa atrodytų šiek tiek kitaip, pavyzdžiui, kaip pateikta toliau.

071052

(koordinatinių plokštumos XY pasukimas 15° kampu apie tašką X0 Y0);

N1 T01 M06 (iš dėtuvės įrankis Nr. 1 įstatomas į suklij);

N2 G69 (atšaukiamas pasukimo režimas, jei buvo įjungtas);

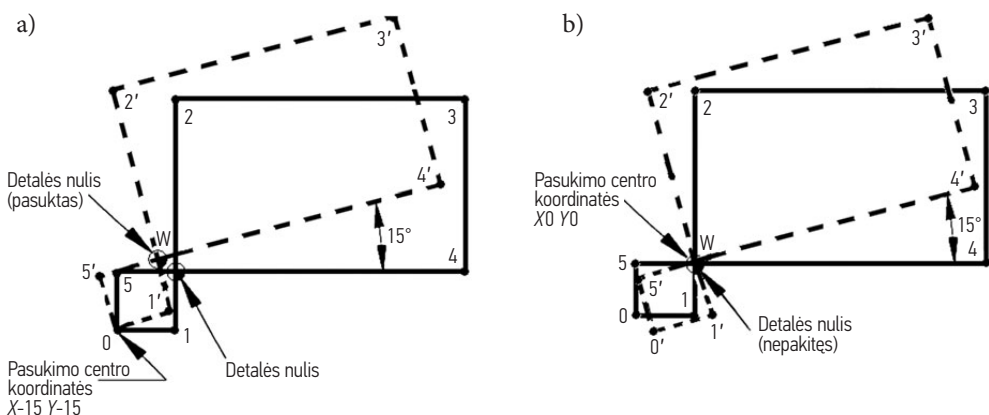
N3 G17 G90 G54 (plokštuma XY, koordinatinių sistema G54, absoliučiosios koordinatės);

N4 G00 X0.0 Y0.0 (greitasis pozicionavimas detalės nulinio taške W (10.5 pav.) XY plokštumoje);

N5 S1200 M03 (paleisti suklij sukstis į priekį, sūčiai – 1200 sūk./min);

N6 G43 Z5.0 H01 (greitasis įrankio pozicionavimas 5 mm aukščiau detalės Z0 – viršutinės plokštumos, pritaikoma ilgio kompensacija iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės);

N7 G68 R15.0 (žemiau užprogramuotos trajektorijos pasukimas apie tašką X0 Y0 15° kampu prieš laikrodžio rodyklę);



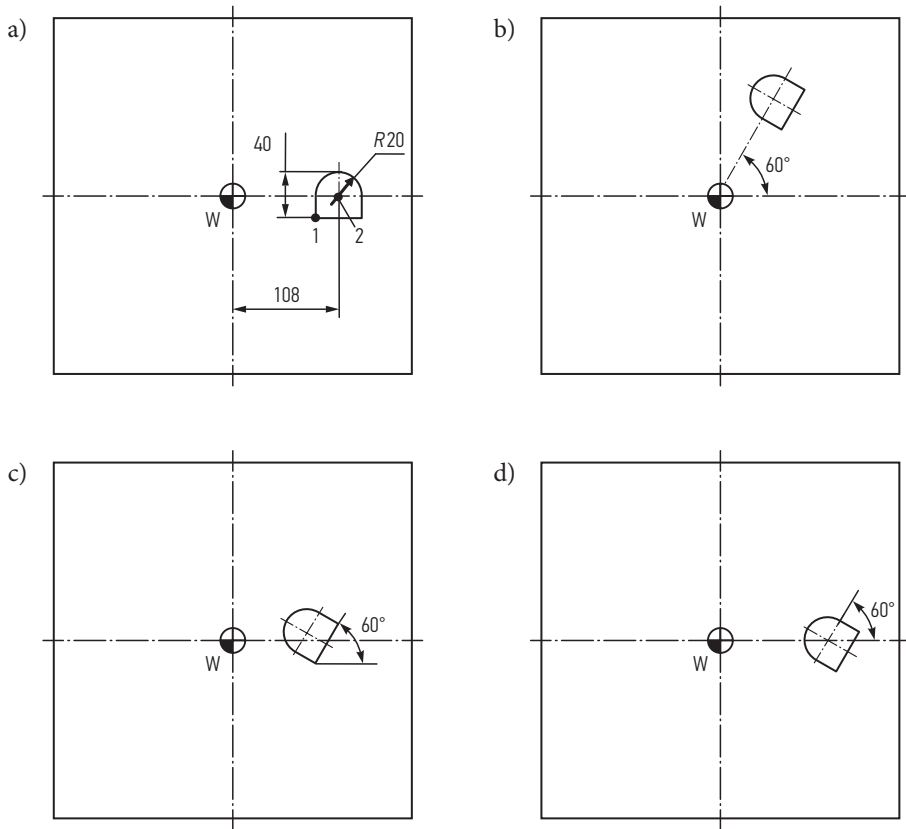
10.5 pav. Koordinatinių sistemų pasukimo taško pasirinkimas: a – įrankio trajektorija pasukta apie tašką 0 (X–15 Y–15); b – įrankio trajektorija pasukta apie tašką W (X0 Y0)

- N8 G00 X-15.0 Y-15.0 (greitojo pozicionavimo judesys į tašką 0, tačiau įrankis atsidurs taške 0' (10.5 pav., b), nes koordinacių plokštuma XY jau pasukta);
- N9 G01 Z-6.0 F150.0 (frezos nuleidimas į darbinį gylį – 6 mm nuo viršutinės plokštumos);
- N10 G41 X0.0 D01 F175.0 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys su 175 mm/min pastūma į tašką X0 (taškas 1, tačiau įrankis atsidurs taške 1', 10.5 pav., b) pritaikant spindulio kompensaciją iš kontūro kairės, spindulio reikšmė pritaikoma iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės, įjungiamas TAS tiekimas);
- N11 Y60.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 175 mm/min pastūma į tašką 2 (10.5 pav., b), įrankis atsidurs taške 2');
- N12 X120.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 175 mm/min pastūma į tašką 3 (3'));
- N13 Y0.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 175 mm/min pastūma į tašką 4 (4'));
- N14 X-15.0 (kontūro atkarpos 4–5 (4'–5') frezavimas pratęsiant trajektoriją 15 mm į kairę (taškas 5 (5')), pastūma – 175 mm/min);
- N15 G40 Y-15.0 M09 (tiesinės interpoliacijos judesys su 175 mm/min pastūma į pradinį tašką X-15 Y-15 (taškas 0 (0')) pakeliui atšaukiant spindulio kompensaciją);
- N16 G69 (pasukimas atšaukiamas, valdymo sistema sugrįžta į nepasuktą koordinacių sistemą G54);
- N17 G00 Z5.0 (frezos atitraukimas Z ašies kryptimi 5 mm aukščiau viršutinės plokštumos);
- N18 G28 Z5.0 (suklio galvutės judesys į staklių nulį pagal Z ašį per įrankio tašką Z5);
- N19 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Šiuo atveju įrankis buvo siunčiamas į tašką 0 jau po to, kai įjungiamas koordinacių pasukimo režimas, o ne prieš, kaip pirmuoju atveju. Tai buvo padaryta todėl, kad pirmuoju atveju taškas 0 buvo kartu ir koordinacių ašių pasukimo centras, jo koordinatės nesikeitė ir pasuktoje, ir nepasuktoje koordinacių plokštumoje. Antruoju atveju judesio pradžios taškas 0 nesutampa su pasukimo centru, todėl įrankis, būdamas taške 0, kai koordinacių ašys dar nepasuktos, ir judėdamas į tašką 1, kurio koordinatės jau būtų perskaičiuotos, galėtų užkabinti detalę esant tam tikrai posūkio kampo reikšmei. Todėl visada geriau atsiųsti jį į tašką 0' jau pasuktoje koordinacių sistemoje, tam ir nurodėme kodą G68 prieš judesį į šį tašką.

Pasukant detalės koordinacių sistemą, spindulio kompensaciją kodais G41/G42 geriau taikyti po to, kai režimas G68 yra aktyvus. Režimą G68 geriausiai atšaukti G69 kodu iš karto, kai jis tampa nereikalingas, iš karto atitraukus įrankį. Taip galima išvengti rimtų avarių. Įrankio judesį Z ašies kryptimi į darbinį gylį geriausia programuoti po to, kai įjungtas pasukimo režimas ir kai įrankis jau yra nukreiptas į reikiamą tašką XY plokštumoje. Taip dirbti gerokai saugiau, nes, pasukus koordinacių ašis, įrankio judesio nuo taško nepasuktoje koordinacių plokštumoje iki taško jau pasuktoje koordinacių plokštumoje trajektorijos būna sunkiai prognozuojamos.

10.6 pav. parodyta, kaip keičiasi įrankio ašies trajektorija frezuojant kišenę, kai nurodomos skirtingos pasukimo centro koordinatės. Jeigu trajektorija yra užprogramuota 10.6 pav., a, pavaizduotam langeliui frezuoti, pasukus toliau pateiktomis programos eilutėmis koordinacių plokštumą XY vienodu 60° kampu apie skirtingus centrus gausime visai skirtingus rezultatus.



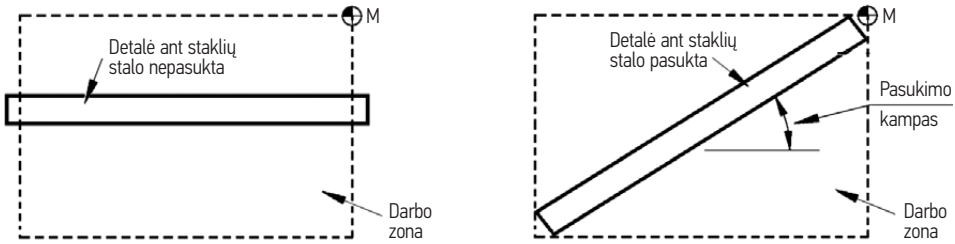
10.6 pav. Langelis, kuris bus išfrezuotas detalėje, kai koordinacių plokštuma XY pasukama tuo pačiu 60° kampu, bet apie skirtingus centrus: a – nepasuktas (originalus); b – pasuktas apie tašką W; c – pasuktas apie tašką 1; d – pasuktas apie tašką 2

G68 X0.0 Y0.0 R60.0 (koordinacių ašis X ir Y pasukti apie tašką X0 Y0 60° kampu prieš laikrodžio rodyklę, langelis frezuojamas taip, kaip parodyta 10.6 pav., b);

G68 X88.0 Y-20.0 R60.0 (koordinacių ašis X ir Y pasukti apie tašką X88 Y-20 (taškas 1, 10.6 pav., a) 60° kampu prieš laikrodžio rodyklę, langelis frezuojamas taip, kaip parodyta 10.6 pav., c);

G68 X108.0 Y0.0 R60.0 (koordinacių ašis X ir Y pasukti apie tašką X108 Y0 (taškas 2, 10.6 pav., a) 60° kampu prieš laikrodžio rodyklę, langelis frezuojamas taip, kaip parodyta 10.6 pav., d);

10.6 pav., b, pavaizduotas atvejis gana dažnai pasitaiko apdirbant. Dažnai tenka apdirbti ne pavienius elementus, o vienodus elementus (pvz., kišenes, skylės), išdėstytus žinomo skersmens apskritimu ir žinomu kampu vienas nuo kito. Tuomet galima labai efektyviai panaudoti koordinacių pasukimą kartu su paprogramėmis. Tai leidžia ne tik sutrumpinti programos rengimo laiką (neskaičiuoti koordinacių), bet ir pačią programą. Tokiu atveju parengiama paprogramė vienam elementui apdirbti (pavyzdžiui,



10.7 pav. Ilgos detalės frezavimas naudojant G68 kodą (Smid 2003)

10.6 pav., a, pavaizduotai kišenei frezuoti) ir kviečiama daug kartų, prieš tai kiekvieną kartą pasukant koordinacių plokštumą reikiamu kampu. Tokios programos pavyzdys bus pateiktas 12 skyriuje.

Koordinacių pasukimo kodas gali būti naudingas ir apdirbant ilgas detales, kai staklių eigos nepakanka detalei apdirbti vieną kartą pastačius. Toks atvejis pavaizduotas 10.7 pav. Išdėsčius ilgą detalę ant stalo pagal įstrižainę, o ne išilgai jo stalo eigos pakanka detalės šonui apdirbti.

„Fanuc“ firmos valdymo sistemose G68 formatas yra toks pat, kaip ir „HAAS“ firmos sistemose.

10.1.3. Mastelis

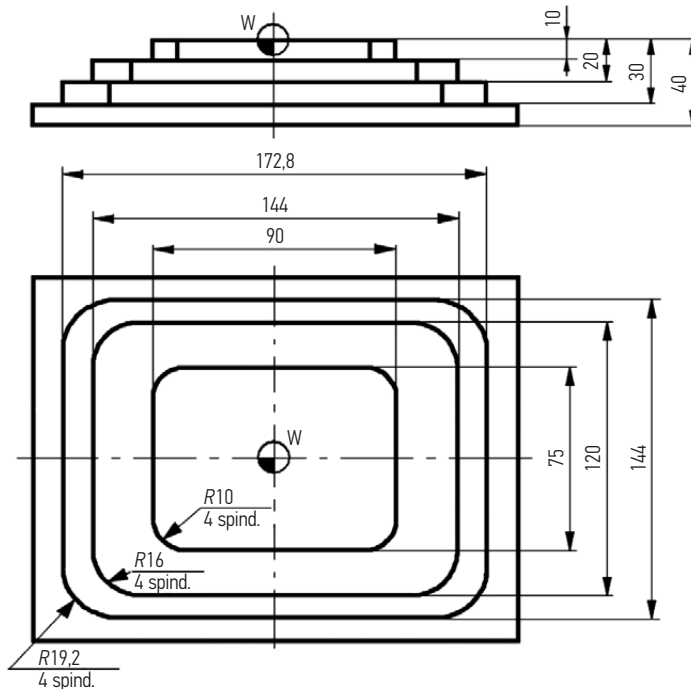
Dažniausiai operatorius arba programuotojas programuoja įrankio trajektorijas masteliu 1:1, jis tiesiog nuskaito detalės brėžinyje nurodytus matmenis nuo konstrukcinės bazės ir nurodo šiuos matmenis (arba perskaičiuoja juos nuo pasirinkto detalės nulio, jeigu konstrukcinė bazė nesutampa su technologine baze arba detalės nuliu) po atitinkamų koordinacių adresų (X, Y, Z) be pakeitimų. Tačiau kai kada jam gali prireikti kartoti užprogramuotą įrankio trajektoriją, tik ne tokią pat, bet proporcingai padidintą arba sumažintą (palyginti su originalia). Tokiu atveju programuojama pradinė trajektorija, paskui ji tik pakartojama prieš tai pritaikius specialią valdymo sistemos funkciją, kuri vadinama masteliu (*Scaling*). Tokia funkcija gali būti naudinga tokiais atvejais:

1. Apdirbant geometriškai panašias detales arba geometriškai panašius detalių elementus, kai skiriasi tik matmenys (pavyzdžiui, skirtingų matmenų laipteliai). Tokia detalė pavaizduota 10.8 pav.).
2. Apdirbant liejimo formas, kurios dažnai naudojamos skirtingų matmenų, bet vienodos formos detalėms lieti.
3. Sudarant programas detalėms, kurių matmenys brėžinyje nurodyti coliais, apdirbti staklėmis, kur nustatymais pasirinkta metrinė sistema. Tada patogų užprogramuoti koordinates taip, kaip nurodyta brėžinyje, t. y. coliais ir jų dalimis, ir pritaikyti programoje mastelio daugiklį 25,4 (1 colis = 25,4 mm). Bus gauta detalė, kurios matmenys atitinka brėžinį, išvengiant sistemos nustatymų keitimo ar koordinacių perskaičiavimo. Perėjimas į colinius vienetus keičiant sistemos

nustatymus arba kodu G20 taip pat nėra labai sudėtingas uždavinys, tačiau, kaip vienas iš variantų, gali būti pasiūlytas ir mastelis.

4. Graviruojant tekstus, kai reikia pakeisti šrifto dydį.

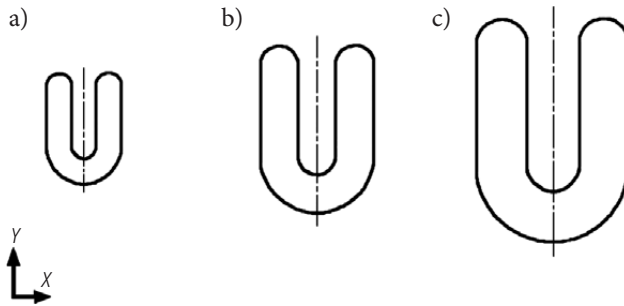
Pažymėtina, kad ne kiekvienų frezavimo staklių ir apdirbimo centrų valdymo sistemoje yra ši funkcija. Kartais gamintojai siūlo ją kaip papildomą, atskirai užsakomą parinktį. Todėl šioje vietoje vėl galima pakartoti jau žinomą operatoriaus taisyklę: *prieš pradėdamas darbą su naujomis arba nežinomomis staklėmis perskaityk staklių operatoriaus vadovą.*



10.8 pav. Laiptuota detalė

Mastelio funkcija turi būti gerai pažįstama kompiuterizuoto projektavimo sistemų vartotojams, kur taip pat galima padidinti arba sumažinti sukurto 2D arba 3D modelio matmenis mastelio koeficientu nurodytą kartų skaičių. Lygiai tą patį galima atlikti ir su įrankio trajektorija aplink pasirinktą mastelio centrą.

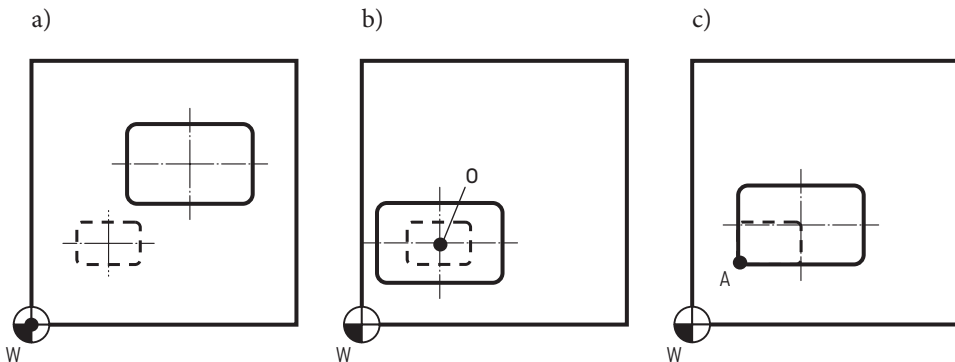
Taikant mastelį valdymo sistema tiesiog padaugins užprogramuotų koordinačių reikšmes iš nurodyto daugiklio, kuris gali būti didesnis už vienetą arba mažesnis už vienetą (pvz., „HAAS“ firmos valdymo sistemose galima naudoti daugiklius nuo 0,001 iki 8383,000, kai kurių staklių valdymo sistemose galima naudoti daugiklius nuo 0,001 iki 999,999). Pirmuoju atveju trajektorija bus padidinta (10.9 pav., c), antruoju atveju sumažinta (10.9 pav., a) lyginant su užprogramuota (10.9 pav., b). Jeigu daugiklis bus vienetas, trajektorija nepasikeis. Ji liks tokia pat kaip ir buvo užprogramuota



10.9 pav. Frezuojamo griovelio dydis, priklausomai nuo mastelio koeficiento:
 $a - 0,7$; $b - 1$; $c - 2$ (Smid 2003)

(10.9 pav., b). Mastelio funkcijai pritaikyti vien tik koeficiento yra per mažai. Operatorius turi būtinai nurodyti mastelio centrą, kurio atžvilgiu bus didinamos arba mažinamos koordinatės. 10.10 pav. parodyti trys langelio frezavimo atvejai taikant mastelio funkciją. Visur pradinė užprogramuota trajektorija yra ta pati (parodyta punktyru), tas pats yra ir mastelio koeficientas, tačiau mastelio centro koordinatės yra skirtingos. Tai duos skirtingus rezultatus. Pasikeis ne tik langelio dydis, bet langelis kiekvienu atveju bus išfrezuotas vis kitoje vietoje, priklausomai nuo nurodytų centro koordinatėjų.

Nepaisant to, aktyvus mastelio režimas ar neaktyvus, įrankių kompensacijų (ilgio, spindulio, koordinatėjų sistemos) reikšmės nesikeičia, jos išlieka tokios pačios, kaip nurodytos kompensacijų lentelėje arba programoje.



10.10 pav. Skirtingos mastelio centro (taškas pažymėtas •) padėties efektas įrankio trajektorijai frezuojant langelį (punktyru pažymėta originali užprogramuota trajektorija, kuri realizuojama, kai mastelio koeficientas 1, ištiesine linija pažymėta trajektorija, kuri gaunama pritaikius mastelio koeficientą): a – mastelio centro koordinatės $X_0 Y_0$ sutampa su detalės koordinatėjų sistemos pradžia W; b – mastelio centro koordinatės sutampa su frezuojamo langelio centru (taškas O); c – mastelio centro koordinatės sutampa su frezuojamo langelio apatiniu kairiniu kraštu (taškas A)

Mastelio režimui įjungti „Fanuc“ firmos ir panašose sistemose (taip pat ir „HAAS“ firmos) naudojamas modalinis kodas G51, režimas atšaukiamas kodu G50. Kodo G51 formatas yra toks:

G51 I... J... K... P...;

Arba toks:

G51 X... Y... Z... P...;

čia: I/J/K arba X/Y/Z – adresai, po kurių nurodomos absoliučiosios X/Y/Z mastelio centro koordinatės; P – adresas, po kurio nurodomas mastelio daugiklis.

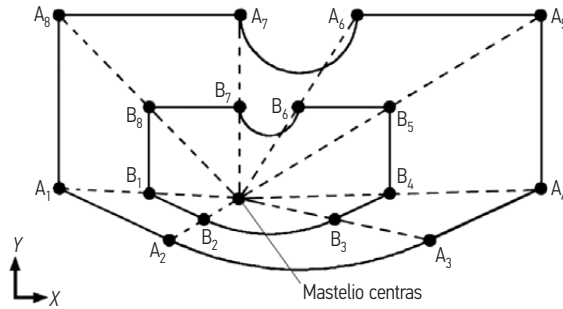
„Fanuc“ 15M valdymo sistemoje naudojami adresai I, J ir K mastelio centro koordinatėms nurodyti, kitose sistemose (taip pat „HAAS“ firmos) naudojami adresai X, Y ir Z atitinkamai. Taip pat, kaip ir pasukant koordinatinių sistemą, jeigu adresai X, Y arba Z ir jų reikšmės (koordinatės) nenurodytos, mastelio centru valdymo sistema laikys paskutinę įrankio poziciją. Jeigu po adreso P nenurodytas daugiklis, valdymo sistema parinks jį pagal nustatytuosius parametrus iš vidinių jos nustatymų, kuriuos operatorius gali keisti. „HAAS“ firmos sistemoje tam naudojamas nustatymas 71 (*Default G51 Scaling*).

Kodas G51 turi būti užrašytas atskiroje eilutėje. Kodai, susiję su staklių nulinio pozicija (pvz., G28, G29, G30), turėtų būti programuojami tik tada, kai mastelio funkcija yra atšaukta. Tokia pat taisyklė taikoma ir G92 kodui. Spindulio kompensacijos G41/G42 turi būti atšauktos prieš programuojant G51. Jas geriau pritaikyti, kai kodas G51 jau aktyvus. Atšaukti spindulio kompensaciją geriau prieš mastelio funkcijos atšaukimą kodu G50. Visos kitos komandos ir funkcijos, taip pat ir koordinatinių sistemos G54–G59, gali likti aktyvios.

Reikia nepamiršti, kad koordinatės Z reikšmės taip pat bus dauginamos iš mastelio daugiklio, net jeigu adresas Z (arba K) nenurodytas po kodo G51. Tokiu atveju einamoji įrankio Z pozicija tampa mastelio centru, kurios atžvilgiu dauginamos koordinatės.

10.11 pav. pavaizduotos dvi įrankio trajektorijos. Jeigu trajektorija A1–A8 yra originali užprogramuota įrankio trajektorija, tai trajektorija B1–B8 yra modifikuota, sumažinta apie mastelio centrą, kai daugiklis yra mažesnis už 1. Jeigu originali trajektorija B1–B8, tai trajektorija A1–A8 yra modifikuota, padidinta apie mastelio centrą, kai daugiklis yra didesnis už 1. Bet kuriuo atveju norint gauti dvi trajektorijas, pakanka užprogramuoti tik vieną, o toliau pritaikyti mastelio funkciją. Modifikuota trajektorija išplečiama ir susiaurinama apie mastelio centrą pagal abi X ir Y ašis vienodai.

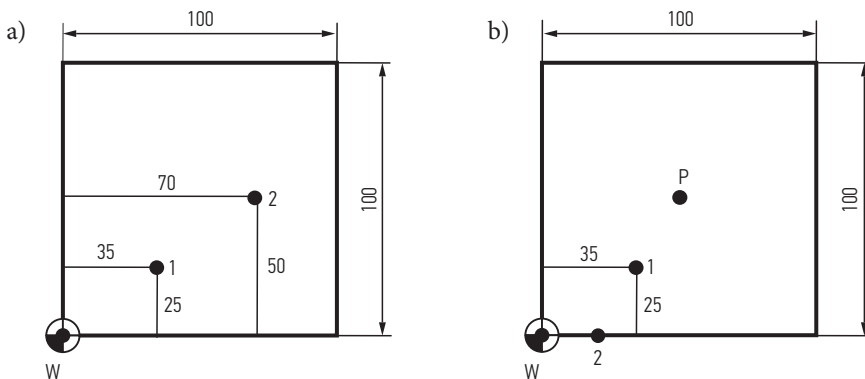
10.11 pav. dar kartą matyti, kad modifikuota trajektorija labai priklausys nuo mastelio centro padėties. Jeigu mastelio centro koordinatės nesutampa su detalės nuliu, padidintos arba sumažintos bus ne nurodytos programoje koordinatės, bet atstumai nuo mastelio centro iki programoje nurodyto taško. Jeigu įrankis programoje kreipiamas iš taško X0 Y0 į tašką X35 Y25 (taškas 1, 10.12 pav., a), o mastelio centras



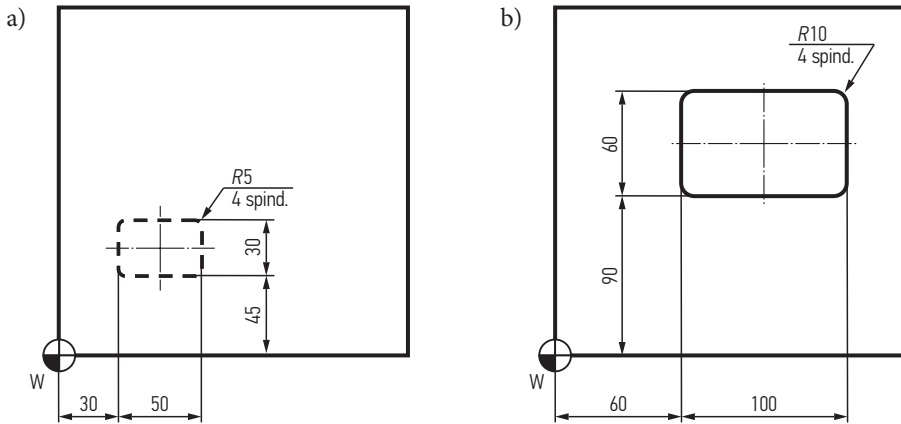
10.11 pav. Frezės ašies judesio trajektorijos XY plokštumoje (Smid 2003)

yra taške $X_0 Y_0$, kai mastelio koeficientas 2, įrankis atsidurs taške $X_{70} Y_{50}$ (taškas 2, 10.12 pav., a). Jeigu perkelsime mastelio centrą į tašką $X_{50} Y_{50}$ (kvadrato įstrižainių susikirtimo taškas P, 10.12 pav., b), nekintant kitoms sąlygoms, įrankis atsidurs taške 2, kurio koordinatės yra $X_{30} Y_0$, t. y. bus dvigubinami atstumai nuo judesio galinio taško iki mastelio centro $(50 - 35) \times 2$ pagal X ašį ir $(50 - 25) \times 2$ pagal Y ašį.

Dabar pabandydysime parašyti programas 10.10 pav. pavaizduotoms detalėms. Tegul frezuojama kiaura kišenė, detalės storis – 5 mm, kišenė jau sudaryta detalėje, reikia tik išfrezuoti jos sienes. Kiti originalios ir modifikuotos kišenės matmenys pateikti 10.13 pav. Turime programą pradinei kišenei (10.13 pav., a jos kontūras parodytas punktyrinėmis linijomis) frezuoti. Jeigu norime frezuoti kišenę, pavaizduotą 10.10 pav., a, ir 10.13 pav., b, ištisinėmis linijomis, galima naudoti tą pačią programą, pritaikant mastelio funkciją. Mastelio centrą šiuo atveju patogiu imti detalės nulyje taške $X_0 Y_0$. Originali (punktyru parodytai kišenei) ir modifikuota, kurioje naudojama mastelio funkcija G51, programos pateiktos toliau. Mastelio koeficientas yra 2, kaip matoma iš detalių brėžinių (10.13 pav.).



10.12 pav. Įrankio judesių galinių taškų nesutapimas, kai mastelio centro pozicija yra skirtinga: a – $X_0 Y_0$; b – $X_{50} Y_{50}$ (taškas P)



10.13 pav. Frezuojama detalės kišenė: a – originali; b – modifikuota

010131

(programa kišenei detalėje (10.13 pav., a) frezuoti);

N01 G21 G17 G54 (metrinė vienetų sistema, plokštuma XY, detalės koordinatinių sistema G54);

N02 T01 M06 (įrankis Nr. 1 – 8 mm skersmens pirštinė freza iš dėtuvės įstatoma į sukli);

N03 S1500 M03 (suklio sukiai – 1500 suk./min, suklys paleidžiamas sukty pagal laikrodžio rodyklę);

N04 G90 G00 X55.0 Y60.0 (absoliučiosios koordinatės, greitasis įrankio ašies pozicionavimas virš kišenės centro pagal X ir Y ašis);

N05 G43 Z3.0 H01 (greitasis pozicionavimas 3 mm aukščiau detalės nulio (viršutinės plokštumos) pagal Z ašį, pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės);

N06 G01 Z-6.0 F350.0 M08 (įrankis nuleidžiamas į darbinį gylį 6 mm (5 mm detalės storis + 1 mm atsargai) 350 mm/min pastūmos greičiu, įjungiamas TAS siurblys);

N07 G41 Y45.0 D01 F200.0 (įsijavimo judesys Y ašies kryptimi prie apatinio kišenės krašto 200 mm/min pastūmos greičiu, pakeliui pritaikant spindulio (skersmens) kompensaciją kontūro kairėje, reikšmė imama iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės);

N08 X75.0 (tiesinės interpoliacijos pastūmos judesys prie kišenės dešinės sienelės įvertinant 5 mm suapvalinimą);

N09 G03 X80.0 Y50.0 R5.0 (prieš laikrodžio rodyklę frezuojamas apatinis dešinysis suapvalinimas 200 mm/min pastūma);

N10 G01 Y70.0 (tiesinės interpoliacijos judesys prie kišenės viršutinės sienelės, įvertinant 5 mm suapvalinimą);

N11 G03 X75.0 Y75.0 R5.0 (prieš laikrodžio rodyklę frezuojamas viršutinis dešinysis suapvalinimas 200 mm/min pastūma);

N12 G01 X35.0 (tiesinės interpoliacijos judesys prie kišenės kairiosios sienelės, įvertinant 5 mm suapvalinimą);

N13 G03 X30.0 Y70.0 R5.0 (prieš laikrodžio rodyklę frezuojamas viršutinis kairysis suapvalinimas su 200 mm/min pastūma);

- N14 G01 Y50.0 (tiesinės interpoliacijos judesys prie kišenės apatinės sienelės, įvertinant 5 mm suapvalinimą);
 N15 G03 X35.0 Y45.0 R5.0 (prieš laikrodžio rodyklę frezuojamas apatinis kairysis suapvalinimas 200 mm/min pastūma);
 N16 G01 X56.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi iki kišenės vidurio, 1 mm paliekamas įsipjovimo judesio trajektorijai perdengti);
 N17 G40.0 Y60.0 M09 (atitraukimo tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi, jo metu atšaukiama spindulio kompensacija, judesio pabaigoje nutraukiamas TAS tiekimas);
 N18 G00 Z3.0 (pagreitintas frezos atitraukimas Z ašies kryptimi iki 3 mm aukščio virš detalės viršutinės plokštumos);
 N19 G28 Z3.0 (suklio galvutės grąžinimas į staklių nulį pagal ašį Z per tašką, kuriame yra įrankis);
 N20 M30 (programos pabaiga, grįžimas į pradžia);

Šią programą su nedideliais pakeitimais, įvedus mastelio koeficientą ir parinkus mastelio centrą, galima panaudoti 10.13 pav., b, pavaizduotai kišenei frezuoti. Modifikuota programa atrodys taip:

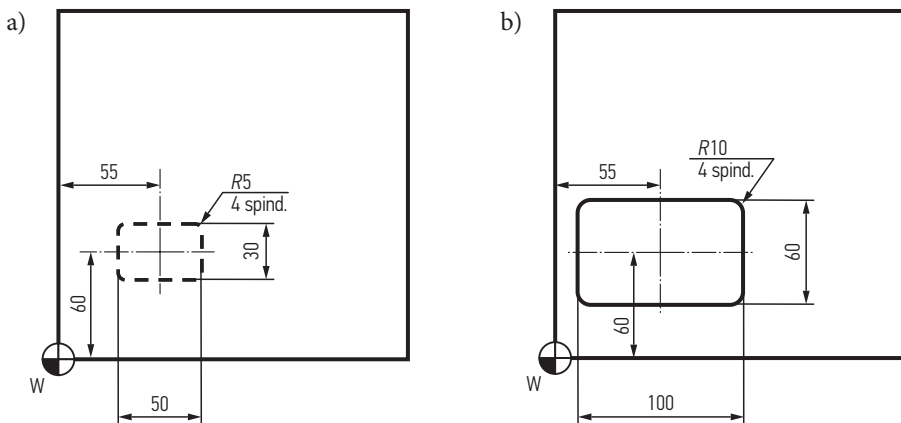
010132

- (programa kišenei detalėje (10.13 pav., b) frezuoti);
 N01 G21 G17 G54 (metrinė vienetų sistema, plokštuma XY, detalės koordinačių sistema G54);
 N02 T01 M06 (įrankis Nr. 1 – 8 mm skersmens pirštinė freza iš dėtuvės įstatoma į suklij);
 N03 S1500 M03 (sūkiai – 1500 sūk./min, suklys paleidžiamas suktis pagal laikrodžio rodyklę);
 N04 G90 G00 X0.0 Y0.0 (absoliučiosios koordinatės, įrankio ašis pagreitintai pozicionuojama virš detalės nulio XY plokštumoje);
 N05 G43 Z3.0 H01 (greitasis pozicionavimas 3 mm aukščiau detalės nulio (viršutinės plokštumos) pagal Z ašį pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės);
 N06 G51 X0.0 Y0.0 Z0.0 P2.0 (įjungiamas mastelio funkcija, centras – detalės nulis, mastelio koeficientas 2);
 N07 G00 X55.0 Y60.0 (greitasis pozicionavimas virš kišenės centro pagal X ir Y ašis, įrankis atsidurs taške X110 Y120, t. y. kišenės (10.13 pav., b) viduryje);
 N08 G01 Z-3.0 F350.0 M08 (įrankis nuleidžiamas į 6 mm darbinį gylį (nors nurodytas tik 3 mm gylis, jis bus daugintas iš 2) 350 mm/min pastūmos greičiu, įjungiamas TAS siurblys);
 N09 G41 Y45.0 D01 F200.0 (įsipjovimo judesys Y ašies kryptimi prie apatinio kišenės krašto 200 mm/min pastūmos greičiu, pakeliui pritaikant spindulio (skersmens) kompensaciją kontūro kairėje, reikšmė imama iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės);
 N10 X75.0 (teisinės interpoliacijos pastūmos judesys prie kišenės dešinėsios sienelės įvertinant suapvalinimą);
 N11 G03 X80.0 Y50.0 R5.0 (prieš laikrodžio rodyklę frezuojamas apatinis dešinysis suapvalinimas 200 mm/min pastūma);
 N12 G01 Y70.0 (tiesinės interpoliacijos judesys prie kišenės viršutinės sienelės, įvertinant suapvalinimą);
 N13 G03 X75.0 Y75.0 R5.0 (prieš laikrodžio rodyklę frezuojamas viršutinis dešinysis suapvalinimas 200 mm/min pastūma);

- N14 G01 X35.0 (tiesinės interpoliacijos judesys prie kišenės kairiosios sienelės, įvertinant suapvalinimą);
 N15 G03 X30.0 Y70.0 R5.0 (prieš laikrodžio rodyklę frezuojamas viršutinis kairysis suapvalinimas 200 mm/min pastūma);
 N16 G01 Y50.0 (tiesinės interpoliacijos judesys prie kišenės apatinės sienelės, įvertinant suapvalinimą);
 N17 G03 X35.0 Y45.0 R5.0 (prieš laikrodžio rodyklę frezuojamas apatinis kairysis suapvalinimas su 200 mm/min pastūma);
 N18 G01 X56.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi iki kišenės vidurio, 2 mm tarpas paliekamas įsipjovimo judesio trajektorijai perdengti);
 N19 G40.0 Y60.0 M09 (atitraukimo tiesinės interpoliacijos judesys Y ašies kryptimi, jo metu atšaukiama spindulio kompensacija, judesio pabaigoje nutraukiamas TAS tiekimas);
 N20 G00 Z1.5 (pagreitintas frezos atitraukimas Z ašies kryptimi iki 3 mm aukščio virš detalės viršutinės plokštumos);
 N21 G50 (mastelio režimo išjungimas);
 N22 G28 Z3.0 (suklio galvutės grąžinimas į staklių nulį pagal ašį Z per tašką, kuriame yra įrankis);
 N23 M30 (programos pabaiga, grįžimas į pradžia);

Kaip matome, programa nedaug skiriasi nuo pradinės O10131. Programoje O10132 atlikome papildomą judesį į tašką X0 Y0 ir nuleidome frežą arčiau detalės prieš įjungdami mastelio funkciją. Taip buvo paprasčiau išvengti neprognozuojamų judesių pritaikant mastelį, tačiau šiuos judesius galima buvo atlikti ir įjungus mastelio funkciją.

Dabar parengsime programą 10.10 pav., b, pavaizduotam atvejui. Turime pradinę programą O10131, t. y. 10.14 pav., a, pavaizduotai kišenei. Mūsų tikslas – modifikuoti ją, pritaikant mastelio funkciją 10.14 pav., b, parodytai kišenei išfrezuoti. Akivaizdu,



10.14 pav. Frezuojama detalės kišenė: a – originali; b – modifikuota (padidinta aplink centrą)

kad mastelio koeficientas išlieka toks pat – 2, tačiau mastelio centrą, norint nekeisti programoje koordinatčių, reikia išdėstyti kišenės viduryje, jo koordinatės – X55 Y60. Modifikuota programa pateikta toliau.

010142

(programa kišenei detalėje (10.14 pav., b) frezuoti);

N01 G21 G17 G54 (metrinė vienetų sistema, plokštuma XY, detalės koordinatčių sistema G54);

N02 T01 M06 (įrankis Nr. 1 – 8 mm skersmens pirštinė freza iš dėtuvės įstatoma į sukly);

N03 S1500 M03 (sūčiai – 1500 sūk./min, suklys paleidžiamas suktis pagal laikrodžio rodyklę);

N04 G90 G00 X55.0 Y60.0 (absoliučiosios koordinatės, įrankio ašis pagreitintai pozicionuojama virš kišenės centro XY plokštumoje);

N05 G43 Z3.0 H01 (greitasis pozicionavimas 3 mm aukščiau detalės nulio (viršutinės plokštumos) pagal Z ašį pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės);

N06 G51 Z0.0 P2.0 (įjungiama mastelio funkcija, mastelio centras – kišenės centras X55 Y60 Z0, nors X ir Y centro koordinatės nenurodytos, imama paskutinė įrankio pozicija, mastelio koeficientas 2);

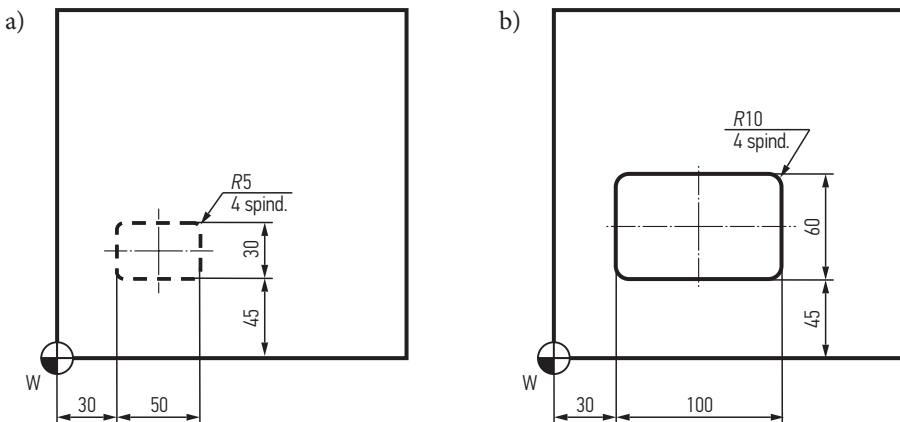
N07 G01 Z-3.0 F350.0 M08 (įrankio nuleidimas į darbinį gylį 6 mm (nors nurodytas 3 mm, jis bus dauginas iš 2) 350 mm/min pastūmos greičiu, įjungiamas TAS siurblys);

N08 G41 Y45.0 D01 F200.0 (įsijovimo judesys Y ašies kryptimi prie apatinio kišenės krašto 200 mm/min pastūmos greičiu, pakeliui pritaikant spindulio (skersmens) kompensaciją kontūro kairėje, reikšmė imama iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės);

N09 ... (kitos eilutės lieka tokios pačios kaip ir programoje 010132);

...;

Paruošime programą 10.10 pav., c, pavaizduotai kišenei frezuoti. Čia taip pat turime pradinę programą 010131, t. y. 10.15 pav., a, pavaizduotai kišenei. Mūsų tikslas – modifikuoti ją naudojant mastelio funkciją ir išfrezuoti 10.15 pav., b, parodytą kišenę.



10.15 pav. Frezuojama detalės kišenė: a – originali; b – modifikuota (padidinta nuo krašto)

Mastelio koeficientas išlieka toks pat – 2, tačiau mastelio centrą, norint nekeisti koordinatinių programoje, reikia išdėstyti apatiniame kišenės kampe. Jo koordinatės yra X30 Y45. Modifikuota programa pateikta toliau.

010152

(programa kišenei detalėje (10.15 pav., b) frezuoti);

N01 G21 G17 G54 (metrinė vienetų sistema, plokštuma XY, detalės koordinatinių sistema G54);

N02 T01 M06 (įrankis Nr. 1 – 8 mm skersmens pirštinė freza iš dėtuvės įstatoma į sukli);

N03 S1500 M03 (suklio sukiai – 1500 suk./min, suklys paleidžiamas sukis pagal laikrodžio rodyklę);

N04 G90 G00 X0.0 Y0.0 (absoliučiosios koordinatės, įrankio ašis pagreitintai pozicionuojama virš detalės nulio XY plokštumoje);

N05 G43 Z3.0 H01 (greitasis pozicionavimas 3 mm aukščiau detalės nulio (viršutinės plokštumos) pagal Z ašį, taikant ilgio kompensaciją iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės);

N06 G51 X30.0 Y45.0 Z0.0 P2.0 (įjungiamas mastelio funkcija, mastelio centras – apatinis kišenės kampas X30 Y45 Z0, mastelio koeficientas 2);

N07 G00 X55.0 Y60.0 (greitasis įrankio ašies pozicionavimas XY plokštumoje virš kišenės centro);

N08 G01 Z-3.0 F350.0 M08 (įrankio nuleidimas į darbinį gylį 6 mm (nors nurodytas 3 mm, jis bus daugintas iš 2) 350 mm/min pastūmos greičiu, įjungiamas TAS siurblys);

N09 G41 Y45.0 D01 F200.0 (įsipjovimo judesys Y ašies kryptimi prie apatinio kišenės krašto 200 mm/min pastūmos greičiu, judant pritaikoma spindulio (skersmens) kompensacija kontūro kairėje, reikšmė imama iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės);

N09 ... (kitos eilutės lieka tokios pačios kaip ir programoje 010132);

...;

Esant aktyviam mastelio režimui ir mastelio centrui X30 Y45, vykdant eilutę N07 įrankio ašis atsidurs padėtyje, kurios koordinatės yra X80 Y75, t. y. virš 10.15 pav., b, pavaizduotos kišenės centro. Ji neatsidurs taške X110 Y120, kaip galima pagalvoti, tiesiog padauginus eilutėje N07 nurodytas koordinates iš mastelio daugiklio 2. Taip būtų, jeigu mastelio centro padėtis būtų X0 Y0, tačiau šiuo atveju yra X30 Y45. Iš 2 bus dauginami atstumai nuo užprogramuotos pozicijos iki mastelio centro, t. y. pagal X ašį užprogramuojama pozicija yra 55, mastelio centro – 30. Todėl įrankis nukeliaus į tašką $X(55 - 30) \times 2 + 30 = 80$ mm. Pagal Y ašį turime užprogramuotą poziciją 60, o mastelio centro pozicija yra 45. Todėl įrankis atsidurs pozicijoje $Y(60 - 45) \times 2 + 45 = 75$, tai ir yra modifikuotos kišenės (10.15 pav., b) centro pozicija. Vykdamas eilutę N09 įrankio pozicija visai nepasikeis nuo užprogramuotos, nes įrankis siunčiamas į mastelio centrą pagal Y ašį, tai yra $Y(45 - 45) \times 2 + 45 = 45$, neskaitant spindulio kompensacijos.

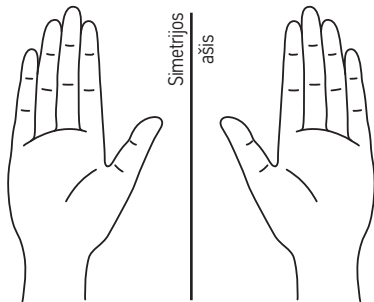
Galima dirbti ir prieaugių režimu, kai aktyvi mastelio funkcija, niekas iš esmės nesikeičia. Tik negalima apibrėžti mastelio centro koordinatinių prieaugių režimu, jis turi būti nurodytas tik absoliučiosiomis koordinatėmis.

Labai efektyviai mastelio funkcija gali būti taikoma kartu su paprogramėmis, kurios bus nagrinėjamos 12 skyriuje. Tokiu atveju galima gauti n sumažintų arba padidintų trajektorijų, užprogramavus tik vieną paprogramę ir kviečiant šią paprogramę n kartų programoje, prieš kviečiant naudojant skirtingus mastelio koeficientus. Taip galima gerokai sutrumpinti programą, pavyzdžiui, 10.8 pav. pavaizduotai laiptuotai detalei frezuoti. Jos apdirbimo programą ir pateiksime 12 skyriuje.

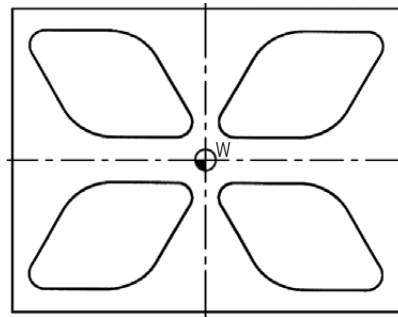
10.1.4. Veidrodinis koordinacių atspindėjimas

Ši CNC staklių valdymo sistemos funkcija (ne visose valdymo sistemose galima ją naudoti, dažnai tai yra papildomai užsakoma valdymo sistemos funkcija) yra labai panaši į komandą „Mirror“, naudojamą CAD sistemose (pvz., *SolidWorks*, *Autodesk Inventor* ir t. t.) ir gerai pažįstamą šių sistemų vartotojams. Lygiai taip pat, kaip ir braižant CAD sistemoje, kiekviena užprogramuota įrankio trajektorija gali būti simetriškai atkurta kitoje kokios nors ašies pusėje. Tam nereikia iš naujo programuoti kitos trajektorijos, pakanka tik pritaikyti komandą „Veidrodinis atspindėjimas“ (*Mirror image*).

Veidrodinio atspindėjimo komanda nekartoja trajektorijos kitoje ašies pusėje, tačiau sudaro jos simetrišką, pasirinktos ašies atžvilgiu, atvaizdą. Tai galima matyti iš 10.16 pav., kuriame pavaizduotos žmogaus kairioji ir dešinioji rankos. Valdymo sistema sukurs kitoje simetrijos ašies pusėje trajektoriją, pakeitusi pradinės trajektorijos taškų koordinacių ženklus (bet palikus tokius pačius užprogramuotų koordinacių dydžius) į priešingus. Čia vėl labai svarbi tampa koordinacių plokštumos kvadrantų sąvoka (žr. 2.1 poskyrių), kuriuose, kaip žinoma, koordinacių reikšmių ženklai yra skirtingi. 10.17 pav. parodytos vienos detalės kišenės, esančios keturiuose plokštumos XY kvadrantuose. Šios kišenės buvo išfrezuotos atspindėjus tik vienos kišenės apdirbimo trajektoriją skirtingų ašių atžvilgiu. Dažniausiai veidrodinis atspindėjimas taikomas plokštumoje XY, t. y. trajektorijos taškų koordinatės atspindimos X ir Y ašių atžvilgiu, Z ašis paprastai nenaudojama veidrodiniam atspindėjimui.



10.16 pav. Žmogaus rankos – veidrodinio atspindėjimo pavyzdys

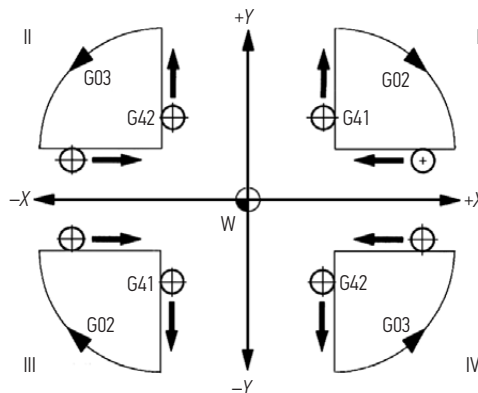


10.17 pav. Detalės kišenės, išfrezuotos atspindint įrankio trajektoriją skirtinguose plokštumos XY kvadrantuose

Priklausomai nuo to, koks kvadrantas pasirinktas veidrodiniam atspindėjimui, palyginti su originalia (užprogramuota) trajektorija, apdirbimo pagal modifikuotą trajektoriją sąlygos gali pasikeisti. Šie pasikeitimai lemia frezavimo kryptį (pagal arba prieš pastumą), apskritiminės interpoliacijos kryptį (prieš arba pagal laikrodžio rodyklę), spindulio kompensacijos kryptį (iš profilio kairės arba dešinės). Šiuos pasikeitimus galima matyti 10.18 pav. Jie bus atlikti automatiškai be operatoriaus.

Pradinė įrankio trajektorija gali būti užprogramuota bet kuriame plokštumos kvadrante. Paskui ji perkeliama į kitą arba į kitus kvadrantus. Kvadrantų yra keturi, todėl galima išskirti keturis apdirbimo plotus, suskirstytus dviem detalės koordinačių sistemos ašimis X ir Y . Galimi tokie atvejai (10.18, 10.17 pav.): veidrodinis trajektorijos atspindėjimas išilgai Y ašies (iš I kvadranto į IV arba atvirkščiai, iš II kvadranto į III arba atvirkščiai), veidrodinis atspindėjimas išilgai X ašies (iš I kvadranto į II arba atvirkščiai, iš IV kvadranto į III arba atvirkščiai) ir veidrodinis atspindėjimas išilgai X ir Y ašių (iš I kvadranto į III arba atvirkščiai).

Priklausomai nuo to, iš kokio į kokį kvadrantą perkeliama trajektorija, ir nuo to, išilgai kokios ašies vyksta atspindėjimas, valdymo sistema laikinai (kol yra aktyvus atspindėjimo režimas) keičia atitinkamų koordinačių ženklus. Jeigu pradinė įrankio trajektorija užprogramuota I kvadrante, kur X ir Y ašių reikšmės yra teigiamos ir trajektorija atspindima išilgai ašies Y , užprogramuotų koordinačių reikšmės išliks tokios pačios, bet įgaus IV kvadranto ženklus, t. y. X koordinačių ženklai nepasikeis, o Y koordinačių ženklai pasikeis nuo „+“ į „-“. Jei trajektorija užprogramuota I kvadrante, o atspindima išilgai X ašies, ji bus atkurta II kvadrante, programoje nurodytos Y koordinatės nepakeis ženklo (savaiame aišku, kad ir dydžio), tačiau X koordinačių ženklai pasikeis iš „+“ į „-“. Jeigu norėsime gauti I kvadrante užprogramuotos trajektorijos atspindį išilgai abiejų ašių X ir Y , ji bus III kvadrante. Visų X ir Y koordinačių ženklai pasikeis į neigiamus.



10.18 pav. Apdirbimo sąlygų pasikeitimas priklausomai nuo to, kokiuose plokštumos kvadrantuose yra originali ir atspindėta trajektorija: I, II, III ir IV – plokštumos XY kvadrantai (Smid 2003)

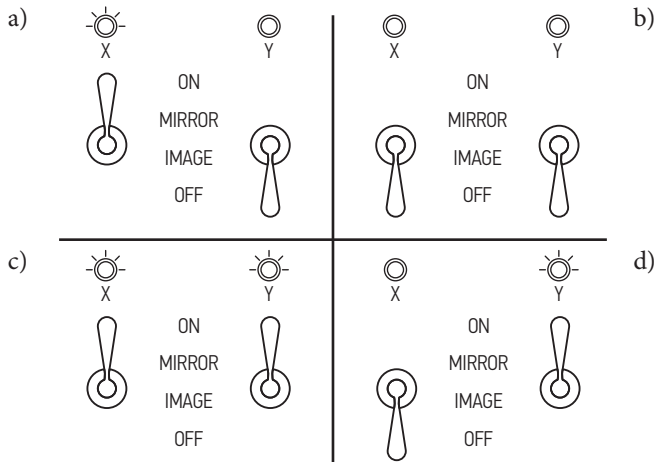
Jau minėta, kad atspindėtoje trajektorijoje frezavimo kryptis taip pat pasikeis. I kvadrante kontūras frezuojamas pagal pastūmą (10.18 pav.), o atspindėjus trajektoriją II kvadrante bus frezuojama jau prieš pastūmą, III kvadrante bus vėl frezuojama pagal pastūmą, o IV – prieš pastūmą. Reikia atsiminti, kad frezuojant prieš pastūmą ne visada galima gauti reikiamą paviršiaus kokybę (apie tai žr. I dalį, 5.1.2 skirsnį). Jei tai yra svarbu, reikia vengti atspindėjimo režimo arba stengtis gauti atspindį išilgai abiejų X ir Y ašių kartu, nes tik tada frezavimo kryptys sutaps.

Judant įrankiui atspindėta trajektorija, taip pat pasikeis apskritiminės interpoliacijos kryptis (jeigu ji buvo programuojama pradinėje trajektorijoje). Iš 10.18 pav. matyti, kad, jeigu pradinė apskritiminės interpoliacijos kryptis I kvadrante buvo pagal laikrodžio rodyklę (G02), tai atspindėtoje išilgai X ašies (II kvadrante) trajektorijoje ji bus jau prieš laikrodžio rodyklę (G03). Atspindėtoje išilgai Y ašies trajektorijoje, esančioje IV kvadrante, ji taip pat bus prieš laikrodžio rodyklę. Jeigu atspindėjimas vykdomas išilgai abiejų X ir Y ašių, kryptis išlieka ta pati kaip ir originali. Originalios trajektorijos G02 kodai bus pakeisti G03 kodais arba atvirkščiai. Tai atliks pati valdymo sistema be operatoriaus pagalbos, vykdant veidrodinio atspindėjimo komandą.

Naudojant veidrodinį atspindį reikia žinoti, kad *absoliučiai visi* judesiai (išskyrus grįžimo į staklių nulį) bus atspindėti simetriškai išilgai pasirinktos ašies (ašių). Dėl to gali būti rimtų avarijų. Todėl reikia gerai apgalvoti visas judesių pasekmes, numatyti staklių darbo erdvės vietas, kur prasideda programa (atliekamas pirmasis judesys), kur įjungiamas veidrodinis atspindėjimas ir kur jis gali būti išjungtas. Dažniausiai programose, kuriose naudojamas veidrodinis trajektorijos atspindys, judesiai pradami ir baigiami tame pačiame taške, esančiame detalės simetrijos plokštumoje, apie kurią vykdomas atspindys, arba detalės nulyje $X0 Y0$. Pats detalės nulis pasirenkamas simetrijos plokštumoje arba simetrijos plokštumų susikirtime.

Veidrodinio atspindėjimo režimas skirtingose staklėse gali būti įjungiamas labai skirtingai, priklausomai nuo staklių ir jų valdymo sistemos. Kai kuriose sistemose šį režimą galima įjungti tik programinio valdymo įrenginio operatoriaus skydelyje, bet ne pačioje programoje. Tam yra specialūs jungikliai atspindėjimo režimui įjungti pagal atitinkamą ašį (ašis). Tai, kad režimas įjungtas, rodo lemputė (10.19 pav.). Kituose modeliuose režimas gali būti įjungiamas skydelyje (arba valdymo sistemos vidiniais nustatymais) ir pačioje valdymo programoje, t. y. kodais (naudojami M arba G kodai). Pavyzdžiui, „HAAS“ firmos frezavimo staklių valdymo sistemoje veidrodinio atspindėjimo režimui įjungti naudojami vidiniai sistemos nustatymai (*Settings*) 45–48 ir 80:

- 45 Mirror Image X-axis (On arba Off)
- 46 Mirror Image Y-axis (On arba Off)
- 47 Mirror Image Z-axis (On arba Off)
- 48 Mirror Image A-axis (On arba Off)
- 80 Mirror Image B-axis (On arba Off)



10.19 pav. Veidrodinio atspindėjimo režimo valdymas jungikliais operatoriaus valdymo skydelyje: a – įjungtas atspindėjimo išilgai X ašies režimas; b – išjungtas atspindėjimo režimas; c – įjungtas atspindėjimo išilgai dviejų X ir Y ašių režimas; d – įjungtas atspindėjimo išilgai Y ašies režimas (Smid 2003)

Kai atitinkamam nustatymui priskirta žymė *On*, paleidus programą užprogramuota trajektorija atspindima išilgai tos ašies apie detalės nulį. Priešingu atveju, kai nurodyta žymė *Off*, vykdoma taip, kaip užprogramuota. Panašiai yra ir staklėse, kuriose režimas įjungiamas jungikliais (10.19 pav.).

Skirtingų gamintojų valdymo sistemų programose veidrodinio atspindėjimo režimui įjungti naudojami kodai taip pat gali skirtis. Dažniausiai tam naudojami M kodai, pvz., „Fanuc“ firmos sistemose dažnai naudojami M21, M22 ir M23 kodai. Pirmas įjungia veidrodinio atspindėjimo išilgai X ašies režimą, antras – išilgai Y ašies. M23 išjungia atspindėjimo režimą. Rečiau naudojami G kodai. „HAAS“ firmos valdymo sistemose atspindėjimui naudojami kodai G100 ir G101. G101 naudojamas veidrodinio atspindėjimo režimui įjungti. Jo formatas yra toks:

G101 X0 Y0 Z0 A0;

Po kodo G101 nurodomos tik tos ašys, išilgai kurių reikia trajektorijai atspindėti. Trajektorija bus atspindėta apie detalės koordinatinių sistemos pradžią, todėl ji turi būti tinkamai nustatyta. Pavyzdžiui, nurodžius G101 X0, atspindys bus gautas išilgai X ašies apie tašką X0. Nurodžius G101 X0 Y0 – išilgai X ir Y ašių apie aktyvios koordinatinių sistemos pradžios tašką X0 Y0 (pvz., iš I į III kvadrantą, 10.18 pav.). Po ašies adreso X, Y, Z arba A gali būti nurodytas ir kitas skaičius, ne 0, pavyzdžiui, G101 X20.0, nepaisant to, veidrodinis atspindys bus gautas apie tašką X0.

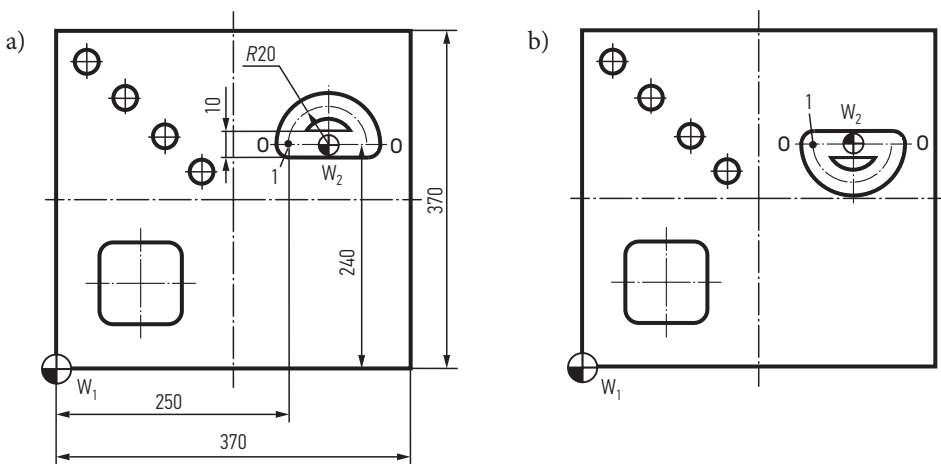
Kodas G100 atšaukia atspindėjimo režimą apie visas arba tik apie nurodytas ašis. Pavyzdžiui, nurodžius G100 X0 atspindys išilgai X ašies nebus gautas, tačiau koordinatės bus atspindimos išilgai Y ašies, jei ji buvo pasirinkta atspindėjimui anksčiau

kodu G101. Nurodžius G100 be jokių adresų bus išjungtas atspindėjimo režimas pagal visas ašis.

Dažniausiai veidrodinio atspindėjimo režimas naudojamas kartu su paprogramėmis, kurios bus nagrinėjamos 12 skyriuje. Tokiu atveju galima apdirbti simetriškai išdėstytus detalės elementus (tokius, kaip parodyta 10.17 pav.) arba kelias detales, simetriškai išdėstytas daugiaviečiame įtaise. Tokiu atveju užtenka užprogramuoti apdirbimo trajektoriją viename iš plokštumos kvadrantų, sudaryti apdirbimo paprogramę. Toliau kviesti ją vykdyti kelis kartus, prieš tai įjungus atspindėjimo išilgai atitinkamos ašies režimą. Tokių programų pavyzdžiai bus nagrinėjami 12 skyriuje. Atspindėjimo režimas taip pat gali būti naudingas frezuojant vienodas pagal matmenis detales, kai tam tikras jų skaičius turi turėti kokius nors elementus vienoje pusėje, o kitose detalėse tie patys elementai simetriškai išdėstyti kitoje detalių pusėje. Tokiu atveju galima apsieiti viena programa, ir prieš paleidžiant ją, įterpti reikiamoje jos vietoje eilutę su atspindėjimo režimo kodu.

Programos su atspindėjimo funkcija pavyzdys

Reikia parengti programą 10.20 pav. pavaizduotai detalei apdirbti. Sakykime, reikia pagaminti tam tikrą detalių skaičių, kai detalės elementas (uždaras griovelis) yra vienoje detalės vietoje (10.20 pav., a), o paskui reikia pagaminti detales, kurios turi tą patį elementą, tik jo padėtis yra pakeista taip, kaip parodyta 10.20 pav., b. Galima išskirti detalėje simetrijos plokštumą (O–O, 10.20 pav.), išdėstyti joje vieną iš detalės nulių ir, apdirbant šį griovelį, įjungti arba neįjungti veidrodinio atspindėjimo režimą. Priklausomai nuo to, griovelis bus frezuojamas vienoje arba kitoje simetrijos plokštumos pusėje. Valdymo programa pateikta toliau, pateiksime tik jos dalį, pagal kurią frezuojamas uždaras griovelis.



10.20 pav. Apdirbama detalė, kurios uždaras griovelis išdėstytas virš (a) ir žemiau (b) simetrijos plokštumos O–O

001020

(programa detalei apdirbti, 10.20 pav.);

N1 G54 G90 G17 (koordinacių sistema W_1 , absoliučiosios koordinatės, darbo plokštuma G17);

N2 T01 M06 (dėtuvėje pasirenkamas įrankis Nr. 1 ir įstatomas į suklij);

...;

... (programos fragmentas kišenei ir skylėms apdirbti koordinacių sistemoje G54);

...;

N45 G55 (koordinacių sistema W_2);

N46 T05 M06 (įrankis Nr. 5 – 10 mm skersmens pirštinė freza iš dėtuvės įstatoma į suklij);

N47 G00 X-20.0 Y0.0 (greitasis judesys XY plokštumoje į griovelio pradžios tašką 1 (10.20 pav.));

N48 G43 H05 Z3.0 (greitasis įrankio judesys Z ašies kryptimi į tašką 3 mm aukščiau detalės Z0 – viršutinės plokštumos, pritaikoma ilgio kompensacija iš 5-os kompensacijų lentelės eilutės);

/N49 G101 Y0.0 (ši eilutė vykdoma tik tada, kai eilutės praleidimo funkcija nėra aktyvi (nepaspaustas Block Delete mygtukas operatoriaus pulte). Tokiu būdu, jeigu eilučių praleidimo funkcija aktyvi, Y koordinatės programoje nekeis savo ženklo, bus frezuojamas griovelis, pavaizduotas 10.20 pav., a, priešingu atveju – griovelis, pavaizduotas 10.20 pav., b);

N50 G01 Z-3.0 F85.0 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys su 85 mm/min pastūma, kurio metu įrankio viršūnė pasieks griovelio dugną (tegu bus frezuojamas 3 mm gylio griovelis), prieš judesį bus pradėta tiekti TAS);

N51 G02 X20.0 R20.0 F170.0 (tiesinės interpoliacijos judesys pagal arba prieš laikrodžio rodyklę, priklausomai nuo eilutės praleidimo režimo, judesio metu bus išfrezuotas 10.20 pav. pavaizduoto griovelio apskritiminis ruožas, pastūma – 170 mm/min);

N52 G01 X-20.0 (tiesinės interpoliacijos judesys, kurio metu frezuojamas 10.20 pav. pavaizduoto griovelio tiesinis ruožas, pastūma – 170 mm/min);

N53 Z3.0 M09 (įrankio atitraukimas tiesinės interpoliacijos judesiu pagal Z ašį, nutraukiamas TAS tiekimas);

N54 G100 (išjungiamas atspindėjimo režimas, jeigu buvo įjungtas eilutėje N49);

N55 G54 (pasirenkama koordinacių sistema W_1);

N56 G28 Z3.0 (suklio galvutė nukreipiama į staklių nulį pagal Z ašį);

N57 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

10.1.5. Palečių keitiklis

Šiuolaikinėse CNC frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose dažnai naudojami palečių keitikliai (žr. I dalį). Šiuos įrenginius naudojant gerokai sumažinamas pagalbinis operacijos laikas, skirtas detalėms tvirtinti, ypač kai apdirbamos sudėtingai bazuojamos ir tvirtinamos detalės. Dirbdamas staklėmis be palečių keitiklio operatorius po kiekvienos detalės apdirbimo ciklo, sustojus programai, turi atidaryti dureles, nuimti jau apdirbtą detalę ir įtvirtinti įtaise (pavyzdžiui, spaustuvoose) arba tiesiog prie staklių stalo (prispaudikliais) kitą ruošinį. Staklėmis tuo metu neatliekamas tiesioginis darbas – nepjaunamas metalas, laikas gaišamas tuščiai. Kai staklėse yra palečių keitimo įrenginys, tuo metu, kai apdirbama viena detalė, operatorius gali užtvirtinti kitą.

Pasibaigus detalės, esančios staklių darbo zonoje, apdirbimo ciklui paletės keičiamos, t. y. apdirbta detalė palieka staklių darbo zoną dažniausiai pro staklių šoną, o įtvirtinta detalė paduodama į ją, paletės keičiamos vietomis. Toliau apdirbimo programa vėl paleidžiama, o operatorius detalės apdirbimo metu gali nuimti apdirbtą detalę ir įtvirtinti jos vietoje kitą ruošinį, paruošti jį apdirbti.

Palečių keitikliai nėra naujas dalykas. Beveik visi staklių gamintojai siūlo staklių modelius su palečių keitikliais. Šie modeliai dažniausiai gaminami remiantis standartinį staklių modeliais. Dažniausiai keitikliais komplektuojami horizontalieji apdirbimo centrai, tačiau būna ir vertikalieji apdirbimo centrai su palečių keitikliais, pvz., „HAAS“ VF-3APC, „HAAS“ VF-4APC. Kartu su automatiniais sandėliais, kuriuose saugomos apdirbti paruoštos paletės ir jau apdirbtos detalės, staklės su palečių keitikliais yra galinga gamybos automatizavimo priemonė. Kai kurie staklių gamintojai (pvz., „Mori Seiki“) siūlo vartotojams jau pagamintas tokias sistemas. Susipažinti su palečių keitiklių tipais, jų darbo principais ir gamybinėmis sistemomis, sudarytomis jų pagrindu, galima I knygos dalyje. Šioje knygoje nagrinėsime tik palečių keitiklių programavimą – kaip valdyti jų darbą iš staklių valdymo programos.

Palečių keitiklis programuojamas labai skirtingai, priklausomai nuo gamintojo. Čia reikia elgtis ypač atsargiai. Dažniausiai „Fanuc“ firmos valdymo sistemose palečių keitiklis valdomas kodu M60. Šis kodas pradeda veikti tik tada, kai staklės yra vienoje iš dviejų nulio pozicijų, valdomų kodais G28 arba G30. Toliau pateikta horizontaliojo apdirbimo centro su švytuokliniu palečių keitikliu programa.

O5645

(palečių keitimas);

G91 G28 X0.0 Y0.0 Z0.0 (ašys X, Y ir Z grąžinamos į nulį iš paskutinės įrankio pozicijos);

G28 B0 (ašis B (pasukamas stalas) grąžinama į nulį iš paskutinės užprogramuotos pozicijos);

M60 (pakraunama paletė Nr. 1);

G90;

.... (programa, detalei esančiai paletėje Nr. 1, apdirbti);

....;

G91 G28 X0.0 Y0.0 Z0.0 (ašys X, Y ir Z grąžinamos į nulį iš paskutinės įrankio pozicijos);

G28 B0 (ašis B (pasukamas stalas) grąžinama į nulį iš paskutinės užprogramuotos pozicijos);

M60 (pakraunama paletė Nr. 1);

G30 X0.0 (antrinio nulio pozicija);

M60 (pakraunama paletė Nr. 2);

....;

.... (programa detalei, esančiai paletėje Nr. 2, apdirbti);

....;

G30 X0.0 (antrinio nulio pozicija);

M60 (iškraunama paletė Nr. 2);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Plačiau panagrinėsime „HAAS“ firmos staklėse naudojamų dviejų palečių keitiklių programavimą. Čia palečių keitimas programuojamas kodu M50. Be to, darbo patogumui galima naudoti specialią palečių lentelę (šią lentelę rasti galima paspaudus mygtuką *CURNT COMDS* operatoriaus pulte, paskui mygtukais *PAGE UP* ir *PAGE DOWN*), kuri parodyta 10.21 pav.

Pallet Number	Load Order	Pallet Status	Pallet Usage	Program Number	Program Comment
1	*	Loaded	23	004990	(Rough and Finish)
2	1	Scheduled	8	006012	(Cut Slot)

10.21 pav. Palečių lentelė, naudojama „HAAS“ firmos CNC apdirbimo centrams (paletė Nr. 1 apdirbimo zonoje)

Šios lentelės pirmajame stulpelyje nurodytas palečių numeris (*Pallet Number*). Paletė Nr. 1 pakrauta į staklių darbo zoną, tai parodo žvaigždutė antrajame stulpelyje „Pakrovimo eiliškumas“ (*Load Order*) ir užrašas „Pakrauta“ (*Loaded*) trečiame stulpelyje „Palečių būvis“ (*Pallet Status*). Paletė Nr. 1 bus apdirbta pagal programą 004990. Tai galima matyti iš penktojo stulpelio „Programos numeris“ (*Program Number*). Ši programa turi būti staklių programų sąrašė. Paletė Nr. 2 yra suplanuota (*Scheduled*) ir bus pakrauta į apdirbimo zoną apdirbus pirmą detalę (įvykdžius programą 004990). Palečių pakrovimų į apdirbimo zoną skaičius parodomas ketvirtajame stulpelyje „Palečių naudojimas“ (*Pallet Usage*). Programos komentarų (*Program Comment*) stulpelyje parodomas vartotojo sudarytas komentaras prie tam tikros apdirbimo programos.

Pakrautai paletei apdirbti reikiama programa iškviečiama iš palečių lentelės kodu G188. Programos, kurioje naudojama lentelė, pavyzdys pateiktas toliau.

000001

(palečių keitiklio programa);

G91 G28 X0.0 Y0.0 Z0.0 (ašys grąžinamos į staklių nulį per paskutinę įrankio užprogramuotą poziciją);

M50 (paletė keičiama kita palete, kuri buvo suplanuota įtvirtinus joje detalę ir paspaudus mygtuką Part Ready valdymo pulte);

G188 (kviečiama ir paleidžiama pagal palečių lentelę priskirta pakrautai detalei apdirbti programa);

M99 (grįžtama į pagrindinės programos pradžią ir ciklas kartojamas);

004990

(apdirbimo programa paletėi Nr. 1);

...;

... (detalės apdirbimo programa);

...;

M99 (grįžimas į pagrindinę programą 000001);

006012

(apdirbimo programa paletėi Nr. 2);

...;
 ... (detalės apdirbimo programa);
 ...;
 M99 (grįžimas į pagrindinę programą O00001);

Pagrindinė programa O00001 yra uždaras ciklas, todėl jos pabaigoje naudojamas ne M30 kodas, o M99, kuris nesustabdo programos, o pradeda vykdyti vėl nuo pirmos eilutės. Todėl operatoriui nereikės spausiti mygtuko *Cycle Start* kiekvieną kartą, pasibaigus detalės apdirbimo programai. Kai bus apdirbta detalė paletėje Nr. 1, pagal programą O04990 paletė Nr. 2 bus pakrauta (M50 kodu keičiamos paletės) ir programa O06012 bus paleista. Palečių lentelė atrodys panašiai kaip parodyta 10.22 pav. Iš lentelės matoma, kad paletės Nr. 1 būvis pasikeitė iš *Loaded* (Pakrauta) į *Completed* (Užbaigta). Žvaigždutė, rodanti, kad paletė Nr. 2 yra apdirbimo zonoje, atsirado antrąją lentelės eilutėje, be to, paletės Nr. 2 būvis pasikeitė į *Loaded* (Pakrauta). Tačiau kas atsitiks, jeigu operatorius nespės įtvirtinti detalės laisvoje paletėje Nr. 1, o detalės, esančios paletėje Nr. 2, apdirbimo programa pasibaigs. Tokia situacija gali būti avarinė ir operatorius gautų traumą, jeigu nereikėtų, įtvirtinus detalę, spausiti kiekvieną kartą mygtuką *Part Ready*. Tegul apdirbus paletėje Nr. 2 esančią detalę operatoriui nereikia daugiau apdirbti detalių. Tokiu atveju jis tiesiog neįtvirtina detalės paletėje Nr. 1, kuri yra pakrovimo zonoje ir nespaudžia *Part Ready* mygtuko. Apdirbus detalę paletėje Nr. 2 valdymo sistema sugrįš į pagrindinę programą iš programos O06012 ir aptiks, kad jokia kita paletė nesuplanuota (nes mygtukas *Part Ready* yra nepaspaustas). Tokiu atveju neįvyks paletės keitimas kodu M50, valdymo sistema pristabdys programos O00001 vykdymą tol, kol bus paspaustas mygtukas *Emergency Stop* arba *Reset* (programa bus priverstinai nutraukta) arba bus suplanuota paletė Nr. 1 paspaudus mygtuką *Part Ready* (paletės būvis pasikeis iš *Completed* į *Scheduled*). Pastaruoju atveju paletė Nr. 1 bus nugabenta į apdirbimo zoną ir detalė bus apdirbta pagal programą O04990. Palečių lentelė atrodys taip, kaip pavaizduota 10.21 pav. Tuo laiku, kai apdirbama detalė, galima ruošti paletę Nr. 2 apdirbti arba neruošti ir nutraukti ciklą detalę apdirbus paletėje Nr. 1.

Pallet Number	Load Order	Pallet Status	Pallet Usage	Program Number	Program Comment
1	0	COMPLETED	23	O04990	(Rough and Finish Tog)
2	*	LOADED	9	O06012	(Cut Slot)

10.22 pav. Palečių lentelė, naudojama „HAAS“ firmos CNC apdirbimo centruose (paletė Nr. 2 apdirbimo zonoje)

„HAAS“ firmos apdirbimo centruose galima programuoti palečių keitimą ir nenaudojant palečių lentelės, todėl, be M50 kodo (čia jis gali būti naudojamas taip pat su adresu P..., po kurio eina paletės numeris, pavyzdžiui, P1, P2), darbui su palečių keitikliu rezervuoti ir kiti M kodai. Taip M36 atideda palečių keitimą iki tol, kol bus

paspaustas mygtukas *Part Ready*. Kai paletėms keisti nenaudojama lentelė, rekomenduojama prieš M50 programuoti M36, panašiai, kaip tai parodyta toliau:

M36 P1 (tikrinti paletės Nr. 1 būvį ir, jeigu mygtukas *Part Ready* paspaustas, vykdyti programą toliau);

M50 P1 (pakrauti paletę Nr. 1 į staklių darbo zoną);

Arba

M36 (tikrinti paletės, esančios pakrovimo zonoje, būvį ir, jeigu mygtukas *Part Ready* paspaustas, vykdyti programą toliau);

M50 (pakeisti paletę);

Jeigu adresas P nenurodytas, bus patikrinta ir pakrauta paletė, kuri yra pakrovimo zonoje, o paletė, esanti apdirbimo zonoje, bus iškrauta.

Kodas M46 naudojamas valdymo sistemai pereiti prie nurodytos po šio kodo valdymo programos eilutės, jeigu paletė yra pakrauta. Kodo formatas toks:

M46 Q... P...;

Po adreso Q nurodomas paletės numeris, pavyzdžiui, Q2 (paletė Nr. 2), o po adreso P nurodomas valdymo programos (o ne paprogramės) eilutės, nuo kurios reikia tęsti valdymo programą, numeris, jei į apdirbimo zoną pakrauta paletė, kurios numeris nurodomas po adreso Q. Priešingu atveju, jeigu ši paletė nepakrauta, valdymo sistema vykdys kitą eilutę, esančią po M46.

M49 kodas nustato paletės būvį. Šio kodo formatas yra toks:

M49 P... Q...;

Po adreso P nurodomas paletės numeris, o po adreso Q – skaičius, atitinkantis tam tikrą būvį. Galimi tokie skaičiai: 0 – nesuplanuota (*Uncheduled*), 1 – suplanuota (*Scheduled*), 2 – pakrauta (*Loaded*), 3 – užbaigta (*Completed*), 4–29 – vartotojo nustatyti. Vartotojo nustatyti skaičiai naudojami tik atvaizduoti valdymo įrenginio vaizduoklyje. Jeigu adresas P po M49 kodo nenurodytas, užprogramuotas po adreso Q būvis bus priskirtas pakrautai į apdirbimo zoną paletėi. Valdymo sistemai įtakos turi tik 0–3 būviai, kiti reikalingi tik operatoriui.

Kodu M48 tikrinama, ar vykdoma apdirbimo programa priskirta palečių lentelėje pakrautai į staklių darbo zoną paletėi, arba paletė, kuri yra pakrauta į apdirbimo zoną, priskirta palečių lentelėje vykdomai programai. Esant neatitikimui, ekrane bus sugeneruotas pavojaus pranešimas ir programos vykdymas bus sustabdytas. M48 programuojamas numatytos šiai paletėi programos pradžioje, tačiau jis negali būti nurodomas šios programos paprogramėje. Kodo M48 taikymo pavyzdys pateiktas toliau:

0...

(programa paletėi Nr. 1);

M48 (programos atitikties palečių lentelei patikra);

...;

... (programa paletėi Nr. 1);

...;

M30 (programos pabaiga);

0....

(programa paletėi Nr. 2)

M48 (programos atitikties palečių lentelei patikra);

...;

... (programa paletėi Nr. 2);

...;

M30 (programos pabaiga);

Toliau pateikti du programų pavyzdžiai, kuriuose nenaudojama palečių lentelė.

013234

(palečių keitimas);

M36 (atidėti keitimą iki mygtuko Part Ready paspaudimo);

M50 (keisti paletes, jei paspaustas mygtukas Part Ready);

M46 Q1 P1 (vykdant šią eilutę bus patikrinta, ar paletė Nr. 1 yra apdirbimo zonoje ir, jeigu tai pasitvirtins, įvyks perėjimas prie programos N1 eilutės. Priešingu atveju įvyks perėjimas prie kitos eilutės);

M46 Q2 P2 (tikrinama, ar paletė Nr. 2 yra apdirbimo zonoje, ir jeigu tai pasitvirtins, bus pereinama prie programos N2 eilutės. Priešingu atveju bus vykdoma kita eilutė);

M99 P3 (perėjimas prie eilutės N3);

N1 ... (eilutė Nr. 1, nuo kurios prasideda detalės, esančios paletėje Nr. 1, apdirbimo programa);

...;

... (apdirbimo programa paletėi Nr. 1);

...;

M99 P3 (perėjimas prie eilutės N3);

N2 ... (eilutė Nr. 2, nuo kurios prasideda detalės, esančios paletėje Nr. 2, apdirbimo programa);

...;

... (apdirbimo programa paletėi Nr. 2);

...;

M99 P3 (perėjimas prie eilutės N3);

N3 M99 (programos pakartojimas nuo pradžios);

Ši programa veikia panašiai kaip programa O00001. Čia nenaudojama palečių lentelė, o detalėms, esančioms paletėse Nr. 1 ir Nr. 2 apdirbti, skirtos ne atskiros programos, o tik bendros programos dalys.

Kita programa yra panaši, bet naudojamos atskiros paprogramės, užuot perėjus prie kitų eilučių, esančių toje pačioje programoje.

025646

(palečių keitimas naudojant paprogrames);

M36 P1 (vykdant šią eilutę įvyks pauzė, kurios metu tikrinama, ar paruošta apdirbti paletė Nr. 1. Nutraukti pauzė galima tik paspaudus mygtuką Part Ready);

M50 P1 (užkraunama paletė Nr. 1);
 M98 Pnnnn (bus paleista paletės Nr. 1 apdirbimo paprogramė Onnnn);
 M36 P2 (laukiama, kol mygtuku Part Ready bus suplanuota paletė Nr. 2);
 M50 P2 (pakraunama paletė Nr. 2);
 M98 Pmmmm (bus paleista paletės Nr. 2 apdirbimo paprogramė Ommmm);
 M99 (pagrindinės programos kartojimas nuo pradžios);

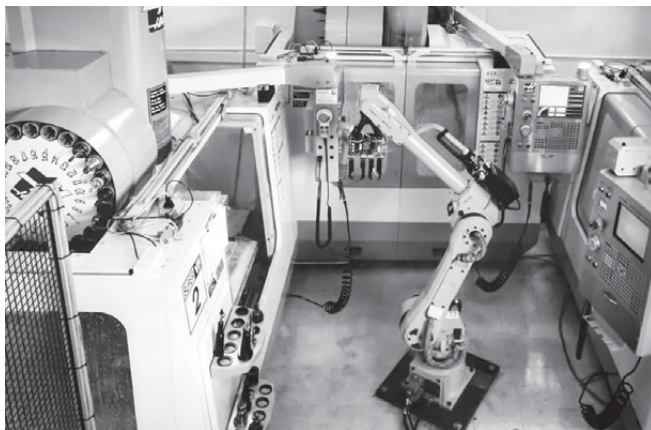
Onnnn
 (apdirbimo programa paletėi Nr. 1);
 ...;
 ... (detalės paletėje Nr. 1 apdirbimo programa);
 ...;
 M99 (grįžimas į pagrindinę programą 025646);

Ommmm
 (apdirbimo programa paletėi Nr. 2);
 ...;
 ... (detalės paletėje Nr. 2 apdirbimo programa);
 ...;
 M99 (grįžimas į pagrindinę programą 025646);

10.1.6. Programiškai valdomos darbo zonos durelės

Automatiškai atidaromos ir uždaromos staklių darbo zonos durelės frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose reikalingos tokiais atvejais:

1. Siekiant sumažinti operatoriaus nuovargį.
2. Kai stakles aptarnauja pakrovimo ir iškrovimo robotai.



10.23 pav. Robotizuotas apdirbimo kompleksas, sudarytas iš trijų „HAAS“ VF-2 apdirbimo centrų ir juos aptarnaujančio roboto

Skirtingai nuo tekinimo staklių, frezavimo staklėmis dažniausiai apdirbamos ne sukimosi kūno formos detalės. Jos yra geometriškai nepanašios, atsiranda problemų perderinant roboto manipuliatorių naujai detalei, todėl frezavimo staklėse detalėms pakrauti ir iškrauti robotai naudojami palyginti retai (robotizuotos sistemos labiausiai paplito masinėje ir stambių serijų gamyboje, viena iš tokių sistemų parodyta 10.23 pav.). Dėl šių priežasčių automatinės drelės naudojamos dažniausiai tik pirmam atvejui. Pasibaigus apdirbimo programai drelės gali būti atidaromos, valdant programos kodu (tam tikslui naudojami dažniausiai M kodai), o įtvirtinus ruošinį ir paleidus programą iš naujo – uždaromos. Operatoriui nereikia monotoniškai atidarinėti ir uždarinėti drelėlių, mažiau pavargstama, o naudojant pakrovimo ir iškrovimo robotus staklės gali dirbti automatinio režimu, be operatoriaus. Tai įmanoma tada, kai staklėse yra pasirinktis „Automatinės drelės“ (*Automatic Doors* arba *Auto Doors*), kuri dažniausiai nėra standartinė, o užsakoma atskirai.

Drelėlių atidarymas ir uždarymas dažniausiai valdomas nestandartiniais M-kodais, priklausomai nuo staklių arba valdymo sistemos gamintojo. „HAAS“ firmos frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose drelėms valdyti naudojami kodai M80/M81. Pirmuoju kodu drelės atidaromos, antruoju – uždaromos.

10.1.7. Vidinis įrankių aušinimas

Ši funkcija padeda efektyviau tiekti TAS į pjovimo zoną, padidinti įrankių patvarumą ir apdirbamo paviršiaus kokybę. Staklėse su šia funkcija (dažniausiai užsakoma atskirai) turi būti naudojami įrankiai su vidiniais TAS kanalais (tokių įrankių pavyzdžiai pateikti I dalyje) ir specialūs laikikliai su kanalais TAS tiekti. Staklėse turi būti specialios konstrukcijos suklys, montuojamos papildomos didelio slėgio („HAAS“ staklėse slėgis sudaro 2,1 arba 6,9 MPa) TAS stotys.

Ši funkcija vadinama TSC (*Through Spindle Coolant*) arba TAS tiekimas per sukli. Jos valdymas programoje priklauso nuo gamintojo, dažniausiai valdoma M kodais. „HAAS“ firmos frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose tam skirti kodai M88/M89. M88 įjungia tiekimą, M89 išjungia siurbli. M88 turi būti programuojamas prieš suklio paleidimo komandą M03 (M04 nerekomenduojama naudoti su šia funkcija), panašiai kaip parodyta toliau.

055555

T3 M6; (įrankis su vidiniais TAS kanalais įstatomas į sukli);

G90 G54 (absoliučiosios koordinatės, detalės koordinačių sistema G54);

G00 X100.0 Y120.0 (greitasis įrankio ašies pozicionavimas taške X100 Y120 detalės koordinačių sistemoje G54);

G43 H03 Z5.0 (greitasis įrankio galo pozicionavimas taške Z5 pritaikant įrankio ilgio kompensaciją iš 3-ios kompensacijų lentelės eilutės);

M88 (tiekti TAS per sukli);

S1450 M3 (paleidžiamas sukty suklys pagal laikrodžio rodyklę, sūčiai – 1450 sūk./min);

G98 G81 Z-17.5 F98.0 R0.5 (gręžimo vidinis ciklas, gręžimo gylis – 17,5 mm nuo detalės Z0, pastūma – 98 mm/min, po ciklo grįžti į pradinę Z poziciją Z5 (G98));
M89 G80 (nutraukti tiekti TAS per suklij, atšaukti vidinį ciklą G80);
T1 M06 (įrankis Nr. 1 iš dėtuvės įstatomas į suklij);
...;
... (programos tęsinys);
...;
M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Reikia pažymėti, kad M06 ir M30 (taip pat ir kiti programos sustabdymo ir įrankių keitimo M kodai) kodai nutrauks TAS tiekimą automatiškai, tačiau geriau padaryti tai atskirai, kai įrankis yra nedaug atitrauktas nuo detalės pagal Z ašį. Taip buvo padaryta pateiktame programos pavyzdyje. Tokiu būdu TAS bus mažiau ištaškomas. Dėl tos pačios priežasties įjungti vidinio aušinimo siurblių geriausia tada, kai įrankis yra kuo arčiau pirmojo pastūmos judesio pradžios taško.

10.2. Tekinimo staklės

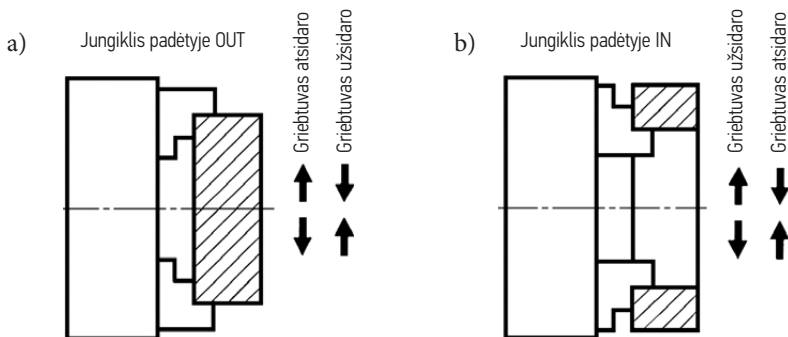
CNC tekinimo staklėse, palyginti su frezavimo staklėmis, dažniausiai yra daugiau papildomų programiniu būdu valdomų funkcijų ir įrangos, kad būtų automatizuotos operacijos ir sumažintas operatoriaus darbas. Taip yra dėl tekinimo staklių specifikos. Ruošinių nomenklatūra čia siauresnė, jie visi yra sukimosi kūnai arba bent mažiausiai turi sukimosi kūno (cilindro) formos tvirtinimo paviršius. Tekinimo staklėmis dažnai apdirbami strypai, todėl standartines stakles galima papildomai aprūpinti strypų tiekimo įrenginiu (I dalis). Tokiu būdu nereikia apdirbus ir atpjovus nuo strypo kiekvieną detalę, rankomis traukti strypą iš griebtuvo. Detalė, atpjauta nuo strypo, dažniausiai nukrinta žemyn. Kad nereikėtų stabdyti staklių detalėms išimti, naudojamos detalių gaudyklės. Tekinimo staklės gali būti komplektuojamos papildomu (pagalbinu) programiniu būdu valdomu griebtuvu (I dalis), todėl atsiranda galimybė apdirbti detalę iš abiejų galų nestabdant staklių detalei apversti. Sukimosi kūno formos ruošiniai savaime centruojamos trijų kumštelių griebtuvuose, kuriuose bazuojamos šoniniu paviršiumi, todėl griebtuvo žiaunų užspaudimas ir atleidimas taip pat gali būti pneumatinis arba hidraulinis ir valdomas programiškai. Visi šie, taip pat ir kiti staklių įrenginiai gali būti užsakyti pas kiekvieną CNC tekinimo staklių gamintoją už papildomą kainą, kaip papildoma staklių įranga. Šių ir kitų tekinimo staklių įtaisų ir įrangos programinį valdymą nagrinėsime šiame poskyryje.

10.2.1. Hidraulinis arba pneumatinis griebtuvas

CNC tekinimo staklėse gali būti hidraulinis (labiausiai paplitęs) arba pneumatinis griebtuvas, kuris šiuo metu dažniausiai įeina jau į bazinę staklių komplektaciją. Toks griebtuvas gali būti valdomas ne tik programos kodais, bet ir šalia staklių esančiu pedalu (I dalis). Pedalu jį valdyti patogiau, kai operatorius keičia arba apverčia detales

rankomis. Besisukančio griebtuvo žiaunos negali būti atidarytos netyčia paspaudus pedalą. Tam yra speciali apsauga. Valdant hidrauliniį griebtuvą reikia atsiminti, kad sąvoka *griebtuvo žiaunų atidarymas ir uždarymas* gali būti dviprasmiška, kartais tai gali klaidinti operatorių. 10.24 pav. parodytos dvi apdirbamos detalės, viena iš kurių yra velenas, kita – žiedas. Detalė, pavaizduota kairiajame paveiksle, bazuojama išoriniu paviršiumi. Jai užspausti griebtuve reikia suspausti (uždaryti) griebtuvo žiaunas. Žiedas, pavaizduotas dešinėje, bazuojamas vidiniu paviršiumi. Jam užspausti griebtuve reikia atleisti (atidaryti) žiaunas. Todėl terminai *atidaryti ir uždaryti* arba *atleisti ir užspausti griebtuvo žiaunas* ne visada atitinka terminus *atleisti ir užspausti ruošinį*. Tai gali būti avarijos priežastis. Todėl dažnai CNC tekinimo staklių operatoriaus pulte yra jungiklis, kuris vadinamas *Chuck Closed* (Griebtuvas uždarytas), ir turi dvi pozicijas – *IN* ir *OUT* („HAAS“ firmos tekinimo staklėse tai nustatoma vidiniu nustatymu 92, kuriam galima priskirti vieną iš dviejų reikšmių – O.D. (*Outer Diameter* (išorinis skersmuo) – atitinka *OUT* jungiklio poziciją) ir I.D. (*Inner Diameter* (vidinis skersmuo) – atitinka *IN* jungiklio poziciją). Nustačius reikiamą jungiklio arba parametro poziciją nepriklausomai nuo to, koku paviršiumi – vidiniu ar išoriniu – bazuojama apdirbama detalė, užrašas vaizduoklyje apie griebtuvo uždarymą (*Close Chuck*) reikš detalės užspaudimą, o apie griebtuvo atidarymą (*Open Chuck*) – detalės atleidimą.

Griebtuvas, kaip jau minėta, gali būti valdomas programos kodais, tai reikalinga, pvz., tada, kai naudojamas strypų tiekimo įrenginys. Detalė, apdirbta iš vieno galo, atpjaunama nupjovimo peiliu, toliau apdirbama kita detalė, tiekimo įrenginiui pastūmus strypą anksčiau nustatytu atstumu. Staklės tokiu būdu gali dirbti automatinio ciklu: griebtuvo uždarymas – detalės apdirbimas, atpjovimas – griebtuvo atidarymas – strypo tiekimas – griebtuvo uždarymas – detalės apdirbimas ir t. t. Darbininkas šiame cikle nedalyvauja, jis tik sukrauna strypus į tiekimo įrenginį ir išima apdirbtas detales iš gaudyklės. Griebtuvo uždarymas ir atidarymas, kaip ir strypo tiekimas, valdomi valdymo programos kodais.



10.24 pav. Detalių tvirtinimas hidrauliniame griebtuve: a – išoriniu paviršiumi; b – vidiniu paviršiumi (Smid 2003)

Kitas atvejis – staklės su pagalbinio griebtuvu, kuris taip pat valdomas programiškai. Čia operatoriui reikia tik užspausti detalę pagrindiniame griebtuve ir paleisti programą. Toliau visai nebūtina apversti detalės, ciklas šiuo atveju yra toks: detalės apdirbimas iš vieno galo – pagalbinio griebtuvo atidarymas – priartėjimas prie detalės – sukimosi judesio sinchronizavimas su pagrindiniu griebtuvu ir uždarymas – detalės atpjovimas – pagalbinio griebtuvo atitraukimas – detalės apdirbimas iš kito galo – programos sustabdymas. Staklės su pagalbinio griebtuvu taip pat gali būti su strypo tiekimo įrenginiu. Tokiu atveju jų darbas gali būti visiškai automatizuotas, darbininkui net nereikės keisti detalių.

Hidraulinis griebtuvas dažniausiai valdomas M kodų pora. Priklausomai nuo gamintojo kodai gali skirtis, o šiais kodais atliekami veiksmai išlieka tie patys. „Fanuc“ firmos ir kitose panašiose valdymo sistemose („HAAS“ firmos) griebtuvui valdyti naudojami kodai M10 ir M11. Kodas M10 užspaudžia detalę, o M11 atleidžia detalę. Priklausomai nuo to, kokios padėties yra jungiklis arba kokia yra nustatymo 92 reikšmė „HAAS“ firmos sistemoje, žiaunos gali judėti į skirtingas puses, kad būtų užspausa arba atleista detalė, taip, kaip parodyta 10.24 pav. Jeigu suklys sukasi prieš vykdant M11 kodą, jis dažniausiai bus sustabdytas automatiškai (taip yra šiuolaikinėse „HAAS“ firmos tekinimo staklėse). Tačiau taip yra ne visada, todėl saugiausia būtų visada sustabdyti jį kodu M05.

Programos su kodais M10/M11 fragmentas pateiktas toliau. Jis sudarytas staklėms su labai paprastu pneumatiniu strypo tiekimo įrenginiu, kur strypas suslėgtuoju oru varomas tol, kol atsirems į atramą, įtvirtintą revolverinėje galvutėje kartu su kitais įrankiais. Kad strypas pradėtų judėti, jį reikia atleisti, o kai strypo galas atsirems į atramą – žiaunos uždaromos. Tai ir atliekama programos kodais.

...;

... (atpjovimas);

G00 X150.0 Z50.0 (revolverinė galvutė pagreitintai siunčiama į keitimo poziciją);

T06 (strypo atrama nustatoma į darbo poziciją);

Z0.0 (atrama pagreitintai pozicionuojama pagal Z ašį taške Z0 detalės koordinačių sistemoje);

X0.0 (atrama pagreitintai pozicionuojama pagal X ašį taške X0 detalės koordinačių sistemoje);

M05 (sustabdomas suklys);

M11 (atidaromas griebtuvas, strypas stumiamas pro suklio skylę);

G04 U5.0 (5 sekundžių pauzė tam, kad strypas pasiektų atramą);

M10 (uždaromas griebtuvas);

Z5.0 (atrama pagreitintai pozicionuojama pagal Z ašį taške Z5 detalės koordinačių sistemoje);

S1900 M03 (paleidžiamas suktis į priekį suklys, jam suteikiamas 1900 sūk./min greitis);

X150.0 Z50.0 (revolverinė galvutė pagreitintai siunčiama į keitimo poziciją);

T05 (įrankis Nr. 5 revolverinėje galvutėje nustatomas į darbo poziciją);

...;

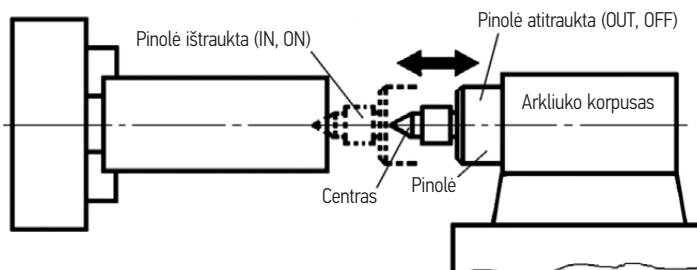
Paminėtina, kad reikiamas išstūmimo dydis gali būti pasiektas ne tik primityviai, bet ir programuojant, kai naudojami sudėtingesnių konstrukcijų programuojami įrenginiai. Tokių strypų tiekimo įrenginių programavimas apžvelgiamas toliau.

Griebtuvo žiaunų spaudimo jėga reguliuojama keičiant tepalo arba oro slėgį specialiu reguliatoriumi, paprastai nustatoma vieną kartą ir nekeičiama. Tačiau yra tam tikrų darbų, kai reikia pakeisti griebtuvo kumštelių suspaudimo jėgą. Pavyzdžiui, apdirbant plonasiene detales, per didelė spaudimo jėga gali deformuoti detalę. Dirbant dideliais sūkiais spaudimo jėga sumažėja dėl inercijos jėgų padidėjimo, atsiranda poreikis kompensuoti jėgos sumažėjimo dydį. Kai kurie (pažymėtina, kad tokių yra labai mažai) staklių gamintojai siūlo galimybę keisti griebtuvo žiaunų suspaudimo jėgą ne tik vožtuvu, bet ir programos kodais. Tam dažniausiai naudojami nestandartiniai M kodai, pavyzdžiui, M15 (maža užspaudimo jėga), M16 (didelė užspaudimo jėga) ir pan.

10.2.2. Hidraulinis arkliukas

Kaip ir įprastinės tekinimo staklės, programinės staklės gali taip pat turėti arkliuką, kurio centru paremiamos ilgos ir (arba) plonos detalės. Tokiu būdu užtikrinamas didesnis tokių detalių standumas ir apdirbimo tikslumas. Skirtingai nuo įprastinių tekinimo staklių CNC staklėse ne visada yra arkliukas, kartais jis yra neužsakomas su staklėmis (pvz., jei staklės naudojamos tik trumpoms arba didelio skersmens detalėms tekinti), kitose vietoje arkliuko gali būti pagalbinis griebtuvas (kuris gali būti naudojamas ir kaip arkliukas). Pats arkliukas dažniausiai gali būti ir nprogramuojamas, ir programuojamas, priklausomai nuo gamintojo ir užsakovo pasirinkimo.

Pagrindinės arkliuko dalys yra korpusas ir pinolė, į kurią įstatomas centras (10.25 pav.). Priklausomai nuo staklių dydžio ir gamintojo, programuojamas arkliuko judesys gali būti dvejopas: kaip arkliuko korpuso judesys (pirmyn–atgal) staklių kreipiamosiomis arba kaip pinolės su centru judesys, gali būti valdomi ir abu šie judesiai. Antruoju atveju korpusas perstumiamas prie detalės rankomis, nustačius jo poziciją, detalė užspaudžiama ir atleidžiama programuojant pinolės judesius. Visais atvejais judesys vyksta iki centro atsirėmimo į detalės centro skylės paviršių. Centras liks prispaustas prie centro skylės, kol nebus atitrauktas. Prispaudimo jėga priklausys nuo tepalo slėgio, kuris dažniausiai nustatomas specialiu reguliuojamu vožtuvu, esančiu šalia hidraulinės staklių stoties.



10.25 pav. CNC tekinimo staklių arkliukas ir jo pinolės judesiai (Smid 2003)

Arkliukas arba jo pinolė dažniausiai valdomi ne tik programos kodais, bet ir grindų pedalu. Taip pat gali būti ir valdymo mygtukai operatoriaus valdymo pulte (pvz., „HAAS“ firmos sistemose arkliuko (arba jo pinolės) lėtam persislinkimui valdyti naudojami mygtukai $TS \leftarrow$ ir $TS \rightarrow$), o, pasirinkus greitojo pozicionavimo režimą mygtuku *TS RAPID* šie mygtukai gali būti naudojami arkliukui (arba jo pinolei) pagreitintai pozicionuoti.

„Fanuc“ firmos valdymo sistemose arkliuko pinolei valdyti naudojami kodai M12 ir M13. Pirmasis kodas naudojamas pinolei ištraukti (ir atitinkamai paremti detalę), antrasis – įtraukti į korpusą (ir atitinkamai atleisti detalę). Reikia atsiminti, kad dažniausiai valdymo sistema nelaukia, kol bus užbaigtas ištraukimas arba įtraukimas, o pradeda vykdyti kitą eilutę, einančią po M12 arba M13 kodų. Norint, kad prieš pradėdant vykdyti kitą eilutę, detalės prispaudimas (arba atleidimas) būtų užbaigtas, po eilutės su kodu M12/M13 būtina įterpti pauzę (G04) arba programą paleisti pavienių eilučių režimu (*Single Block*).

Pačiam arkliukui valdyti dažniausiai naudojami kodai M21 ir M22. Pirmasis kodas naudojamas arkliuko judesiui prie detalės (prisitraukti) programuoti, o kodas M22 – judesiui nuo detalės (atsitraukti) programuoti.

Kai kurie tekinimo staklių gamintojai naudoja dar du papildomus M kodus arkliukui prie kreipiamųjų prispausti ir atpalaiduoti, tačiau dažniausiai šito veiksmo programuoti nereikia, nes jis automatiškai atliekamas kartu su M21/M22 kodais.

Programos su kodais M21/M22 ir M12/M13 pavyzdys pateiktas toliau.

021655

...;

... (programa ruošinio galui tekinti ir centro skylei gręžti);

...;

M05 (sustabdyti sukli);

M21 (arkliuko korpusas patraukiamas į priekį į nustatytą poziciją);

G04 U3.0 (3 sekundžių pauzė);

M12 (pinolė juda prie detalės);

G04 U2.0 (2 sekundžių pauzė);

...;

... (išorinio šoninio paviršiaus apdirbimo programa);

...;

M05 (sustabdyti sukli);

M13 (pinolės įtraukimas į korpusą);

G04 U2.0 (2 sekundžių pauzė);

M22 (arkliuko atitraukimas);

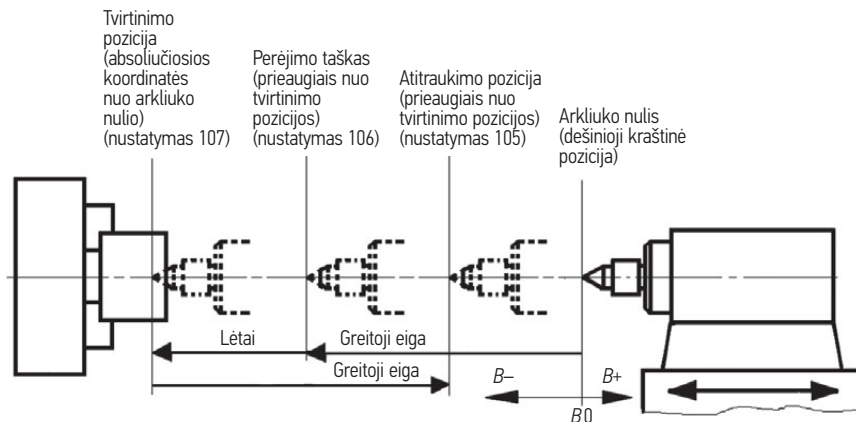
G04 U3.0 (3 sekundžių pauzė);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

„HAAS“ firmos valdymo sistemose arkliukui (arba tik jo pinolei, kai kuriuose modeliuose, pvz., SL-10) valdyti naudojami kodai M21/M22, kurių prasmė tokia pat, kaip ir aprašyta anksčiau. Šie kodai, jei naudojami arkliuko korpuso (ne pinolės) judesiams programuoti, naudoja dar ir staklių nustatymus 105–107, kaip parodyta 10.26 pav.

Kodas M21 naudoja nustatymus 105–107 judesiui prie tvirtinimo pozicijos atlikti, o kodas M22 naudoja nustatymą 105 judesiui prie atitraukimo pozicijos atlikti. Jeigu arkliukas yra kairiau atitraukimo pozicijos (10.26 pav.), M22 grąžins jį į šią poziciją (tas pat įvyks, jei bus paspaustas pedalas). Jei arkliukas yra dešiniau atitraukimo pozicijos, kodas M22 (arba pedalo paspaudimas) grąžins jį į atitraukimo poziciją. Jeigu arkliukas yra atitraukimo pozicijoje, kodu M21 jis bus perkeltas į prieš tai nustatytą ir apibrėžtą nustatymu 107 tvirtinimo poziciją. Jei arkliukas yra tvirtinimo pozicijoje, kodu M22 jis bus pagreitinai perstumtas į atitraukimo poziciją. Perėjimo taške, kuris apibrėžiamas nustatymu 106, bus pakeistas arkliuko greitis iš greitojo į lėtesnį (pastūmos), kai arkliukas juda iš atitraukimo pozicijos į tvirtinimo poziciją valdomas kodu M21.

Nustatymų 105–107 reikšmės suteikia pats operatorius sistemos nustatymų lentelėje. Prieš tai valdant arkliuką rankinio valdymo režimu („HAAS“ firmos staklėse arkliuko poslinkiams skirta ašis *B*) priartinus jį prie detalės galima sužinoti tvirtinimo taško koordinatę, t. y. 107 nustatymo reikšmę (ji nustatoma staklių koordinatinių sistemoje nuo gamintojo nustatytos arkliuko nulio pozicijos absoliučiosiomis koordinatėmis). Akivaizdu, kad ši koordinatė bus neigiama, kaip parodyta 10.26 pav. Nustatymų 105 ir 106 reikšmės nustatomos priegaiais nuo tvirtinimo taško. Atstumo nuo tvirtinimo iki atitraukimo taško (105 nustatymas, teigiamasis dydis, 10.26 pav.) turi pakakti detalei ištraukti iš griebtuvo ir pakeisti ją kita. Perėjimo taškas reikalingas tam, kad pagreitinai judėdamas arkliuko centras neatsitrenktų į detalę. Arkliukui pasiekus šį tašką sistema sumažins judančio prie detalės arkliuko greitį, kad nebūtų smūgio.



10.26 pav. „HAAS“ firmos hidraulinio arkliuko nustatymai

Kai naudojamas arkliukas su valdoma pinole (pvz., „HAAS“ firmos modelis SL-10), M21 kodas išstums pinolę iš korpuso tol, kol centras atsirems į detalę ir liks šioje padėtyje palaikant hidrauliniu vožtuvu nustatytą slėgį. Kodu M22 pinolė bus įtraukiama į korpusą, kur sustos pati. Jokių nustatymų šiuo atveju nereikia, arkliukas prie detalės pozicionuojamas rankomis.

10.2.3. Strypo tiekimo įrenginys

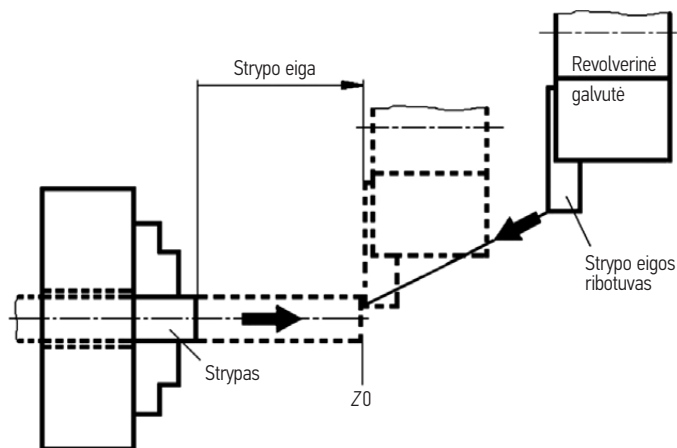
Strypo tiekimo įrenginys yra išorinis įrenginys, tvirtinamas iš suklio galvutės pusės prie staklių (I dalis, 4.52 pav.) ir leidžiantis nepertraukiant staklių darbo gaminti detales iš kelių metrų ilgio strypų, kurie sukraunami į įrenginio lovį. Tokiu būdu nereikia iš anksto pjaustyti strypų pjaustymo staklėmis (pjūklais), apdirbus detalę nereikia stabdyti staklių norint pakeisti ją kitu ruošiniu. Strypas (atpjovus apdirbtą detalę nuo strypo), valdomas programoje specialiais valdymo kodais, periodiškai stumiamas į apdirbimo zoną nustatytu atstumu per specialią kreipimo įvorę tiekimo įrenginyje ir tuščiavidurio suklio skylę.

Strypų tiekimo įrenginiai dažniausiai užsakomi kaip papildoma įranga. Strypų tiekimo įrenginių konstrukcijų yra labai daug. Yra tokių, kur strypas stumiamas, yra ir tokių, kur strypas traukiamas pro suklio skylę. Šie nelabai paplitę. Antruoju atveju revolverinėje galvutėje tvirtinamas strypo griebtuvas (trijų kumštelių griebtuvas). Iškvieštas į darbo zoną kodu T... (kaip ir bet koks įrankis įtvirtintas galvutėje) jis pagriebia strypo galą ir traukia jį komanda G01 Z... nurodytu atstumu. Paskui griebtuvo žiaunos atleidžiamos, strypas paleidžiamas ir revolverinė galvutė siunčiama į keitimo poziciją, kurioje keičiamas įrankis ir programa pradeda iš naujo.

Stumdantieji tiekimo įrenginiai gali būti elektromechaniniai, pneumatiniai ir hidrauliniai. Paprastesnių konstrukcijų įrenginiai (pvz., pneumatinis „HAAS“ Bar 100, I dalis, 4.52 pav., a) naudojami tik pavieniams strypams. Apdirbus vieną strypą, reikia rankomis įdėti naują strypą į įrenginį. Strypo eiga tokio tipo įrenginiuose apribojama ribotuvais, įstatomais į revolverinę galvutę kaip paprastas tekinimo peilis. Atpjovus detalę, ribotuvais iškviečiamas į darbo poziciją kaip įrankis, pozicionuojamas nurodytame taške, dažniausiai Z0 X0. Paskui programuojamas griebtuvo žiaunų atidarymas (M11). Strypas, veikiamas suslėgtojo oro jėgos, stumiamas tol, kol atsiremia į atramą (10.27 pav.). Paskui programuojamas griebtuvo uždarymas ir programa vykdoma iš naujo. Staklių su tokiu įrenginiu programos fragmentas pateiktas 10.2.1 skirsnyje ir toliau.

Sudėtingesnių konstrukcijų įrenginiai (elektromechaninis „HAAS“ firmos Servo Bar 300, I dalis, 4.52 pav., b) leidžia sukrauti daug strypų (jų skaičius priklauso nuo skersmens), strypo eiga gali būti keičiama programoje. Galima apdirbti skirtingas detales viena programa su paprogramėmis. Apdirbus vieną strypą, kitas į lovį dedamas automatiškai.

Labai svarbios tiekimo įrenginio savybės – didžiausias strypo skersmuo ir ilgis. Šie parametrai būna skirtingi įvairiuose įrenginiuose. Parenkant strypo tiekimo įrenginį



10.27 pav. Strypo apdirbimas su ribotuvu (Smid 2003)

tekinimo staklėms be suderinamumo (paprastai gamintojas nurodo, kokiems staklių modeliams tinka tiekimo įrenginys), reikia atkreipti dėmesį ir į suklio skylės skersmenį, kuris riboja didžiausią naudojamą strypo skersmenį.

Strypo tiekimo įrenginio darbas programuojamas įvairiai, priklausomai nuo gamintojo ir modelio dažniausiai nestandartiniais M kodais, pavyzdžiui, M71/M72. Pirmasis iš jų naudojamas strypo tiekimui pradėti, antrasis – nutraukti. Kartu su šiais kodais naudojami ir M10/M11 griebtuvo žiaunų valdymo kodai. Pavyzdžiui, toliau pateikta programa, kurioje strypo eigai apriboti naudojama atrama-ribotuvus, kuri tvirtinama tarp kitų įrankių revolverinėje galvutėje (10.27 pav.). Jos geometrijos kompensacijos nustatomos panašiai kaip ir peiliams.

044565

N1 G21 (metrinės sistemos vienetai);

N2 T0101 M05 (pasirenkamas įrankis Nr. 1 (atrama), sustabdomas suklys);

N3 G00 X0.0 Z0.0 (ribotuvo atraminis taškas greitai pozicionuojamas taške X0 Z0);

N4 M11 (atidaromi griebtuvo kumšteliai);

N5 G04 U2.0 (2 sekundžių pauzė, kad spėtų atsidaryti griebtuvus);

N6 M71 (teikiamas strypas);

N7 G04 U4.0 (4 sekundžių pauzė, kad strypas pasiektų atramą);

N8 M10 (uždaromi griebtuvo kumšteliai);

N9 G04 U2.0 (2 sekundžių pauzė, kad spėtų užsidaryti griebtuvus);

N10 M72 (išjungiamas strypo tiekimo įtaisas);

N11 G00 X80.0 Z100.0 (ribotuvus greitai atitraukiamas į saugią poziciją);

N12 M01 (papildomas programos sustabdymas, jeigu strypą reikia pakeisti nauju);

N12 S2000 M03 (sūčiai – 2000 sūk./min, suklys paleidžiamas suktyje į priekį);

N13 T0202 (kitas įrankis, pvz., išorinio tekinimo peilis);

...;

... (apdirbimo programa);
 ...;
 M99 P2 (pereiti prie N2 eilutės);

Kita programa yra sudėtingesnė. Ji skirta nustatytam detalių skaičiui apdirbti, pas-
 kui programa sustabdoma. Detalėms apriboti naudojamas detalių skaitiklis M88/M89
 (didėjimo tvarka/mažėjimo tvarka).

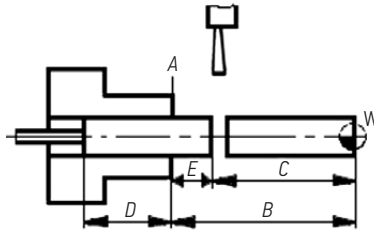
O45464

N1 G21 T0101 M05 (metrinė sistema, įrankis Nr. 1 – ribotuvus, suklys sustabdomas);
 N2 G00 X0.0 Z20.0 (strypo ribotuvus greitai pozicionuojamas taške X0 Z20);
 N3 M11 (griebtuvo žiaunos atsidaro);
 N4 G04 U2.0 (2 sekundžių pauzė, kad spėtų atsidaryti griebtuvus);
 N5 M71 (pradėti strypo tiekimą);
 N6 G04 U3.0 (3 sekundžių pauzė, kurios metu strypas bus stumiamas iki atramos);
 N7 M10 (griebtuvo žiaunos užsidaro);
 N8 G04 U2.0 (2 sekundžių pauzė, kad spėtų užsidaryti griebtuvus);
 N9 X150.0 Z70.0 M72 (pagreitintas ribotuvo nukreipimas nuo galo, strypo tiekimas
 nutraukiamas);
 N10 M01 (papildomas sustojimas tam atvejui, jei kažkas ne taip);
 N11 T0303 (pasirenkamas įrankis Nr. 3 – atpjovimo peilis);
 N12 G96 S200 M03 (pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys paleidžiamas sukty, pjovimo
 greitis – 200 m/min);
 N13 G00 X34.0 Z0.0 (greitasis atpjovimo peilio pozicionavimas virš atpjovimo vietos);
 N14 G01 X-1.0 F0.15 M08 (strypo galo atpjovimas su 0,15 mm/sūk. pastūma ir aušinant. Tokiu
 būdu tik atpaunamas naujo strypo 20 mm ilgio nuo galo gabalas, kuris dažniausia yra nelygus.
 Vieną kartą nuo strypo galo atpjovus gabalą, ši pakopa toliau nebus vykdoma);
 N15 G00 Z2.0 M09 (greitasis įrankio atitraukimas, aušinimo išjungimas);
 N16 X150.0 Z70.0 (greitasis įrankio atitraukimas);
 N17 M01 (papildomas sustojimas);
 N18 T0101 M05 (pasirenkamas įrankis Nr. 1 – ribotuvus, sustabdomas suklys);
 N19 G00 X0.0 Z1.0 (greitasis ribotuvo pozicionavimas taške X0 Z1);
 N20 M11 (griebtuvo žiaunos atsidaro);
 N21 G04 U2.0 (2 sekundžių pauzė, kad spėtų atsidaryti griebtuvus);
 N22 M71 (pradedamas tiekti strypas 1 mm – užlaidos galo tekinimui dydžiu);
 N23 G04 U2.0 (2 sekundžių pauzė, kurios metu strypas bus stumiamas iki atramos);
 N24 M10 (griebtuvo žiaunos užsidaro);
 N25 G04 U2.0 (2 sekundžių pauzė, kad spėtų užsidaryti griebtuvus);
 N26 M72 (strypo tiekimas nutraukiamas);
 N27 X150.0 Z70.0 (greitasis ribotuvo atitraukimas);
 N28 M01 (papildomas programos sustabdymas);
 N29 T0202 (pasirenkamas galo tekinimo peilis);
 N30 G96 S180 M03 (pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys paleidžiamas sukty į priekį,
 palaikomas 180 m/min pjovimo greitis);

- N31 G00 X34.0 Z0.0 (greitasis peilio pozicionavimas prie galo);
 N32 G01 X-1.0 F0.15 M08 (galo tekinimas su 0,15 mm/sūk. pastūma ir aušinant);
 N33 G00 Z2.0 (greitasis peilio atitraukimas);
 N34 G42 X26.0 (pritaikyti viršūnės spindulio kompensaciją iš dešinės, greitasis pozicionavimas taške X26);
 N35 G01 X30.0 Z-2.0 F0.2 (nuožulnos tekinimas su 0,2 mm/sūk. pastūma);
 N36 Z-35.0 (išorinio skersmens tekinimas);
 N37 X34.0 M09 (peilio atitraukimas nuo ruošinio paviršiaus, aušinimo išjungimas);
 N38 G00 G40 X150.0 Z70.0 (greitasis revolverinės galvutės atitraukimas į įrankio keitimo poziciją atšaukiant spindulio kompensaciją);
 N39 M01 (papildomas programos sustabdymas);
 N40 T0303 (pasirenkamas įrankis Nr. 3 – atpjovimo peilis);
 N41 G96 S200 M03 (pastovaus pjovimo greičio režimas, greitis – 200 m/min);
 N42 G00 X34.0 Z-35.0 (greitasis atpjovimo peilio pozicionavimas prie atpjovimo vietos);
 N43 G01 X-1.0 F0.15 M08 (atpjovimas su 0,15 mm/sūk. pastūma ir aušinant);
 N44 G00 X34.0 M09 (greitasis atitraukimas);
 N45 X150.0 Z70.0 (greitasis revolverinės galvutės atitraukimas į įrankio keitimo poziciją);
 N46 M01 (papildomas sustabdymas);
 N47 M89 (detalių skaitiklio reikšmė padidėja 1);
 /N48 M30 (valdoma Block Skip funkcija programos pabaiga);
 N49 M99 P18 (jeigu skaitiklis nesuskaičiavo reikiamo detalių skaičiaus, Block Delete funkcija lieka aktyvi, eilutė N48 nevykdoma ir programa tęsiama nuo eilutės N18. Programa vykdoma ne nuo pradžios todėl, kad pradžioje užprogramuota strypo galo atpjovimo pakopa, kurios nereikia atlikti kiekvieną kartą, o tik pirmą kartą pakrovus naują strypą);

Operatorius gali stebėti, kaip kinta apdirbtų detalių skaitiklio rodmenys. Pasiėkus reikalingą reikšmę jis tiesiog išjungia eilučių praleidimo režimą operatoriaus pulte ir sistema pradeda vykdyti eilutę N48, kurioje užprogramuota programos pabaiga, programa sustoja.

Dabar panagrinėsime, kaip valdomas sudėtingesnės konstrukcijos „HAAS“ firmos strypų tiekimo įrenginys Servo Bar 300. „HAAS“ valdymo sistemoje strypo tiekimo įrenginiui valdyti naudojamas kodas G105. Vykdamas jį griebtuvo žiaunos bus atidaromos ir uždaromos automatiškai, be papildomų kodų. Be G105, darbui naudojami kai kurie sisteminiai kintamieji. Jų reikšmės suteikia valdymo sistemai papildomos informacijos apie išstūmimo dydį ir kt. Tai pavaizduota 10.28 pav. Norint užtikrinti automatinį staklių su įrenginiu darbą, valdymo sistema turi žinoti, kiek pastumti strypą prieš pradėdant apdirbti naują detalę (matmuo C nurodomas sisteminiu kintamuoju #3100), koks mažiausias strypo ilgis gali būti užspaustas griebtuve (matmuo D nurodomas sisteminiu kintamuoju #3102). Jeigu likusio staklių suklyje strypo ilgis yra mažesnis už nurodytą sisteminiu kintamuoju #3102, jis bus išstumtas iš griebtuvo ir naujas strypas bus pakrautas iš pakrovimo lovio. Taip pat reikalinga informacija, kiek pastumti tik užkrautą naują strypą (matmuo $B = C + E$ nurodomas sisteminiu kintamuoju #3101). Be to, atskaitymo taškas turi būti taip pat nurodytas (pažymėtas raide A , 10.28 pav.).



10.28 pav. Strypo tiekimo įrenginio derinimo schema: *A* – pradinė pozicija; *B* – pradinio išstūmimo ilgis, kai iš lovio užkrautas naujas strypas; *C* – tolimesnių (po pirmojo išstūmimo) išstūmimų ilgis; *D* – strypo likutis, kuris turi būti išmestas dėl nepakankamo ilgio įtvirtinti; *E* – tarpelis tarp įrankio (atpjovimo peilio) pjovimo briaunos ir griebtuvo žiaunų arba spyruokliuojančiosios įvorės paviršiaus; *W* – detalės nulis

Taigi programoje nurodžius kodą G105, bus paleista savotiška programa, kuri kreipsis į sisteminius kintamuosius, saugomus valdymo sistemos atmintyje, ir pastums strypą nurodytais atstumais. Operatoriui nereikia keisti kintamųjų tiesiogiai (nors jis gali tai padaryti specialiaame vaizduoklio lange HAAS Servo Bar, į kurį galima patekti paspaudus mygtuką *Curnt Comds*, po to *Page Up* ir *Page Down*). Jis tik nurodo tam tikrus adresus po G105 kodo. Kodo G105 formatas yra toks:

G105 I... J... K... P... R...;

čia: *I* – pradinio pastūmimo ilgis (matmuo $B = C + E$ (10.28 pav.) nurodomas kintamuoju #3101); *J* – detalės ilgis su užlaida atpjovimui ir galo tekimui (matmuo *C* nurodomas kintamuoju #3100); *K* – mažiausias užtvirtinamo strypo ilgis (matmuo *D* nurodomas kintamuoju #3102); *P* – paprogramės numeris; *R* – suklio kampinė padėtis naujam strypui įstatyti.

Tokiu formatu užrašyta komanda G105 naudos jau nurodytas po adresų parametrų reikšmes. Jeigu visi arba kai kurie adresai nenurodyti, bus imamos paskutinės sisteminių kintamųjų reikšmės.

Pavyzdžiui, norint paleisti toliau pateiktą strypų pjaustymo programą, iš pradžių reikia nustatyti kintamųjų reikšmes vaizduoklyje. Sakykime, detalės ilgis su užlaida galui tekinti (reikia apdirbti detalės galą) yra 26 mm, atpjovimo peilio pjovimo briaunos ilgis – 4 mm. Tegul saugiam darbui užteks 20 mm tarpo tarp griebtuvo žiaunų ir atpjovimo peilio pjovimo briaunos krašto (matmuo *E*, 10.28 pav.). Taigi turime kintamųjų puslapyje kintamajam #3100 priskirti reikšmę 30 (matmuo $C = 26 + 4 = 30$ mm). Kintamajam #3101 reikia priskirti reikšmę 50 (matmuo $B = E + C = 20 + 30 = 50$ mm). Kintamojo #3102 reikšmė priklauso nuo strypo tvirtinimo įtaiso (trijų kumštelių arba spyruokliuojančiosios įvorės griebtuvo) matmenų bei konstrukcijos ir turi užtikrinti saugų bei stabilų likusios strypo dalies tvirtinimą. Imsime šią reikšmę 30 mm. Tuomet parametrui #3102 priskiriama reikšmė 30. Nustačius MDI (*Manual Data Input*) režimu atskaitymo tašką (*A*, 10.28 pav.) ir įvykdžius šiuo režimu G105 Q2 komandą,

kad įtaisas pastumtų strypą pradiniu atstumu, nurodytu kintamuoju #3101 galima paleisti programą:

056569

(strypo pjaustymo programa);

N01 G21 (metriniai vienetai);

N02 G28 (revolverinė galvutė gražinama į staklių nulį);

N03 T0303 (pasirenkamas atpjovimo peilis su 4 mm pjovimo briaunos ilgiu);

N04 G96 S150 M03 (aktyvus pastovaus pjovimo greičio režimas, greitis – 150 m/min, paleidžiamas suktis į priekį suklys);

N05 G00 X63.0 Z-30.0 (įrankis greitai pozicionuojamas detalei atpjauti nurodytu atstumu nuo galo (C, 10.28 pav.));

N06 G01 X-1.0 F0.1 M08 (atpjovimas su peilio 0,1 mm/sūk. pastūma, įjungiamas TAS siurblys);

N07 G00 X63.0 M09 (įrankio greitis atitraukimas, aušinimas išjungiamas);

N08 G28 (revolverinė galvutė gražinama į staklių nulį);

N09 G105 (strypo perstūmimas atstumu C (10.28 pav.));

N10 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Vykdamas šią programą strypo, nuo kurio nupjauta 30 mm ilgio dalis, galas įvykdžius priešpaskutinę eilutę N09 vėl atsidurs pradinėje padėtyje – taške W (Z0, 10.28 pav.). Toliau paleidus programą iš naujo mygtuku *Cycle Start* nuo jo vėl galima atpjauti 30 mm gabalą, o vykdamas G105 programos pabaigoje strypas vėl perstumiamas 30 mm atstumu. Tai reiškia, kad galas vėl atsidurs taške Z0.

Kitame pavyzdyje parametrai keičiami pačioje programoje. Atkreipkite dėmesį į tai, kokie adresai nurodomi po kiekvieno G105 kodo.

000110

(laiptuotas velenas, 10.29 pav.);

G105 J25.0 K130.0 (strypas stumiamas atstumu C = 25 mm (#3100 = 25), atstumas D = 130 mm (#3102 = 130));

T0101 (pasirenkamas įrankis Nr. 1 – išorinio tekinimo peilis);

G50 S2500 (ribojami didžiausi suklio sūkiai – iki 2500 sūk./min);

S1000 M03 (paleidžiamas suktis į priekį suklys 1000 sūk./min sūkiais);

G54 G00 X22.0 Z2.0 (koordinatų sistema G54, greitis įrankio pozicionavimas prie detalės galo);

Z-1.0 (įrankio greitis pozicionavimas taške Z-1);

G96 S200 (įjungiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, pjovimo greitis – 200 m/min);

G01 X-1.0 F0.15 M08 (galo tekinimas su 0,15 mm/sūk. pastūma, prieš judesį įjungiamas TAS siurblys);

G00 Z1.0 (greitis tekinimo peilio atitraukimas į Z1 tašką);

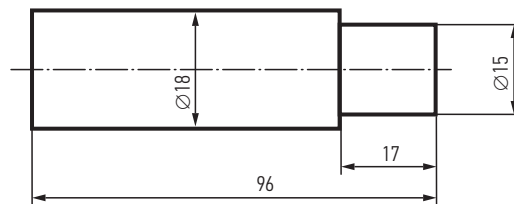
G97 S2000 (pastovaus pjovimo greičio režimo išjungimas, sūkiai 2000 sūk./min);

X15.0 (greitis pozicionavimas taške X15);

G01 Z-18.0 F0.2 (detalės laiptelio tekinimas iki skersmens 15 mm su 0,2 mm/sūk. pastūma);

X22.0 M09 (laiptelio galo tekinimas su 0,2 mm/sūk. pastūma, aušinimo išjungimas);
 G00 Z2.0 (greitasis peilio atitraukimas);
 G28 (revolverinės galvutės grąžinimas į staklių nulį pagal abi ašis);
 M01 (papildomas sustojimas tam atvejui, kai kažkas ne taip);
 G105 J75.0 K25.0 (strypo pastūmimas naujai nurodytu atstumu (10.28 pav.) $C = 75$ mm,
 $D = 25$ mm);
 G55 S2000 M03 (pereinama į kitą detalės koordinačių sistemą, nes 75 mm į teigiamą pusę
 pasikeitė strypo galo padėtis Z ašies atžvilgiu);
 G00 Z2.0 (greitasis pozicionavimas prie detalės galo);
 X18.0 Z-15.0 (greitasis pozicionavimas prie apdirbto I pakopoje laiptelio $\varnothing 15$ mm galo);
 G01 Z-99.0 F0.2 M08 (2-ojo laiptelio, kurio skersmuo 18 mm, tekinimas su 0,2 mm/sūk.
 pastūma ir aušinant);
 G00 X62.0 M09 (greitasis peilio atitraukimas, aušinimo išjungimas);
 Z2.0 (greitasis peilio atitraukimas);
 G28 (revolverinės galvutės grąžinimas į staklių nulį);
 M01 (papildomas sustojimas tam atvejui, kai kažkas ne taip);
 T0202 (pasirenkamas atpjovimo peilis);
 G00 Z-99.0 (greitasis pozicionavimas į atpjovimo vietą Z ašies kryptimi);
 X23.0 (greitasis pozicionavimas prie detalės paviršiaus X ašies kryptimi);
 G96 S200 M03 (įjungiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, palaikomas pjovimo
 200 m/min greitis);
 G01 X-1.0 F0.1 M08 (detalės atpjovimas su pastūma 0,1 mm/sūk., prieš judesį įjungiamas
 TAS siurblys);
 G00 X50.0 M09 (greitasis atpjovimo peilio atitraukimas, aušinimo išjungimas);
 G28 (revolverinės galvutės grąžinimas į staklių nulį);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į programos pradžią);

Tokia programa galima apdirbti ilgą detalę (10.29 pav.) laipsniškai, t. y. iš pradžių
 apdirbamas galas ir pirmasis laiptelis, kai strypas išsikišęs iš spyruokliuojančiosios
 įvorės (griebtuvo) tik 25 mm (plius pirmo pradinio pastūmimo ilgis). Apdirbus minė-
 tus elementus iš spyruokliuojančiosios įvorės išstumiamas visas ruošinys, apdirbamas
 antras jo laiptelis ir atpjaunama detalė. Tokiu atveju pasiekiamas didžiausias sistemos
 „staklės – įrankis – įtaisas – detalė“ standumas ir atitinkamai didžiausias apdirbimo
 tikslumas, geriausia paviršiaus kokybė.



10.29 pav. Apdirbama detalė

Prieš paleidžiant tokią programą pirmą kartą, turi būti užkrautas naujas strypas, jo galas nugabentas į pradinę poziciją *A* (10.28 pav.) ir perstumtas pradiniu atstumu *B* (10.28 pav.), kuris nurodomas makrokintamuoju #3101. Tai atliekama MDI režimu komandomis G105 Q4 ir paskui G105 Q2. Atstumas *B* ($B = E$) tokiu atveju turi užtikrinti, kad, atpjaunant detalę, nebūtų pažeista spyruokliuojančioji įvorė arba griebtuvo žiaunos, kaip parodyta 10.28 pav. Toliau, kai pakrautas strypas perstumtas pirmą kartą, atstumas *B* tampa nebereikalingas ir strypas bus perstumiamas tik atstumu *C* iki tol, kol bus apdirbtas visas strypo ilgis. Išnaudojus visą strypą (dalis, kurios negalima apdirbti (matmuo *D*, 10.28 pav.), bus tiesiog išstumta pro suklio skylę), naujas strypas bus pakrautas iš lovio, išstumtas pradiniu atstumu *B*, nurodomu makrokintamuoju #3101. Paskui bus perstumiamas tik atstumais *C*. Sistema atpažįsta, kad pakrautas naujas strypas ir jį reikia pastumti vieną kartą papildomai atstumu *B*. Toks režimas gali būti automatizuotas, kai programos pabaigoje bus naudojamas kodas M99 (grįžimas į pradžių ir programos vykdymas nuo pradžios) vietoje M30 (programos pabaiga ir grįžimas į programos pradžią).

„HAAS“ firmos tekinimo staklių valdymo sistemoje yra galimybė apriboti pagamintų iš strypų detalių skaičių, apdirbtų strypų skaičių arba bendrą strypų ilgį. Tai atliekama naudojant tuos pačius sistemos kintamuosius. Prilyginus kintamąjį #3106 (*Current Number of Parts Run*) nuliui, o kintamąjį #3103 (*Max # Parts*) reikiamam detalių skaičiui ir paleidus apdirbimo programą, kiekvieną kartą, kai programa sutiks kodą G105, kintamojo #3106 reikšmė padidės vienetu. Kai bus pasiektas apribotas kintamuoju #3103 detalių skaičius, programa sustos, vaizduoklyje atsiras pranešimas. Panašiai operuojama ir su kitais strypų parametrais.

„HAAS“ firmos Servo Bar 300 įrenginys gali būti naudingas ir apdirbant pavienius ruošinius, ne tik strypus. Strypas šiame įtaise stumdomas specialiu pirštu-stūmikliu, kurio galo padėtis gali būti valdoma programoje tiesiogiai, be G105 kodo (stūmikliui rezervuota *V* ašis, kuri pagal kryptį sutampa su staklių *Z* ašimi). Tokiu būdu šis stūmiklis gali būti naudojamas kaip pavienių, apdirbamų pagal vieną programą, ruošinių atrama (atraminė bazė), kuri užtikrins pastovią ruošinių padėtį *Z* ašies kryptimi, keičiant pagamintas detales ruošiniais. Taip užtikrinama stabili ruošinių padėtis įrankių pjovimo briaunų atžvilgiu, atpuola būtinumas kiekvieną kartą pakeitus ruošinį, derinti peilių ir kitų įrankių geometrijos kompensacijas. Programos pavyzdys MDI režimu pateiktas toliau.

(programa, kurioje strypų stūmiklis naudojamas kaip detalių atrama);

G105 Q7 (stūmiklis gražinamas į pakrovimo lovį į savo nustatytą nulinę padėtį);

G00 V-400.0 (stūmiklio galas pozicionuojamas nustatytame taške suklio viduje);

M00 (programos sustojimas ir perėjimas į kitą eilutę);

(čia pedalo paspaudimu turi būti atidaromos griebtuvo žiaunos, įstatoma iki atramos (stūmiklio galo) detalė ir užspaudžiama pedalo paspaudimu);

G00 V-390.0 (atitraukti stūmiklio galą nuo detalės paviršiaus 10 mm);

T0101 (pasirenkamas įrankis Nr. 1);

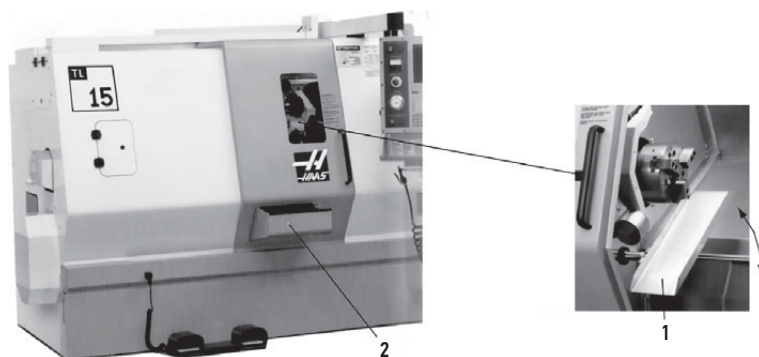
G96 S180 M03 (pastovaus pjovimo greičio režimas, paleidžiamas į priekį suklys palaikant pjovimo greitį 180 m/min);
 G00 X52.0 Z0.0 (greitasis peilio pozicionavimas);
 G01 X-2.0 F0.1 (galo tekinimas);
 G00 Z2.0 (greitasis atitraukimas);
 ...;
 ... (kitos pakopos);
 ...;
 M30;

Adresai Q po kodo G105 naudojami tik MDI režimu ir naudojami įrenginiui derinti prieš paleidžiant programą (pavyzdžiui, atraminio taško padėčiai nustatyti (10.28 pav.), naujam strypui užkrauti iš sandėliavimo lovio į pakrovimo lovį ir pan.).

10.2.4. Detalių gaudyklė

Detalių gaudyklė yra įtaisas, specialiai sukurtas nepertraukiamam darbui su strypo tiekimo įrenginiu. Dažniausiai tai nėra standartinė staklių įranga, o papildomai užsakoma. Detalių gaudyklė (10.30 pav., 1) yra specialus programa valdomas lovyς, nukreipiantis atpjautas detales į specialų krepšį, kuris įmontuotas staklių darbo zonos durelėse (10.30 pav., 2). Operatorius turi galimybę išimti detales iš staklių nestabdydamas jų ir netgi neatidaręs durelių (kurių jis ir negali atidaryti staklėms dirbant). Toks įtaisas nereikalingas apdirbant pavienes detales, nes tada vis tiek reikia keisti detales griebtuve. Tačiau dirbant su strypais galima gerokai padidinti apdirbimo našumą (mažėja pagalbinis operacijos laikas).

Detalių gaudyklė turi dvi pozicijas – ji gali būti aktyvi arba pakelta laukiant naujos atpjautos detalės (tokios pozicijos ji ir parodyta 10.30 pav.) ir nuleista į kitą kraštinę padėtį (tiesiog pasisuka pagal laikrodžio rodyklę žiūrint nuo arkliuko į griebtuvą



10.30 pav. „HAAS“ firmos CNC tekinimo staklės TL-15 su detalių gaudykle: 1 – gaudyklė (parodyta pakeltoje pozicijoje); 2 – krepšys

(10.30 pav.)), kai detalių gaudyti nereikia. Detalių gaudyklė „Fanuc“ firmos sistemoje valdoma dažniausiai kodais M73/M74 („HAAS“ firmos sistemoje M36/M37 kodais atitinkamai). Pirmasis poros kodas naudojamas gaudyklei aktyvuoti (dažniausiai programuojamas prieš atpjovimo pakopą) arba pakelti (nustatyti į padėtį, parodytą 10.30 pav.), antras – deaktyvuoti arba nuleisti.

Dirbant su detalių gaudykle reikia patikrinti, kad būdama pakeltos padėties ji nekabintų griebtuvo žiaunų ir revolverinės galvutės, o detalė atsidurtų joje užtikrintai. Todėl gaudyklės padėtis ašies Z atvilgiu gali būti reguliuojama. Tai atliekama derinant.

10.2.5. Programiškai valdomos darbo zonos durelės

Automatiškai atidaromos ir uždaromos staklių darbo zonos durelės tekinimo staklėse reikalingos tokiais pat atvejais, kaip ir frezavimo staklėse (žr. 10.1.6 skirsnį), tik tekinimo staklėse gerokai plačiau naudojami pakrovimo ir iškrovimo robotai.

Taip yra todėl, kad tekinimo staklėmis apdirbamos detalės dažniausiai panašios pagal formą (cilindro formos detalės arba nebent turinčios tokius paviršius). Šie paviršiai gerai tinka ne tik tvirtinti staklių griebtuve, bet ir detalei bazuoti roboto manipulatoriaus griebtuve. Tam nereikia turėti daug griebtuvų, tinka standartinės prizmės, skirtingai nei frezavimo staklėse, kur kiekvieno tipo ruošiniui tvirtinti gali prireikti skirtingo griebtuvo. Pakrovimo ir iškrovimo robotai gali būti gaminami staklių gamintojų ir integruoti į stakles („HAAS“ firmos modelis SL-20APL, parodytas I dalyje, 4.69 pav.) arba perkami iš kitų firmų bei montuojami prie staklių. Bet kuriuo atveju, apdirbus detalę, robotas vietoje operatoriaus išima detalę iš griebtuvo (tam jis irgi turi būti programiškai valdomas), padeda ją į numatytą vietą, paima naują ruošinį ir įstato jį į staklių griebtuvą. Prireikus robotas taip pat gali būti naudojamas detalei apversti griebtuve jos kitam galui apdirbti. Pasibaigus apdirbimo programai durelės turi būti atidaromos, o pastačius ruošinį prieš paleidžiant programą iš naujo – uždaromos. Tai įmanoma tik tada, kai staklėse yra pasirinktis „Automatinės durelės“ (*Automatic Doors* arba *Auto Doors*), kuri staklėms nėra standartinė, o užsakoma atskirai. Durelės paprastai valdomos M kodais, kurie gali labai skirtis, priklausomai nuo staklių arba valdymo sistemos gamintojo. „HAAS“ firmos tekinimo staklėse durelėms valdyti naudojami kodai M85/M86. Pirmasis kodas atidaro dureles, antrasis uždaro.

10.2.6. Pagalbinis griebtuvas

Pagalbinis griebtuvas skirtas detalėms apdirbti iš abiejų galų nepertraukiant staklių darbo detalei perstatyti ir kitai programai paleisti. Priklausomai nuo staklių gamintojų siūlomi arba specialūs modeliai su šiuo įrenginiu (pvz., „HAAS“ firmos TL-15), arba tas pats staklių modelis gali būti užsakytas be ir su pagalbiniu sukliu (pvz., „Mori Seiki“ firmos NL2000). Pagalbinis griebtuvas gerai tinka staklėms ir su strypo tiekimo įrenginiu, ir be jo. Detaliau pagalbinio griebtuvo veikimas aprašytas knygos I dalyje, čia nagrinėsime tik programos kodus, valdančius šią įrangą.

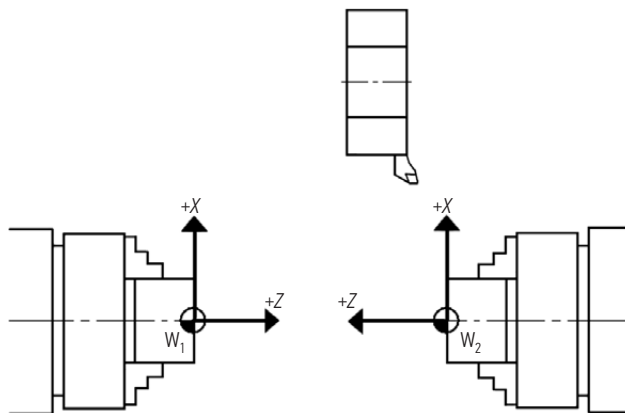
Pagalbinis suklys valdomas dažniausiai nestandartiniais M kodais. Jo programavimas skirtingų gamintojų staklėms gali labai skirtis. Čia pateiksime „HAAS“ firmos dviejų suklių tekinimo staklių TL-15 ir TL-25 programavimo pavyzdžius.

„HAAS“ valdymo sistemoje pagalbiniam sukliui valdyti naudojami tie patys kodai kaip ir pagrindiniam, tačiau, kad jie veiktų, programuojami tik po eilutės su kodu G14. Po šios komandos pagalbinis suklys tampa pagrindiniu ir visos kitos, esančios po jo komandos (M03/M04/M05, M10/M11), bus vykdomos juo tol, kol kodo G14 veikimas bus atšauktas kodu G15. Kodas G15 grąžina viską į savo vietas, t. y. pagrindinis suklys tampa pagrindiniu ir visos kitos, einančios po eilutės su G15, komandos bus vykdomos pagrindiniu sukliu ir griebtuvu. Kodai G14/G15 yra modaliniai. 0, 1 ir 9-os grupės G kodai negali būti užrašomi vienoje eilutėje su G14 ir gali būti tik kitose eilutėse.

Z ašis, kai detalė užspausta pagalbiniam griebtuvui, keičia savo kryptį, kaip parodyta 10.31 pav. Tai daroma automatiškai kodu G14. Kaip teigiamoji Z ašies kryptis taip pat lieka grąžto ištraukimo iš skylės kryptis. Tai reiškia, kad įrankių poslinkiai programuojami lygiai taip pat, kaip ir pagrindiniam griebtuvui (teigiamoji Z ašies sritis – už ruošinio galo), nepaisant to, kad pagalbinis griebtuvas yra priešingoje pusėje.

Pagalbinis griebtuvas turi ne tik sukstis, bet ir judėti su suklio galvute Z ašies kryptimi, kad perimtų detalę iš pagrindinio. Griebtuvo išilginio linijinio poslinkio ašiai priskirtas adresas B. Po jo programuojama absoliučioji griebtuvo pozicija. Pozicionuoti naudojami tie patys kodai G00 (greitasis) ir G01 (tiesinė interpoliacija).

Jau minėta, kad kai aktyvus kodas G14, suklio komandos vykdomos pagalbinio sukliu, o ne pagrindiniu. Tačiau detalė turi būti perimama pagalbinio griebtuvu dar tada, kai yra užspausta pagrindiniame griebtuvui ir dar apdirbama jame. Norint pagamintą iš strypo detalę apdirbti iš abiejų galų, reikia atpjauti ją tada, kai strypas su detale, apdirbta iš vieno galo, įtvirtinti abiejuose griebtuvuose. Atpjauta detalė liks pagalbiniam griebtuvui, o ne nukris žemyn, o kitas jos galas bus apdirbtas, kai ji užspausta tik pagalbiniam griebtuvui. Lygiai taip pat reikia perimti pavienį ruošinį iš pagrindinio,



10.31 pav. Staklių su dviem griebtuvais detalės koordinačių sistemų ašių išdėstymas

kai apdirbami pavieniai ruošiniai. Prieš perimant detalę turi būti įtvirtinta abiejuose griebtuvuose iš abiejų galų, griebtuvai turi sukstis sinchroniškai. Todėl pagalbinį griebtuvą būtina valdyti ir tada, kai detalė užspausta pagrindiniame, kai nėra aktyvus G14 režimas, o yra aktyvus G15. Tam naudojami papildomi pagalbinio griebtuvo valdymo M kodai, kurie apžvelgiami toliau.

M110/M111 kodais programuojamas detalės užspaudimas ir atleidimas pagalbiniame griebtuve, panašiai kaip kodais M10/M11 pagrindiniame griebtuve. Detalės bazavimo būdas išoriniu arba vidiniu paviršiumi įvertinamas nustatymu 122, panašiai kaip nustatymu 92 tai daroma pagrindiniam griebtuvui (žr. 10.2.1 skirsnį). M119 kodu programuojama reikalinga pagalbinio suklio kampinė pozicija, panašiai kaip tai daroma pagrindiniam sukliui kodu M19. Po kodų M119 ir M19 turi būti nurodyta kampinė pozicija po adreso P (laipsniais sveikaisiais skaičiais, pavyzdžiui, M119 P150) arba R (laipsniais ir jo dalimis, pavyzdžiui, M119 R120.35). Kodu M143 paleidžiamas sukstis pagalbinis suklys, prieš laikrodžio rodyklę (žiūrint iš pagrindinio suklio pusės). Kodu M144 suklio sukimosi kryptis keičiama į priešingą. Po adreso P nurodomi reikalingi sūkliai, pavyzdžiui, M143 P1500 arba M143 P950. M145 kodu pagalbinis suklys sustabdomas. Jeigu po šio kodo nurodytas žodis P0, pagalbinis suklys laisvai suksis guoliuose tol, kol nesustos savaime, o jeigu nebus nieko nurodyta – bus sustabdytas priverstinai stabdžiu.

Toliau pateiktas programos fragmentas, kuriame užprogramuotas detalės perėmimas iš pagrindinio griebtuvo į pagalbinį.

025663

(apdirbimo programa su detalės perėmimu);

G15 (pagrindinis suklys tampa valdomas (jeigu kodo G15 nėra, tai pasirenkama pagal nustatytuosius parametrus));

G54;

...;

...(programa ruošiniui apdirbti iš vieno galo);

...;

G28 U0.0 W0.0 (revolverinės galvutės grįžimas į staklių nulį per paskutinį tašką);

G28 B0.0 (pagalbinio griebtuvo grąžinimas į pradinę poziciją (jo nulį, arba dešiniąją kraštinę poziciją));

T0707 (įrankio Nr. 7 – atpjovimo peilio nustatymas į darbo poziciją);

G97 S800 M03 (išjungiamas pastovaus pjovimo režimas, nustatomi 800 sūk./min sūkliai, paleidžiamas sukstis į priekį pagrindinis suklys);

M111 (atsidaro pagalbinis griebtuvas);

M144 P800 (pagalbinis suklys paleidžiamas sukstis 800 sūk./min sinchroniškai su pagrindiniu);

G98 (pastūma mm per minutę);

G00 B-380.0 (greitasis pagalbinio griebtuvo priartinimas prie apdirbtos detalės, užspaustos pagrindiniame griebtuve, galo);

G01 B-400.0 F250.0 (pagalbinio griebtuvo (besisukančio vienodu greičiu su pagrindiniu) judesys su 250 mm/min pastūma);

M110 (pagalbinio griebtuvo kumštelių uždarymas);
 G04 P2.0 (pauzė, kad spėtų užsidaryti griebtuvas);
 ...;
 ... (programos dalis atpjauti ir peiliui atitraukti);
 ...;
 M11 (pagrindinio griebtuvo atidarymas);
 G04 P1.0 (pauzė, kad spėtų atsідaryti pagrindinio griebtuvo kumšteliai);
 G00 B-60.0 (greitasis pagalbinio griebtuvo judesys į apdirbti pasirinktą poziciją);
 M01 (papildomas programos sustabdymas);
 G14 (pagalbinis suklys tampa pagrindinis);
 G55 (perėjimas į kitą vartotojo koordinačių sistemą, kurioje įvertintas atstumas Z ašies kryptimi tarp detalės nulio W_1 ir W_2 , 10.31 pav.);
 T0202 (pasirenkamas dešininis tekinimo peilis – Nr. 2 revolverinėje galvutėje);
 S1800 M03 (pagalbinis suklys (galioja G14) paleidžiamas sukštis į priekį, sūkliai – 1800 sūk./min);
 ...;
 ... (antrojo galo apdirbimo fragmentas);
 ...;
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Kai detalė yra pagalbiniame griebtuve, reikia nepamiršti, kad pasikeičia detalės nulio Z koordinatė (X lieka ta pati – detalės arba suklių ašis). Padėties skirtumas dažniausiai įvertinamas G54–G59 koordinačių sistemų Z ašies kompensacijomis. Tam į Z kompensacijos stulpelį įvedamas atstumas nuo seno W_1 iki naujo W_2 nulio, išmatuotas pagal Z ašį, įvertinant atstumą tarp peilių viršūnių. Toks būdas daugiau tinka, kai naudojami dviejų peilių laikikliai, parodyti I dalyje, 4.51 pav. Peilių viršūnių padėčių skirtumas X ašies kryptimi įvertinamas X ašies kompensacijomis, geometrijos kompensacijos paliekamos tokios pačios kaip ir peiliui, naudojamam detalei apdirbti pagrindiniame griebtuve. Kai revolverinės galvutės lizde yra tik vienas peilis, galima apsieiti tik geometrijos kompensacijomis, tam peiliui turi būti nurodytos jų reikšmės iki nulio W_2 , o ne W_1 (W_2 nulio X koordinatė yra tokia pati kaip ir W_1).

Pagalbinis griebtuvas su užspaustu jame centru gali būti naudojamas ilgoms ir nestandžioms detalėms atremti, tai yra vietoje arkliuko, kurio tekinimo centrai su pagalbiniu sukliu paprastai neturi.

10.2.7. Įrankių pavara

Specialioje tekinimo staklių revolverinėje galvutėje galima tvirtinti ne tik peilius, bet ir ašinius įrankius, tokius kaip grąžtai, sriegikliai, pirštinės frezos ir pan. Tokiais įrankiais, sukamais atskira pavara ir įtvirtintais specialiuose laikikliuose savo ašimis lygiagrečiai su X (radialinė orientacija) arba Z (ašinė orientacija) ašimis, galima apdirbti skyles, kurių ašys yra lygiagrečios arba statmenos detalės ašiai, frezuoti pleištinis ir kitokius griovelius, esančius išoriniame cilindriname arba galiniame detalės pavir-

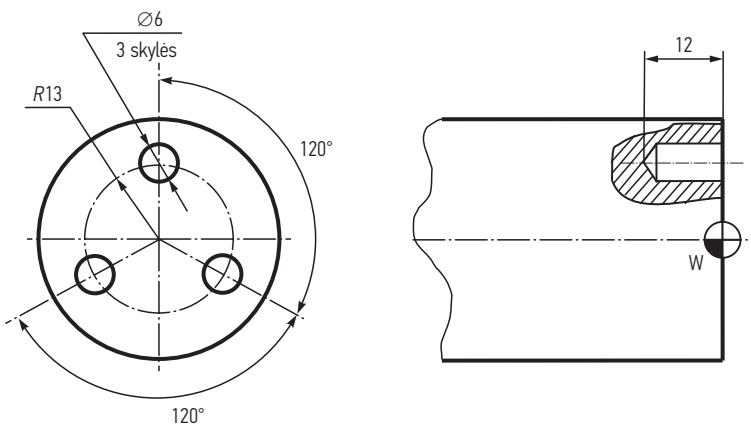
šiuose ir pan. Tokiomis staklėmis atliekamos operacijos ir technologinės galimybės detaliau aprašytos knygos I dalyje 5 skyriuje. Priklausomai nuo gamintojo, staklės gali turėti įrankių pavarą (*Live Tooling*) papildomai, už atskirą kainą arba gali būti siūlomi tik tam tikri modeliai su šia įranga. Tekinimo centruose su įrankių pavara yra mažiausiai trys valdomos ašys (Z , X ir C – sukimosi ašis apie Z ašį). Tokiu atveju galima mažiausiai išnaudoti jų technologines galimybes.

Operacijų, atliekamų besisukančiais įrankiais, metu pagrindinis (arba pagalbinis) suklys stovi vietoje užspaustas hidrauliniu stabdžiu (pavyzdžiui, gręžiant skylę) arba jam suteikiama apskritiminė pastūma (pavyzdžiui, frezuojant žiedinius griovelius galiniame paviršiuje).

Besisukančių įrankių poslinkiai staklių koordinatų erdvėje valdomi lygiai taip pat kaip ir stacionariai užtvirtintų, taip pat jie ir derinami. Jie turi tik vieną savybę, išskiriančią juos nuo kitų, – jie sukasi apie savo ašį. Sukimosi dažnis ir kryptis valdomi programos kodais, dažniausiai M kodais. Šie kodai yra labai skirtingi, jie priklauso nuo staklių ir valdymo sistemų gamintojo. Panagrinėsime „HAAS“ firmos valdymo sistemoje naudojamus kodus.

„HAAS“ firmos sistemoje įrankių pavarai valdyti naudojami trys M kodai: $M133/M134/M135$. $M133$ kodas naudojamas valdymo programoje kodu $T...$ pasirinktam įrankiui suteikti sukimosi judesį į priekį (pagal laikrodžio rodyklę žiūrint iš staklių arkliuko pusės), $M134$ – atgal, o kodu $M135$ įrankio variklis sustabdomas. Po kodų $M133$ ir $M134$ adresu P nurodomi įrankio sūčiai (sūk./min), pvz., $M133 P1500$ (didžiausieji įrankio sūčiai „HAAS“ firmos staklėse yra 3000 sūk./min). Be to, dirbant su besisukančiais įrankiais, reikia žinoti dar keletą papildomų kodų, pavyzdžiui, sukliui užspausti ir pan. Panagrinėsime keletą programų pavyzdžių.

Pavyzdžiui, reikia išgręžti tris skylės, išdėstytas apskritimu vienodu atstumu viena nuo kitos galiniame detalės paviršiuje (10.32 pav.). Tokios detalės apdirbimo programos pavyzdys pateiktas toliau.



10.32 pav. Detalė, kurios skylės apdirbamos tekinimo centru su įrankių pavara

066498

(trijų skylių gręžimas);

N1 G21 G28 M154 (metriniai vienetai, revolverinė galvutė atitraukiama į staklių nulį, C ašies variklis sujungiamas su sukliu);

N2 T0101 (pasirenkamas įrankis Nr. 1 revolverinėje galvutėje – spiralinis grąžtas);

N3 M133 P1000 (grąžtui suteikiamas sukimosi apie savo ašį judesys 1000 sūk./min greičiu);

N4 G00 C0.0 (suklys pagreitintai pasisuka apie savo ašį į nulio padėtį);

N5 Z3.0 (greitasis grąžto pozicionavimas pagal Z ašį prie detalės galo);

N6 X26.0 (greitasis grąžto pozicionavimas prie pirmos skylės centro X ašies kryptimi);

N7 G98 (pastūma nurodoma mm/min);

N8 M14 (įjungiamas pagrindinio suklio stabdys);

N9 G04 P1.0 (1 s pauzė, kad spėtų įsijungti stabdys);

N10 G01 Z-12.0 F120.0 M08 (pirmos skylės gręžimas 12 mm gyliu su 120 mm/min pastūma, prieš judesį į pjovimo zoną pradedamas tiekti TAS);

N11 G00 Z3.0 (pagreitintas grąžto ištraukimas iš skylės į saugią poziciją);

N12 C120.0 (pagrindinio suklio pagreitintas pasukimas 120° kampu pradinės padėties atžvilgiu (nuo nulio), stabdys bus atleistas automatiškai);

N13 M14 (įjungiamas pagrindinio suklio stabdys);

N14 G04 P1.0 (1 sekundės pauzė, reikalinga stabdžiui užspausti);

N15 G01 Z-12.0 (antros skylės gręžimas 12 mm gyliu su 120 mm/min pastūma);

N16 G00 Z3.0 (pagreitintas grąžto ištraukimas iš skylės į saugią poziciją);

N17 C240.0 (pagrindinio suklio pasukimas 240° kampu pradinės padėties atžvilgiu (nuo nulio) arba 120° esamos padėties atžvilgiu, stabdys bus atleistas automatiškai);

N18 M14 (įjungiamas pagrindinio suklio stabdys);

N19 G04 P1.0 (1 sekundės pauzė stabdžiui užspausti);

N20 G01 Z-12.0 (paskutinės skylės gręžimas 12 mm gyliu su 120 mm/min pastūma);

N20 G00 Z3.0 M09 (pagreitintas grąžto ištraukimas iš skylės į saugią poziciją, TAS tiekimo nutraukimas);

N21 M15 (pagrindinio suklio stabdžio atleidimas);

N22 M155 (atjungiamas nuo suklio C ašies variklis);

N23 G28 U0.0 (revolverinės galvutės grąžinimas į staklių nulį pagal X ašį);

N24 G28 W0.0 (revolverinės galvutės grąžinimas į staklių nulį pagal Z ašį);

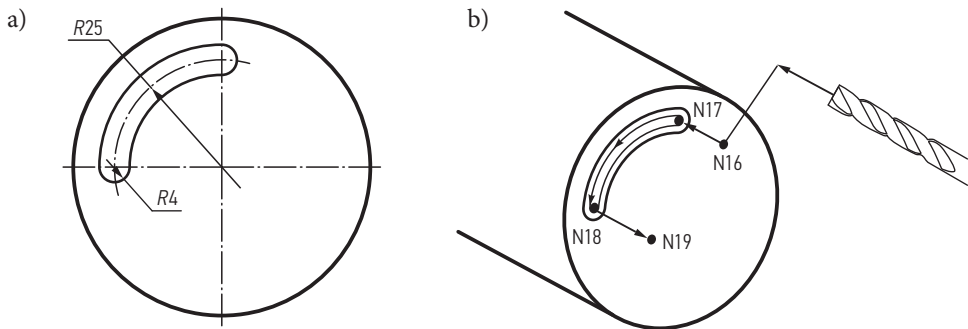
N25 M30 (programos pabaiga ir grąžinimas į pradžią);

Vietoje absoliutinės kampinės C ašies koordinatės N12 arba N17 eilutėje gali būti užprogramuotas prieaugis nuo paskutinės padėties. Tokiu atveju nurodomas adresas H, po kurio nurodomas prieaugis, pvz., G00 H120. Teigiamoji C ašies kryptis – pagal laikrodžio rodyklę, žiūrint į griebtuvą iš arkiuko pusės arba pagal dešinėsios rankos taisyklę, įsivaizduojant, kad ašies kryptimi juda įrankis, o ne detalė.

Kodais M154/M155 sujungiamas su sukliu arba atjungiamas nuo jo C ašies variklis, t. y. nuo jų priklauso, ar bus vykdomos C ašies komandos, ar ne. Tai visiškai atskiras elektros variklis, kurio nereikėtų painioti su varikliu, suteikiančiu sukimosi judesį pagrindiniam sukliui. Jis taip pat gali pasukti sukli per diržinę pavarą reikiamu

kampu, valdomas kodu M19 P... (žr. 3.3.5 skirsnį), tačiau ne taip tiksliai, kaip atskiras. Komandos G00 C... arba G01 C... nebus vykdomos staklėse, kuriose nėra atskiro C ašies variklio.

Kitame pavyzdyje parašysime programą grioveliiui (10.33 pav.), išdėstytam viename apskritimo kvadrante (lanko kampas 90°) frezuoti. Sakykime, griovelio gylis – 5 mm, prieš frezuojant išgręžiama skylė, reikalinga frezos darbiniam Z gyliui pasiekti (teglu frezuoti bus naudojama necentrinio pjovimo freza (I dalis, 6.3.3 skirsnis)).



10.33 pav. Griovelis detalės galiniame paviršiuje (a) ir jo frezavimo schema (b): N16–N19 – programos eilutės, kuriose užprogramuoti schemeje parodyti judesiai

066458

(griovelio frezavimas tekinimo centru su įrankių pavara);

N1 G21 G28 (metriniai vienetai, revolverinė galvutė atitraukiama į staklių nulį);

N2 M154 (sujungiamas su sukliu C ašies variklis);

N3 T0101 (pasirenkamas įrankis Nr. 1 revolverinėje galvutėje – spiralinis grąžtas, kurio skersmuo šiek tiek mažesnis arba lygus griovelio pločiui);

N4 M133 P900 (grąžtui suteikiamas sukimosi judesys apie jo ašį, sukiai – 900 suk./min);

N5 G00 Z5.0 (greitasis grąžto judesys prie detalės galo pagal Z ašį);

N6 X50.0 (greitasis grąžto judesys pagal X ašį prie skylės centro);

N6 C0.0 (suklys pagreitinatai orientuojamas pradinėje kampinėje padėtyje – savo nulyje);

N7 M14 (ijungiamas pagrindinio suklio stabdys);

N8 G04 P1.0 (pauzė stabdžiui užspausti);

N9 G98 G01 Z-4.8 F80.0 M08 (skylės frezai gręžimas 4,8 mm gyliu su 80 mm/min pastūma, įjungiamas TAS siurblys);

N10 G00 Z5.0 M09 (greitasis grąžto ištraukimas iš skylės į saugią poziciją, išjungiamas TAS siurblys);

N11 M135 (sustabdomas grąžto suklys);

N12 X150.0 Z200.0 (greitasis revolverinės galvutės pozicionavimas pasukimo vietoje);

N13 T0202 (pasirenkamas įrankis Nr. 2 galvutėje – pirštinė freza, kurios skersmuo lygus griovelio pločiui);

- N14 M15 (suklio stabdžio atleidimas);
 N15 M133 P1200 (frezai suteikiamas sukimosi judesys apie jos ašį, sūčiai – 1200 sūk./min);
 N16 G00 X50.0 Z5.0 (greitasis frezos judesys į pradinį tašką (žr. 10.33 pav.));
 N17 G01 Z-5.0 F75.0 M08 (frezos tiesinės interpoliacijos judesys į prieš tai išgręžtą skylę iki griovelio dugno su 75 mm/min pastūma, prieš judesį įjungiamas TAS siurblys);
 N18 G01 C90.0 F100.0 (griovelio frezavimas su 100 mm/min pastūma, pastūma suteikiama sukliui, t. y. pagal ašį C. Jos greičiui nustatyti naudojamas nustatymas 102 – C Axis Diameter, kuriam turi būti priskirta 50 mm reikšmė);
 N19 Z5.0 M09 (frezos ištraukimas su darbine pastūma į saugią poziciją, TAS siurblio išjungimas);
 N20 M135 (frezos variklio sustabdymas);
 N21 M155 (C ašies variklio atjungimas);
 N22 G28 X100.0 Z5.0 (revolverinės galvutės grąžinimas į staklių nulį per įrankio tašką X100 Z5);
 N23 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Vykdamant pastūmos judesį C ašies kryptimi sistemai nepakanka N18 eilutėje pateiktos informacijos. Ji negalės atlikti judesio nurodytu pastūmos greičiu (mūsų atveju – 100 mm/min). Norint atlikti šį judesį, sistema turi suteikti tam tikro greičio sukimosi judesį pagrindiniam sukliui, kuriame užspausta detalė. Šiam greičiui nustatyti turi būti žinomas apdirbimo skersmuo, kuris ir nurodomas nustatymu 102. Kad būtų užtikrintas 100 mm/min frezos ašies pastūmos greitis, C ašies variklis turi sukstis (žr. 4.3 formulę):

$$n = \frac{s}{\pi D} = \frac{100}{3,14 \cdot 50} = 0,637 \text{ sūk./min}$$

greičiu, kol pasisuks 90° kampu. C ašies variklis suteikia pastūmas šios ašies kryptimi nuo 0,01 iki 60 sūk./min. Staklių be C ašies variklio kodu M19 P... galima tik pagreitinti pozicionuoti sukliį į reikiamą kampinę padėtį, tačiau negalima suteikti pastūmos judesio.

Programoje pastūmos judesiui C ašies kryptimi atlikti galima naudoti ir nedomalinį kodą G05. Šis kodas (tikslus suklio judesys) nustato C ašies variklio sūčių reikšmę priklausomai nuo įrankio atraminio taško padėties X ašies atžvilgiu. Tokiu būdu nėra tikslo keisti sistemos nustatymų ir nurodyti skersmens. Sistema pati atliks reikalingus skaičiavimus pagal didžiausią užprogramuotą eilutėje įrankio X koordinatę. Ypač tikslinga naudoti šį kodą tada, kai judesį C ašies atžvilgiu metu dar reikia gauti poslinkius X ašies kryptimi. Tokiu atveju naudodami G01 C... komandą ir nurodę vieną apdirbimo skersmenį nustatymu 102 mes negalėsime užtikrinti pastovios užprogramuotos pastūmos reikšmės, nes įrankio ašies apskritiminių greitis (pastūma) priklauso nuo įrankio padėties X ašies atžvilgiu, o ši padėtis vykstant eigoms kinta. Jeigu įrankio ašis yra X50 taške, suklio greitis, kad būtų užtikrinta 100 mm/min pastūma, apskaičiuotas pagal 4.3 formulę, sudaro 0,637 sūk./min, jeigu įrankio ašis yra X100, taške suklio greitis turi būti 0,318 sūk./min ir t. t. Nurodžius nustatymu 50 mm skersmenį, suklys suksis 0,637 sūk./min greičiu visą laiką. Tai reiškia, kad kai įrankio ašis yra taške X50, pastūmos greitis sudarys 100 mm/min, o jeigu ji bus taške X100, tikrasis pastūmos greitis sudarys jau 200 mm/min.

Kodo G05 formatas yra toks:

G05 R... X... (arba U...) Z... (arba W...) F...;

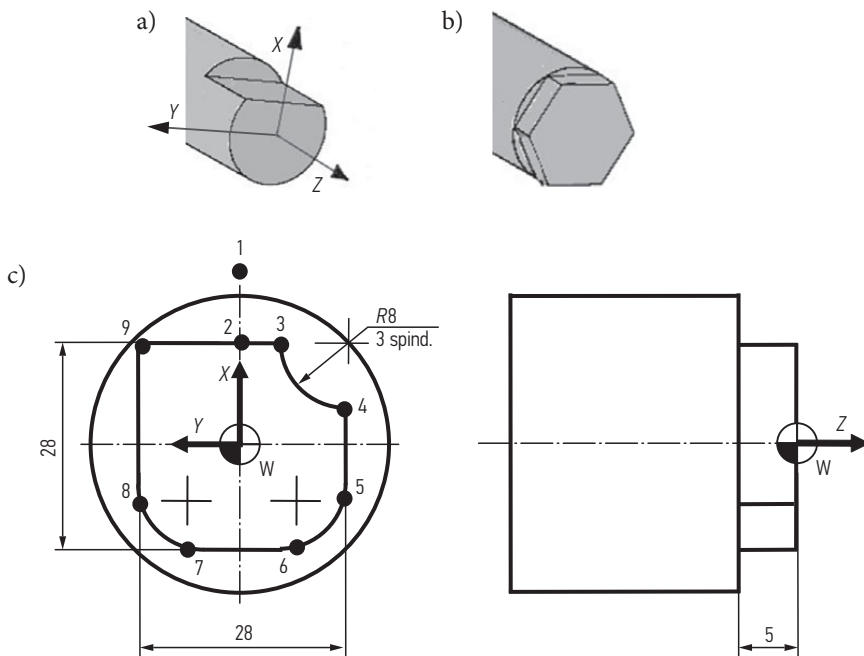
čia: adresas R naudojamas C ašies pasukimo kampui užprogramuoti, laipsniais; X – galinio eigos taško X absoliučioji koordinatė; Z – galinio eigos taško Z absoliučioji koordinatė; U – X ašies prieaugis iki galinio eigos taško; W – Z ašies prieaugis iki galinio eigos taško; F – pastūma, mm/min.

Duotuoju atveju eilutė N18 atrodytų taip:

N18 G05 R90.0 F100.0;

Šiuo atveju nieko baisaus neįvyktų, jeigu paliktume programą O66458 tokią, kokia ji yra, nes jokio judesio X ašies kryptimi pasukant sukli nėra.

Pateiktuose programų pavyzdžiuose detalėms apdirbti buvo programuojami judesiai pagal X, Z ir C valdomas ašis ir to visiškai pakako joms apdirbti. Sudėtingiau yra, kai reikia apdirbti paviršius, išdėstytus išilgai koordinatinių sistemos Y ašies, kaip parodyta 10.34 pav. Jeigu tekinimo staklėse yra galimybė valdyti įrankių poslinkius Y ašies kryptimi (žr. I dalį), rūpesčių paprastai nekyla. Tačiau tokiu atveju staklėse turi būti papildomas šios ašies servovariklis (ir, aišku, kreipiamosios ir pan.). Tai labai padidina staklių kainą. Ne visų gamintojų ir ne visose to paties gamintojo staklėse yra tokia galimybė („HAAS“ firma tik 2010 m. pradėjo gaminti tekinimo centrus su valdoma Y ašimi).



10.34 pav. Detalės, kurių nuopjovoms frezuoti reikėtų valdyti ir Y ašį

Tokiu atveju poslinkis Y ašies kryptimi pakeičiamas atitinkamu poslinkiu X ašies kryptimi ir kartu suklio posūkiu C ašies kryptimi, t. y. dirbama polinėse koordinatėse, atstumas – pasukimo kampas. Tokius judesius programuoti būtų labai sunku, jeigu nebūtų vidinių ciklų (detalėms, pavaizduotoms 10.34 pav., a ir b, apdirbti „HAAS“ firmos trijų ašių tekinimo centrais galima naudoti vidinį ciklą G77, žr. 11.3.3 skirsnį) arba specialiosios koordinačių transformavimo funkcijos G112, kurią trumpai apžvelgsime dabar. Be šios funkcijos negalima būtų apdirbti detalės, pavaizduotos 10.34 pav., c, vidinis ciklas G77 čia nieko padėti negali.

Kodas G112 keičia užprogramuotas X ir Y koordinates į X ir C koordinates. Šis kodas galioja tik tada, kai yra aktyvus G17 (XY darbo plokštumos pasirinkimas) kodas. Tokiu būdu operatorius arba programuotojas programoje nurodo X ir Y kontūro koordinates (pvz., kontūro, pavaizduoto 10.34 pav., c) lygiai taip pat kaip ir dirbant frezavimo staklėmis, nors tekinimo staklėse nėra valdomos Y ašies. Toliau nurodo kodą G112, visa kita atlieka jau valdymo sistema. Pavyzdžiui, sudarysime valdymo programą detalei, pavaizduotai 10.34 pav., c, apdirbti.

O01034

(XY koordinačių transformavimas į ZC);

G54 G18 (darbo koordinačių sistema G54, pasirenkama „standartinė“ tekinimo plokštuma G18 (ZX));

...;

... (programos fragmentas ruošiniui tekinti);

...;

T0101 (pasirenkamas įrankis Nr. 1 – 8 mm skersmens pirštinė freza);

G17 (pasirenkama plokštuma XY);

G112 (XY koordinačių transformavimo į XC koordinates režimas);

M154 (C ašies variklis sujungiamas su sukliu);

G00 Z3.0 (greitasis pozicionavimas taške Z3);

X25.0 (greitasis frezos pozicionavimas virš frezuojamo kontūro pradinio taško 2 taške 1);

M133 P1000 (freza pradeda suktis apie savo ašį 1000 sūk./min greičiu);

G98 G01 Z-5.0 F100.0 M08 (pastūma nurodoma mm/min, freza įsipjauna į metalą su 100 mm/min pastūma 5 mm gyliu detalės ašies kryptimi, į apdirbimo zoną tiekiamas TAS);

G41 X14.0 (judesys į tašką 2 pakeliui pritaikant spindulio kompensaciją kontūro kairėje iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės);

Y-6.0 (kontūras frezuojamas iki taško 3 su 100 mm/min pastūma);

G03 X6.0 Y-14.0 R8.0 (kontūras frezuojamas iki taško 4 su 100 mm/min pastūma);

G01 X-6.0 (kontūro frezavimas tiesinės interpoliacijos judesiu iki taško 5, pastūma ta pati);

G02 X-14.0 Y-6.0 R8.0 (kontūro frezavimas apskritiminės interpoliacijos judesiu iki taško 6);

G01 Y6.0 (kontūro frezavimas tiesinės interpoliacijos judesiu iki taško 7, pastūma ta pati);

G02 X-6.0 Y14.0 R8.0 (kontūro frezavimas apskritiminės interpoliacijos judesiu iki taško 8);

G01 X14.0 (kontūro frezavimas tiesinės interpoliacijos judesiu iki taško 9, pastūma – 100 mm/min);

Y-1.0 (kontūro frezavimas tiesinės interpoliacijos judesiu 1 mm už taško 2, pastūma ta pati);

G40 X25.0 M09 (įrankio atitraukimas į tašką 1, judant iki jo atšaukiama spindulio kompensacija, eigos pabaigoje nutraukiamas TAS tiekimas);
 G113 (išjungiamas XY koordinacijų transformavimo į XC koordinatės režimas);
 G18 (pasirenkama „standartinė“ tekinimo plokštuma ZX);
 M155 (C ašies variklis atjungimas);
 M135 (išjungiamas įrankio variklis);
 G28 U0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį pagal X ašį per įrankio buvimo tašką);
 G28 W0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį pagal ašį Z per įrankio buvimo tašką);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Frezuojant išorinius ir vidinius kontūrus tekinimo staklėmis taip pat leidžiama taisyti frezos spindulio kompensacijas G41/G42/G40, panašiai kaip ir frezavimo staklėse. Spindulio reikšmė turi būti įvesta įrankio eilutėje *Radius* stulpelyje.

10.2.8. Sriegio tekinimas

Išorinis ir vidinis sriegis CNC tekinimo staklėmis peiliu gali būti sriegiamas naudojant kodą G32. Paminėtina, kad kodas G32 yra seniausias sriegio tekinimo kodas (vėliau atsirado vidiniai ciklai G92 ir G76) ir šiuo metu beveik nenaudojamas, teikiant pirmenybę vidiniam ciklui G76 arba blogiausiu atveju – ciklui G92 (šie ciklai bus apžvelgti kitame skyriuje tarp kitų staklių vidinių ciklų). Nepaisant to, kodas G32 taip pat paliekamas šiuolaikinių tekinimo staklių valdymo sistemose (kai kurie gamintojai naudoja G33 vietoj G32, „Fanuc“ ir „HAAS“ firmos naudoja G32). Gamintojai palieka jį tam, kad galima būtų paleisti programas, parengtas senos laidos programinio valdymo staklėmis.

Šis modalinis kodas iš esmės atlieka tą patį darbą kaip ir G01, jis netgi ir priklauso tai pačiai judesio kodų grupei 01. Tačiau yra vienas skirtumas. Žinoma, kad sriegis negali būti įpjautas per vieną įrankio eigą ir pjaunamas per kelias eigas (jų skaičius priklauso nuo sriegio žingsnio, tikslumo ir kitų parametrų). Atlikus eigą išilgai sriegiamo paviršiaus sudaromosios peilis grąžinamas į pradinę padėtį, įsigilina ir atlieka kitą eigą. Tai kartojasi tol, kol bus pasiektas sriegio profilio gylis. Kodas G32 negrąžina įrankio į pradinę padėtį kaip vidiniai ciklai G92 ir G76, todėl kyla klausimas – kam naudoti jį, o ne G01 eigoms atlikti. Atsakymas paprastas – kai naudojamas kodas G32, įrankio išilginė pastūma tiksliai sinchronizuojama su ruošinio sukimosi judesiu, ši sinchronizacija išlieka vėliau, kitose eilutėse su kodu G32. Vadinasi, visų įrankio nusekliųjų eigų viršūnių trajektorijos sutaps, tik artės prie detalės ašies pagal X ašį (sutaps aišku ne visiškai, o tik tam tikru tikslumu, priklausomai nuo staklių tikslumo), bus gautas kokybiškas sriegis. Tokio sutapimo negalėsime gauti naudodami G01 kodą.

Kodas G32 turi labai panašų į kodo G01 formatą:

G32 X... Z... F...;

čia: X – judesio galinio taško X koordinatė (kūginiam sriegiui); Z – judesio (sriegio) galinio taško Z koordinatė; F – pastūma, mm/sūk. arba colių/sūk. (turi būti lygi sriegio žingsniui).

„HAAS“ firmos valdymo sistemose kodas G32 naudojamas tokiu formatu:

G32 X... (U...) Z... (W...) Q... F...;

čia: X – judesio galinio taško X koordinatė (kūginiam sriegiui); U – tas pat tik prieaugiais; Z – judesio (sriegio) galinio taško Z koordinatė; W – tas pats tik prieaugiais; Q – sriegio pradžios kampinė koordinatė, pjaunant daugiapradį sriegį staklėmis su valdoma C ašimi (gali būti nuo 0 iki 360°. Kampas programuojamas be taško, t. y. 35° kampas programuojamas kaip Q35000, 180° kampas programuojamas kaip Q180000, 180,321° kampas programuojamas kaip Q180321).

Kodo G32 veikimą atšaukia kitas judesio 01 grupės kodas – G00, G01, G02/G03 ir pan.

Programos su G32 pavyzdys

Įpjauti cilindrinį metrinį sriegį M18×2, naudojant kodą G32. Sriegio ilgis – 25 mm (10.35 pav.). Sriegį įpjausime per 5 peilio eigas.

O32182

(cilindrinis sriegis M18×2);

G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

T0101 (parenkamas įrankis Nr. 1 – sriegimo peilis);

G97 S550 M03 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklio sūkiai – 550 sūk./min, suklys pradeda sukstis į priekį);

G00 X20.0 Z5.0 M08 (greitasis peilio pozicionavimas pradinėje pozicijoje už ruošinio galo, įjungiamas TAS siurblys);

X17.4 (greitasis pozicionavimas pirmosios eigos gylyje);

G32 Z-25.0 F2.0 (pirmoji eiga, kurios metu įpjauamas 17,4 mm skersmens sriegis, pastūma – 2 mm/sūk.);

G00 X20.0 (greitasis peilio atitraukimas nuo apdirbto paviršiaus pagal X ašį);

Z5.0 (greitasis peilio atitraukimas į pradinį tašką pagal Z ašį);

X17.0 (greitasis peilio pozicionavimas antrosios eigos gylyje);

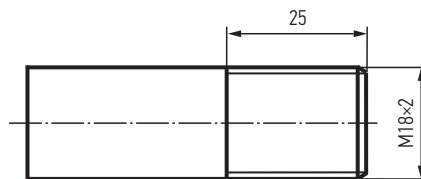
G32 Z-25.0 (antroji eiga, kurios metu įpjauamas 17,0 mm skersmens sriegis);

G00 X20.0 (greitasis peilio atitraukimas nuo apdirbto paviršiaus pagal X ašį);

Z5.0 (greitasis peilio atitraukimas į pradinį tašką pagal Z ašį);

X16.7 (greitasis peilio pozicionavimas trečiosios eigos gylyje);

G32 Z-25.0 (trečioji eiga, kurios metu įpjauamas 16,7 mm skersmens sriegis);



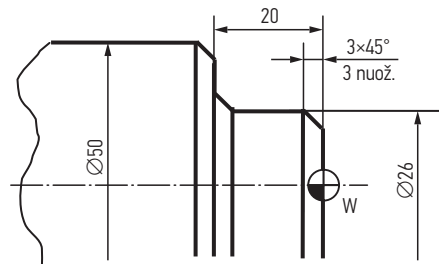
10.35 pav. Cilindrinio metrinio sriegio tekimas

G00 X20.0 (greitasis peilio atitraukimas nuo apdirbto paviršiaus pagal X ašį);
 Z5.0 (greitasis peilio atitraukimas į pradinį tašką pagal Z ašį);
 X16.6 (greitasis peilio pozicionavimas ketvirtosios eigos gylyje);
 G32 Z-25.0 (ketvirtoji eiga, kurios metu įpjauamas 16,6 mm skersmens sriegis);
 G00 X20.0 (greitasis atitraukimas nuo apdirbto paviršiaus pagal X ašį);
 Z5.0 (greitasis atitraukimas į pradinį tašką pagal Z ašį);
 X16.584 (greitasis pozicionavimas paskutinės eigos gylyje);
 G32 Z-25.0 (paskutinė eiga, kurios metu bus galutinai įpjautas visas sriegio profilis);
 G00 X20.0 (greitasis peilio atitraukimas nuo apdirbto paviršiaus pagal X ašį);
 Z5.0 M09 (greitasis peilio atitraukimas į pradinį tašką pagal Z ašį, TAS siurblio išjungimas);
 X100.0 Z80.0 (greitasis įrankio atitraukimas į keitimo poziciją);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Naudojant G32 kodą reikia skaičiuoti tarpinių taškų koordinates, be to, reikia grąžinti įrankį į pradinę padėtį kodu G00. Naudojant šį kodą negalima automatiškai gauti nuožulnos sriegimo eigos pabaigoje. Todėl kur kas patogiau naudoti vidinius ciklus G76 arba G92, kuriems 11 skyriuje skirsime daugiau dėmesio.

10.2.9. Automatinis nuožulnų nuėmimas ir kampų suapvalinimas

Kaip ir frezavimo staklėse, CNC tekinimo staklėse ne visada būtina programuoti atskirą įrankio judesį, norint nuimti nuožulną arba suapvalinti profilio kampą spinduliui. Jeigu nuožulnos kampas su Z arba X ašimi sudaro 45° kampą, ją nupjauti galima užprogramuotos tiesinės interpoliacijos eigos G01 pabaigoje. Tai įmanoma, jeigu „HAAS“ firmos tekinimo staklių programoje eilutėje su G01 nurodomas adresas ,C. Po adreso nurodomas teigiamas nuožulnos dydis, išmatuotas lygiagrečiai su ašimi (bet kurios iš dviejų, nes kampas 45°). Tokia detalė parodyta 10.36 pav. Po paveikslu pateiktas jos apdirbimo programos fragmentas. Be nuožulnos kampo reikalavimo, turime patenkinti dar kai kuriuos reikalavimus. Po eilutės su adresu ,C turi būti kita tiesinės interpoliacijos judesio eilutė. Abiejose eilutėse turi būti užprogramuoti skirtingų ašių tiesinės interpoliacijos judesiai ir tik pagal vieną ašį. Jeigu pradinėje eilutėje užprogramuotas judesys ašies Z kryptimi, kitoje eilutėje turi būti judesys ašies X kryptimi ir pan. Judesys eilutėje, kurioje nurodytas adresas ,C, turi būti ne į tašką, kur prasideda nuožulna, o į tašką, kuriame susikerta profilio tęsiniai. Programuojama taip, lyg nuožulna yra nepjaunama, o atliekamas tiesinės interpoliacijos judesys į tam tikrą tašką, nepaisant to, kad įrankis, valdomas ,C adresu, į tą tašką nepateks, o pasuks nepasiekęs jo nurodytu nuožulnos dydžiu.



10.36 pav. Laiptuotas velenas su nuožulnomis

...;

G00 Z3.0 (greitasis judesys į tašką Z3);

X0.0 (greitasis judesys X ašies kryptimi į tašką X0);

G01 G42 Z0.0 F0.15 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką Z0 su 0,15 mm/sūk. pastūma, pakeliui pritaikoma spindulio kompensacija kontūro dešinėje, įjungiamas TAS siurblys);

X26.0 ,C3.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką X26, eigos gale nupjaunama 3 mm nuožulna);

Z-20.0 ,C3.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką Z-20, eigos gale nupjaunama 3 mm nuožulna);

X50.0 ,C3.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką X50, prieš jį eigos gale nupjaunama 3 mm nuožulna);

...;

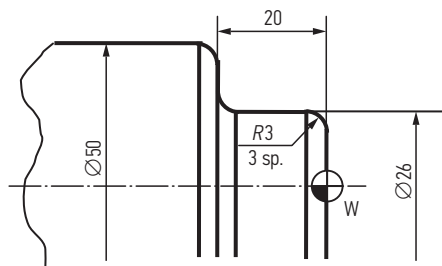
Vietoje adreso ,C galima naudoti adresus I ir K. Pirmasis iš jų naudojamas, kai judesio kryptis keičiasi iš Z į X, o K – kai iš X į Z. Kitaip tariant, jei eilutėje, kurioje užprogramuota Z koordinatė, eigos gale reikia nupjauti nuožulną, naudosisime adresą I, jeigu užprogramuota X koordinatė – K. Nuožulnos dydžiai, nurodyti po I ir K, turi būti nurodyti su ženklais, priklausomai nuo to, kokia ašies kryptimi, teigiamąja ar neigiamąja, pjaunama nuožulna. Detalės (10.36 pav.) apdirbimo programos fragmentas su adresais I ir K atrodytų taip:

X26.0 K-3.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką X26, eigos gale nupjaunama 3 mm nuožulna neigiamąja Z ašies kryptimi);

Z-20.0 I3.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką Z-20, prieš jį eigos gale nupjaunama 3 mm nuožulna teigiamąja X ašies kryptimi);

X50.0 K-3.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką X50, prieš jį eigos gale nupjaunama 3 mm nuožulna neigiamąja Z ašies kryptimi);

Jeigu eigos gale nereikia pjauti nuožulnos, o reikia suapvalinti profilio kampą spinduliu, galima apsieiti be kodų G02/G03, vien tik su G01. Tam „HAAS“ firmos valdymo sistemoje naudojamas adresas R, po kurio nurodoma spindulio reikšmė. Naudojant šį adresą spinduliu galima pjauti apskritimo lankus, esančius tik viename apskritimo kvadrante, kai lanko centrinis kampas lygus 90°. Spindulio ženklas nustatomas panašiai kaip ir pjaunant nuožulną. Jeigu judant pagal vieną ašį ir pjaunant eigos gale suapvalinimą, eigos kryptis pasikeičia į teigiamąją kitos ašies kryptį, spindulio ženklas yra teigiamasis, kitaip – neigiamasis. Tai galima matyti iš toliau pateikto programos fragmento 10.37 pav. parodytai detalei apdirbti. Ši detalė nuo pateiktos 10.36 pav.



10.37 pav. Laiptuotas velenas su suapvalinimais

skiriasi tik tuo, kad joje vietoje nuožulnų yra suapvalinimai, todėl pateiksime tik tris eilutes, kurios skiriasi nuo prieš tai nagrinėto fragmento.

...;

X26.0 R-3.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką X26, eigos gale nupjauti 3 mm spindulio suapvalinimą neigiamą Z ašies kryptimi);

Z-20.0 R3.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką Z-20, eigos gale nupjauti 3 mm spindulio suapvalinimą teigiamą X ašies kryptimi);

X50.0 R-3.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką X50, eigos gale nupjauti 3 mm spindulio suapvalinimą neigiamą Z ašies kryptimi);

...;

Pateiktos nuožulnų pjovimo taisyklės galioja taip pat ir suapvalinimams. Čia abi trajektorijos prieš ir po suapvalinimo turi būti tarpusavyje statmenos. Kiekviena trajektorija turi būti užprogramuota tik pagal vieną iš tarpusavyje statmenų ašių (X arba Z).

Be adreso R spindulys gali būti nurodytas ir adresu ,R, šiuo atveju ženklas visada turi būti teigiamas. Tada programos fragmentas atrodys taip:

...;

X26.0 ,R3.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką X26, eigos gale nupjauti 3 mm spindulio suapvalinimą);

Z-20.0 ,R3.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką Z-20, eigos gale nupjauti 3 mm spindulio suapvalinimą);

X50.0 ,R3.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką X50, eigos gale nupjauti 3 mm spindulio suapvalinimą);

...;

„HAAS“ firmos CNC tekinimo staklėmis galima pjauti ne tik 45° nuožulnas nurodant tik vieną koordinatę eilutėje su kodu G01. Nuožulnoms (ir ne tik joms) pjauti kartu su kodu G01 galima naudoti adresą A, po kurio nurodomas teigiamas kampas, atskaitomas nuo teigiamosios Z ašies krypties prieš laikrodžio rodyklę arba neigiamas kampas, atskaitomas nuo neigiamosios Z ašies krypties pagal laikrodžio rodyklę. Formatas yra toks:

G01 X... A...;

Arba

G01 Z... A...;

čia: X ir Z – judesio galinio taško koordinatėms adresai; A – kampo adresas.

Eilutėje nurodoma tik viena koordinatė – X arba Z. Prieš vykdant eilutę, įrankis turi būti nuožulnos pradžios taške (pvz., taške 1, 10.38 pav.). Eilutėje G01 X(Z)... A... nurodoma viena galinio judesio taško koordinatė (taško 2), antra koordinatė bus apskaičiuota įvertinant kampo dydį, kaip ir parodyta 10.38 pav. Tokiam atvejui programos eilutės atrodys taip:

...;

G01 Z-25.0 F0.15 (tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką 1);

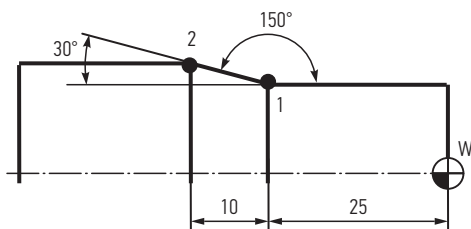
Z-35.0 A150.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Z ir X ašių kryptimi su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką 2);

Z-...;

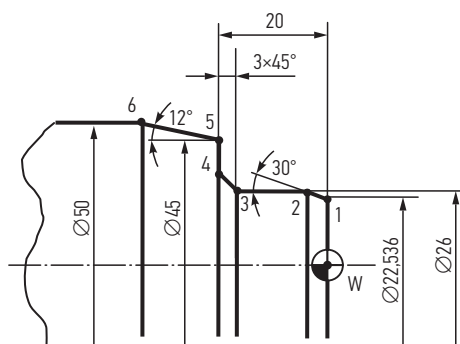
...;

Antra eilutė galėjo būti užrašyta ir taip:

Z-35.0 A-30.0;



10.38 pav. Laiptuotas velenas, kurio kūginė dalis tekinama naudojant adresą A su G01 kodu



10.39 pav. Apdirbama detalė su nuožulnomis

Pabaigoje sudarysime programos fragmentą 10.39 pav. pavaizduotai detalei apdirbti.

...;

G00 Z3.0 (greitasis įrankio judesys į tašką Z3);

X0.0 (greitasis judesys X ašies kryptimi į tašką X0);

G01 G42 Z0.0 F0.15 M08 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką W su 0,15 mm/sūk. pastūma, pakeliui pritaikant spindulio kompensaciją profilio dešinėje, įjungiamas TAS siurblys);

X22.536 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką 1);

X26.0 A150.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką 2, Z koordinatė bus nustatyta pagal kampo dydį);

Z-17.0 (tiesinės interpoliacijos judesys Z ašies kryptimi su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką 3);

Z-20.0 A135.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką 4, jo X koordinatė bus nustatyta pagal kampo dydį);

X45.0 (tiesinės interpoliacijos judesys X ašies kryptimi su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką 5);

X50.0 A168.0 (tiesinės interpoliacijos judesys su 0,15 mm/sūk. pastūma į tašką 6, jo Z koordinatė bus nustatyta pagal kampo dydį);

...;

5, 7 ir 9 programos fragmento eilutės galėjo būti užrašytos ir taip:

X26.0 A-30.0;

Z-20.0 A-45.0;

X50.0 A-12.0;

Kaip matoma iš pavyzdžių, jeigu aktyvi peilio viršūnės spindulio kompensacija, ji bus pritaikyta vykdant nuožulnų nuėmimo ir suapvalinimo komandas, t. y. kai kodas G01 naudojamas kartu su adresais ,C, I, K, R, ,R ir A.

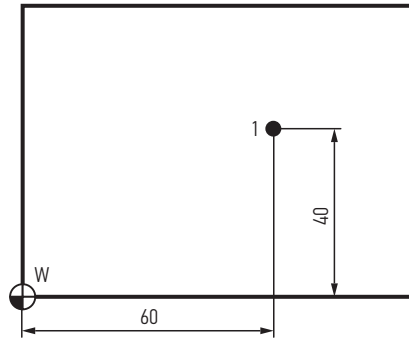
10.2.10. Didelio slėgio TAS siurblys

Skirtingai nei frezavimo, tekinimo staklėse vidinio aušinimo įrankiai dažniausiai nenaudojami. Taip yra dėl to, kad tekinimo peilius gana sunku pagaminti tuščiavidurius. Tačiau tai nereiškia, kad tekinimo staklėse apsieinama tik tradiciniu aušinimo laistymu būdu. Tekinimo staklėse galima papildomai užsakyti didelio slėgio siurbį, kuris tiekia padidinto (pavyzdžiui, „HAAS“ firmos staklių slėgis – apie 7 MPa) slėgio TAS čiurkšlę į pjovimo zoną, efektyviau aušindamas ją. „HAAS“ firmos valdymo sistemoje didelio slėgio siurblys valdomas kodais M88/M89. Pirmas įjungia didelio slėgio siurbį, kitas išjungia.

Kontroliniai klausimai

1. Kaip, neprogramuojant atskirų judesių kodais G01 arba G02/G03, galima nupjauti nuožulną arba suapvalinti kampą frezuojant ir tekinant? Kokias nuožulnas ir suapvalinimus galima frezuoti ir tekinti tokiu būdu? Kokie adresai naudojami programoje? Kokios šių adresų naudojimo taisyklės?
2. Kokiais atvejais gali būti naudingas koordinačių sistemos pasukimo režimas frezuojant? Koks kodas naudojamas šiam režimui įjungti? Koks kodo formatas? Koks kodas skirtas koordinačių sistemos pasukimo režimui atšaukti?
3. Kokiais atvejais gali būti naudinga mastelio funkcija frezuojant? Kokie kodai naudojami šiam režimui įjungti? Koks kodų formatas? Koks kodas skirtas mastelio funkcijai atšaukti? Kas atsitiks įrankio skersmens ir ilgio kompensacijoms, kai aktyvus mastelio režimas?
4. Kokia prasmę turi mastelio centro padėtis taikant mastelio funkciją? Kokios bus judesio galinio taško 1 (žr. paveikslą toliau) tikrosios koordinatės, kai įrankis va-

romas į šį tašką prieš tai įjungus mastelio režimą? Mastelio centro padėtis X0 Y0; X45 Y35; X90 Y70; X90 Y0. Mastelio koeficientas 2 ir 0,5.



5. Kokiais atvejais tikslinga naudoti veidrodinio atspindėjimo funkciją frezuojant? Kas vyksta su koordinatėmis, kai aktyvus koordinatinių veidrodinio atspindėjimo režimas išilgai X ašies? Y ašies? X ir Y ašių? Kaip pasikeičia užprogramuotų apskritinės interpoliacijos judesių ir spindulio kompensacijos kryptys? Kokiais būdais galima įjungti veidrodinio atspindžio režimą? Kokie kodai naudojami šiam režimui įjungti staklėse su „Fanuc“ ar „HAAS“ firmų valdymo sistemomis? Koks kodų formatas? Kokie kodai skirti veidrodinio atspindėjimo režimui atšaukti?
6. Kaip veikia palečių keitiklis? Kokių privalumų turi apdirbimo centrai su palečių keitikliais? Kokiais būdais programoje gali būti valdomas „HAAS“ firmos frezavimo staklių palečių keitiklis? Koks pagrindinis kodas naudojamas jam valdyti? Koks šio kodo formatas?
7. Kokiems tikslams CNC staklėse naudojamos automatinės darbo zonos durelės? Kokie kodai atidaro ir uždaro dureles „HAAS“ firmos frezavimo ir tekinimo staklėse?
8. Kokiais būdais gali būti valdomas CNC tekinimo staklių pneumatinis arba hidraulinis griebtuvas? Kokiais atvejais geriau valdyti griebtuvo žiaunas vienu arba kitu būdu? Kokie kodai naudojami detalei užspausti ir atleisti? Kokia klaidinga situacija gali susidaryti, kai detalė griebtuve bazuojama vidiniu arba išoriniu paviršiais? Kaip išvengti painiavos?
9. Kokių tipų arkliukai naudojami šiuolaikinėse CNC tekinimo staklėse? Kokiais kodais valdomas arkliuko arba jo pinolės judesys staklėse su „HAAS“ firmos valdymo sistema? Kokių parametrų reikia programuojamo arkliuko darbui „HAAS“ firmos sistemoje? Kur nurodomi šie parametrai?
10. Kam reikalingi strypo tiekimo įrenginiai tekinimo staklėse? Kokių pranašumų jie suteikia? Kokių tipų strypo tiekimo įrenginiai naudojami šiuolaikinėse CNC tekinimo staklėse? Koku kodu valdomas strypo tiekimo įrenginys „HAAS“ Servo Bar 300? Koks kodo formatas? Kokie strypo parametrai turi būti nurodyti strypo tiekimo įrenginio automatiniam darbui?

-
11. Kam reikalinga detalių gaudyklė tekinimo staklėse? Kokiais kodais valdoma detalių gaudyklė „HAAS“ firmos tekinimo staklėse?
 12. Kam naudojamas pagalbinis griebtuvas CNC tekinimo staklėse? Kokių pranašumų turi staklės su pagalbiniu sukliu? Kokiais kodais „HAAS“ firmos sistemose valdomas pagalbinis suklys ir jo griebtuvo žiaunos, kai jis atlieka pagrindinio suklio funkcijas? Kokiais kodais valdomi pagalbinių suklio judesiai, kai aktyvus pagrindinis? Kokie kodai naudojami sukliams perjungti?
 13. Kokiems darbams atlikti tekinimo staklėse gali būti naudojama įrankio pavara? Kokie kodai naudojami įrankių sukimosi judesiams valdyti „HAAS“ firmos valdymo sistemose? Koku kodu įjungiamas ir atleidžiamas pagrindinio suklio stabdys? Kokie kodai naudojami C ašiai valdyti? Koks jų formatas? Koks kodas „HAAS“ firmos sistemoje padeda frezuoti paviršius, kuriems apdirbti reikia valdyti Y ašį?
 14. Koks paprasčiausias ir seniausias kodas naudojamas sriegiui tekinti? Koks jo formatas ir kuo jo veikimas skiriasi nuo tiesinės interpoliacijos kodo G01 veikimo?

VIDINIAI CIKLAI

11.1. Bendrosios žinios

Vidiniai staklių valdymo sistemos ciklai (*Canned Cycles* arba *Fixed Cycles*) naudojami programavimo procesui palengvinti ir programos apimčiai sumažinti. Jie leidžia užprogramuoti kelis įrankio judesius viena eilute. Šie ciklai gali būti lyginami su mažytėmis programomis, sukurtomis ne operatoriaus arba programuotojo, o staklių arba jų valdymo sistemų gamintojo. Operatorius tik iškviečia jas specialiais kodais ir keičia jų parametrus (pavyzdžiui, pjovimo gylį, pastumą ir t. t.). Vidiniai ciklai naudojami CNC frezavimo ir tekinimo staklėse bei apdirbimo centruose, jų skaičius gali skirtis skirtingų gamintojų ir skirtingų konfigūracijų staklėse. Dažniausiai kiekvienas gamintojas siūlo ir savo ciklus.

Didžiausia vidinių ciklų, naudojamų frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose, dalis skirta skylėms apdirbti. Tekinimo staklėse vidiniais ciklais programuojamų operacijų ir pakopų gama yra gerokai platesnė, palyginti su frezavimo. Taip yra todėl, kad naudojamų tekinimo staklėse ruošinių nomenklatūra yra kur kas siauresnė (sukimosi kūnai). Frezavimo ir tekinimo staklių vidiniai ciklai toliau bus nagrinėjami atskirai, o čia pateiksime pavyzdį bendram supratimui įgyti apie vidinius ciklus.

Sakykime, reikia išgręžti skylę ruošinyje vertikaliosiomis frezavimo staklėmis, pavyzdžiui, skylę 1, kaip parodyta 11.1 pav. Ruošiant programą operacijai atlikti, be kitų veiksmų (pvz., pasirinkti detalės koordinačių sistemą, pasirinkti reikiamą įrankį iš dėtvės, suteikti jam sukimo judesį ir pan.), reikia užprogramuoti tokius grąžto judesius:

1. Greitojo pozicionavimo judesys į skylės centro tašką pagal X ir Y ašis.
2. Greitojo pozicionavimo judesys Z ašies kryptimi prie ruošinio paviršiaus į tašką, nuo kurio prasidės gręžimo judesys, t. y. nuo kurio grąžtui bus suteikta pastūma.
3. Grąžto pastūmos judesys iki pat skylės dugno Z ašies kryptimi.
4. Greitasis grąžto atitraukimas į pastūmos judesio pradžios tašką Z ašies kryptimi.

Po šių judesių reikėtų grąžinti suklio galvutę į staklių nulį pagal Z ašį ir užbaigti programą kodu M30. Tarkim, gręžiama ne viena, o dvi vienodo gylio ir skersmens skylės (1 ir 2, 11.1 pav.). Tada judesių seka atrodytų taip:

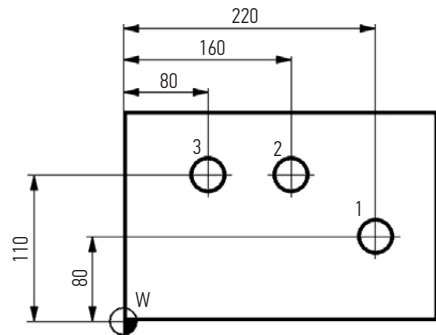
1. Greitojo pozicionavimo judesys į 1-os skylės centro tašką pagal X ir Y ašis.
2. Greitojo pozicionavimo judesys Z ašies kryptimi prie ruošinio paviršiaus į tašką, nuo kurio prasidės gręžimo judesys, t. y. nuo kurio grąžtui bus suteikta pastūma.
3. Grąžto pastūmos judesys iki pat skylės dugno Z ašies kryptimi.
4. Greitasis grąžto atitraukimas į pastūmos judesio pradžios tašką Z ašies kryptimi.

5. Greitojo pozicionavimo judesys į 2-os skylės centro tašką pagal X ir Y ašis.
6. Gražto pastūmos judesys iki pat skylės dugno Z ašies kryptimi.
7. Greitasis gražto atitraukimas į pastūmos judesio pradžios tašką Z ašies kryptimi.

Jeigu gręžiame tris skylės (1, 2 ir 3, 11.1 pav.), seka būtų tokia:

1. Greitojo pozicionavimo judesys į 1-os skylės centro tašką pagal X ir Y ašis.
2. Greitojo pozicionavimo judesys Z ašies kryptimi prie ruošinio paviršiaus į tašką, nuo kurio prasidės gręžimo judesys, t. y. nuo kurio gražtui bus suteikta pastūma.
3. Gražto pastūmos judesys iki pat skylės dugno Z ašies kryptimi.
4. Greitasis gražto atitraukimas į pastūmos judesio pradžios tašką Z ašies kryptimi.
5. Greitojo pozicionavimo judesys į 2-os skylės centro tašką pagal X ir Y ašis.
6. Gražto pastūmos judesys iki pat skylės dugno Z ašies kryptimi.
7. Greitasis gražto atitraukimas į pastūmos judesio pradžios tašką Z ašies kryptimi.
8. Greitojo pozicionavimo judesys į 3-ios skylės centro tašką pagal X ir Y ašis.
9. Gražto pastūmos judesys iki pat skylės dugno Z ašies kryptimi.
10. Greitasis gražto atitraukimas į pastūmos judesio pradžios tašką Z ašies kryptimi.

Nagrinėsime pažymėtas eilutes. Užrašytos programos eilutėmis jos turi kai ką bendro – jos yra visiškai vienodos skirtingose programos vietose ir atrodo G01 Z-... F...; ir G00 Z...; atitinkamai. Taigi programuojant kelių vienodų skylių gręžimo pakopas įprastiniu būdu reikia užrašyti kelias vienodas eilutes skirtingose programos vietose. Toks būdas yra gana nepatogus, kur kas paprasčiau būtų nurodyti vieną kartą skylės dugno Z koordinatę arba skylės gylį ir saugų atstumą nuo detalės paviršių (Z koordinatė), į kurią pagreitintai grįžta gražtas išgręžus kiekvieną skylę. Be to, reikėtų apibrėžti visų skylių ašių X ir Y koordinates, kad valdymo sistema galėtų vykdyti operaciją. Tokiu principu ir sudaryti vidiniai ciklai. Pabrėžtina tai, kad pateiktas pavyzdys yra gana paprastas, pasikartojančių eilučių skaičius čia nėra toks didelis, galimi ir sudėtingesni atvejai. Pavyzdžiui, jeigu būtų gręžiamos gilios skylės, gręžimo metu reikėtų daryti pertraukas, t. y. periodiškai ištraukti gražtą iš skylės Z ašies kryptimi, paskui vėl gręžti tam tikru gyliu. Tokiu atveju pasikartojančių eilučių būtų daug daugiau, tačiau grįšime prie pavyzdžio. Sudarysime duotajam atvejui programą nenaudodami ir naudodami vidinį ciklą, norint įvertinti jo efektą. Abi programos pateiktos 11.1 lentelėje.



11.1 pav. Skylių išdėstymas apdirbamoje detalėje

11.1 lentelė. Apdirbimo programos trims skylėms (11.1 pav.) gręžti, parengtos nenaudojant vidinio ciklo (kairėje) ir naudojant jį (dešinėje)

Detalės 11.1 pav. apdirbimo programa be vidinio ciklo	Detalės 11.1 pav. apdirbimo programa su vidiniu ciklu
N1 G21 G17 (metrinė sistema, plokštuma XY);	N1 G21 G17;
N2 G54 G90 (detalės koordinacių sistema G54, absoliučiosios koordinatės);	N2 G54 G90;
N3 T01 M06 (pasirenkamas įrankis Nr. 1 dėtuvėje – grąžtas ir įstatomas į suklij);	N3 T01 M06;
N4 S1500 M03 (suklys su grąžtu paleidžiamas sukintis į priekį, sūkliai – 1500 sūk./min);	N4 S1500 M03;
N5 G00 X220.0 Y80.0 (grąžto ašis pagreitintai pozicionuojama virš 1-os skylės (11.1 pav.) centro pagal X ir Y ašis);	N5 G00 X220.0 Y80.0;
N6 G43 H01 Z5.0 M08 (greitasis grąžto galo pozicionavimas 5 mm atstumu nuo galinio detalės paviršiaus (detalės Z0) pagal Z ašį, pritaikant įrankio ilgio kompensaciją iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės; tiekiamas aušinimo skystis (M08));	N6 G43 H01 Z5.0 M08;
N7 G01 Z-18.5 F150.0 (1-os skylės (11.1 pav.) gręžimas 18,5 mm gyliu nuo galinio paviršiaus su 150 mm/min pastūma);	N7 G99 G82 R3.0 Z-18.5 P200 F150.0 (gręžimo ciklas G82 su 200 ms trukmės pauze skylės dugne, po G82 nurodomi reikalingi parametrai – atitraukimo pozicijos Z koordinatė (R), gręžimo gylis (Z), pauzės trukmė (P) ir pastūma (F). Įrankiui nurodoma likti atitraukimo pozicijoje po gręžimo (G99));
N8 G04 P200 (200 ms pauzė skylės dugne);	N8 X160.0 Y110.0 (nurodomos 2-os skylės centro X ir Y koordinatės, ciklas G82 kartojamas taške X160 Y110);
N9 G00 Z3.0 (pagreitintas grąžto ištraukimas iš skylės iki 3 mm aukščio virš galinio detalės paviršiaus, t. y. į pastūmos judesio pradžios tašką);	N9 X80.0 (nurodomos 3-ios skylės X ir Y (Y lieka ta pati) koordinatės, ciklas G82 kartojamas taške X80 Y110);
N10 X160.0 Y110.0 (greitasis grąžto ašies pozicionavimas virš 2-os skylės (11.1 pav.) centro pagal X ir Y ašis);	N10 G80 G28 Z3.0 M09 (kodu G80 atšaukiamas vidinis ciklas, suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį iš įrankio buvimo taško Z3, išjungiamas TAS siurblys);

11.1 lentelės pabaiga

Detalės 11.1 pav. apdirbimo programa be vidinio ciklo	Detalės 11.1 pav. apdirbimo programa su vidiniu ciklu
N11 G01 Z-18.5 (2-os skylės gręžimas 18,5 mm gyliu nuo galinio paviršiaus su 150 mm/min pastūma ir aušinant);	N11 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžių); Programai su vidiniu ciklu reikia tik 11-os eilučių vietoje 19-os (kairėje), kai nenaudojamas vidinis ciklas. Todėl tausojamas laikas, o pati programa lengviau skaitoma, nes joje nėra pasikartojančių eilučių.
N12 G04 P200 (200 ms pauzė skylės dugne);	
N13 G00 Z3.0 (pagreitintas grąžto ištraukimas iš skylės iki 3 mm aukščio virš galinio detalės paviršiaus);	
N14 X80.0 (greitasis grąžto ašies pozicionavimas virš 3-ios skylės (11.1 pav.) centro pagal X ašį);	
N15 G01 Z-18.5 (3-ios skylės gręžimas 18,5 mm gyliu nuo galinio paviršiaus su 150 mm/min pastūma ir aušinant);	
N16 G04 P200 (200 ms pauzė skylės dugne);	
N17 G00 Z3.0 M09 (pagreitintas grąžto ištraukimas iš skylės iki 3 mm aukščio virš galinio detalės paviršiaus, TAS tiekimo nutraukimas);	
N18 G28 Z3.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį iš įrankio buvimo taško Z3);	
N19 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžių);	

Dabar išsamiau panagrinėsime vidinius ciklus, naudojamus CNC frezavimo ir tekinimo staklėse ir apdirbimo centruose.

11.2. Vidiniai frezavimo staklių ir apdirbimo centrų ciklai

11.2.1. Bendras ciklų formatas ir jų parametrai

Frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose su „Fanuc“ firmos ir panašiomis valdymo sistemomis vidiniai ciklai kviečiami specialiais G kodais. Pagrindiniai ciklų kodai pateikti 11.2 lentelėje.

Vidinio ciklo eilutės formatas bendroju atveju atrodo taip:

N... G98/G99 G... X... Y... R... Z... P... Q... I... J... F... L/K...;

11.2 lentelė. „Fanuc“ firmos valdymo sistemose (ir daugumoje panašių) naudojami vidiniai ciklai

G kodas	Trumpas ciklo aprašas
G73	Našus giliojo gręžimo arba gręžimo ir kapojimo ciklas
G74	Kairinio sriegio sriegimo sriegikliu ciklas
G76	Glotniojo ištekimo ciklas
G81	Paprastas gręžimo ciklas
G82	Gręžimo ciklas su pauze
G83	Giliojo gręžimo arba gręžimo ir kapojimo ciklas
G84	Dešinio sriegio sriegimo sriegikliu ciklas
G85	Ištekinimo su atbuline pastūma ciklas
G86	Ištekinimo be atbulinės pastūmos ciklas
G87	Atbulinio ištekimo ciklas
G88	Ištekinimo su sustojimu ciklas
G89	Ištekinimo su pauze ciklas
G80	Bet kokio vidinio ciklo atšaukimas

Ne kiekvienam ciklui ir ne visada tam pačiam ciklui užprogramuoti naudojami visi adresai, nurodyti eilutėje. Čia pateiktas tik bendras formatas. Šioje eilutėje po adreso N nurodomas eilutės numeris, kurio gali ir nebūti. Kitu kodu (G98 arba G99) nurodoma, kur įrankis, atlikus ciklą, atsitrauks pagal Z ašį – į pradinę ciklo Z poziciją (G98) arba į nurodytą po adreso R atitraukimo poziciją (G99). Toliau nurodomas reikiamas vidinio ciklo kodas pagal 11.2 lentelę. Adresais X ir Y nurodoma apdirbamos skylės pozicija absoliučiosiomis koordinatėmis arba prieaugiais (tai priklauso nuo to, koks kodas aktyvus – G90 arba G91). Po adreso R nurodoma įrankio atitraukimo pozicija (pozicija Z ašies kryptimi, nuo kurios įrankiui bus suteikiama pastūma) absoliučiosiomis koordinatėmis arba prieaugiais. Adresu Z nurodoma taško, kuriame įrankis turi sustoti Z koordinatė (skylės dugno koordinatė) absoliučiosiomis koordinatėmis arba prieaugiais. Po adreso P nurodoma pauzės trukmė, ms, jeigu pauzė reikalinga cikle (ne visuose cikluose galima naudoti šį adresą). Adresu Q gali būti nurodomi du parametrai – gręžimo eigos ilgis cikluose G73 ir G83 arba įrankio poslinkis ištekimo ciklo pradžioje ir pabaigoje, kad įrankis neužkabintų ištekintos skylės sienelių (ciklai G76, G87). Vietoje Q cikluose G76 ir G87 gali būti naudojami adresai I ir J, kuriais nurodomas poslinkis pagal X ir Y ašis atitinkamai. Adresu F nurodoma darbinė pastūma, kuria bus gręžiama, ištekinama ir pan., priklausomai nuo ciklo. Jeigu ji nenurodyta, bus paimta paskutinė užprogramuota pastūma. Po adresu L arba K nurodomas ciklų atlikimų skaičius, jeigu reikia pakartoti ciklą prieaugių režimu.

Adresai P, Q, I, J gali būti naudojami ne visuose cikluose, o tik tam tikruose. Be to, jau žinoma, kad kai kurie net ir naudojami ciklui adresai eilutėje gali būti ir nenurodomi.

Programuojant vidinius ciklus reikia laikytis tam tikrų taisyklių ir apribojimų:

1. Koordinačių režimas (absoliučiosios (G90) arba priaugio (G91)) turi būti nurodytas prieš programuojant ciklą arba ciklo eilutėje.
2. Jeigu viena iš koordinatinių X arba Y , arba abi nebus nurodytos vidinio ciklo eilutėje, ciklas bus įvykdytas, tačiau bus priimtos paskutinės užprogramuotos įrankio koordinatės, t. y. tos pozicijos, kurioje įrankis yra prieš eilutę su ciklu.
3. Jeigu nė vienas iš kodų G98/G99 nenurodytas vidinio ciklo eilutėje, bus pasirinktas pagal sistemos nustatytuosius parametrus.
4. Jeigu ciklo eilutėje nurodytas atlikimų skaičius yra 0 (L0), ciklas nebus įvykdytas, tačiau eilutėje nurodytos ciklo parametrų reikšmės išsaugomos atmintyje ir gali būti naudojamos vėliau. Jeigu nenurodytas joks adresas L/K, ciklas bus atliktas vieną kartą.
5. Kodu G80 atšaukiamas bet koks aktyvus vidinis ciklas ir jeigu po eilutės arba eilutėje su G80 bus nurodyta koordinatė arba koordinatės be jokio judesio kodo (G00/G01/G02/G03), bus vykdomas greitis įrankio pozicionavimas nurodytame taške, t. y. eilutė G80 X75.0; yra visiškai identiška eilutei G80 G00 X75.0;
6. Pagrindinės judesių komandos G00, G01, G02 ir G03 atšaukia aktyvų vidinį ciklą, t. y. eilutės G80 X75.0; G80 G00 X75.0; ir G00 X75.0; atliks tą patį veiksmą – įvyks įrankio greitis pozicionavimas taške X75, o aktyvus ciklas bus atšauktas.
7. Ciklas lieka aktyvus tol, kol neatšaukiamas kodu G80 arba judesio kodu, ir po ciklo eilutės nurodytos X ir Y koordinatės bus suprastos kaip naujos pozicijos ciklui pakartoti. Jeigu kitose eilutėse kartu su X ir Y koordinatėmis nurodyti ir kiti ciklo parametrai (pavyzdžiui, gylis Z , atitraukimo pozicija R ir pan.), skirtingi nei pradiniai, ciklas bus pakartotas ne tik kitoje pozicijoje, bet ir su kitais parametrais.

Jeigu judesio kodas G00/G01/G02/G03 nurodomas vidinio ciklo eilutėje, jis traktuojamas valdymo sistema skirtingai, priklausomai nuo padėties eilutėje. Jeigu eilutė atrodo taip:

G00 G81 X... Y... R... Z... P... Q... I... J... F... L ...;

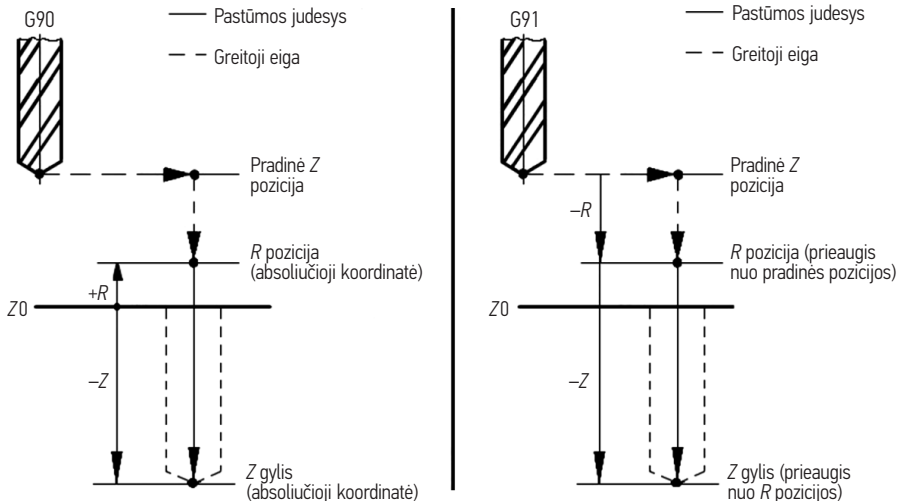
bus įvykdytas vidinis ciklas G81. Jeigu eilutė bus užrašyta tokia tvarka:

G81 G00 X... Y... R... Z... P... Q... I... J... F... L ...;

valdymo sistema įvykdys pagreitintą judesį į nurodytą po adresų X ir Y poziciją, o vidinis ciklas, atšauktas kodu G00, nebus įvykdytas. Jo visi parametrai, išskyrus patūmos F , kuri bus laikoma atmintyje tolesniems judesiams, bus ignoruojami. Reikia

pabrėžti, kad tokių situacijų programuotojai ir operatoriai turėtų vengti ir vienoje eilutėje nurodyti judesį bei vidinių ciklų kodų.

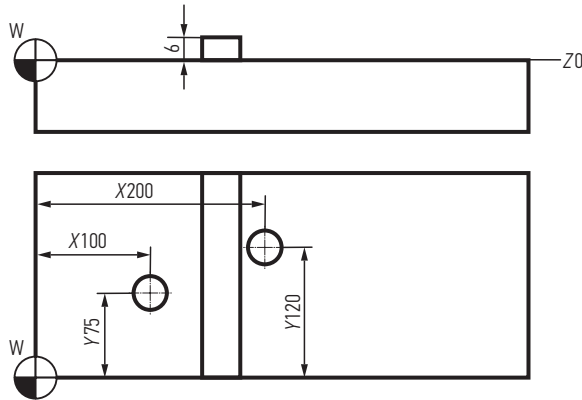
Kaip jau buvo pabrėžta, vidinio ciklo parametrai gali būti nurodyti absoliučiosiomis koordinatėmis arba prieaugiais, priklausomai nuo to, koks režimas – G90 arba G91 – yra aktyvus. Režimo pasirinkimas turės įtakos X ir Y skylės centro pozicijai, skylės gyliui (adresas Z) ir atitraukimo pozicijai (adresas R). Kai aktyvus yra absoliučiąjį koordinačių režimas G90, visos nurodytos reikšmės atskaitomos nuo detalės nulio, kaip parodyta 11.2 pav. kairėje. Kai aktyvus yra prieaugių režimas G91, skylės pozicija XY plokštumoje atskaitoma nuo paskutinės užprogramuotos XY įrankio pozicijos, įrankio atitraukimo pozicija, nurodoma po adreso R , atskaitoma nuo paskutinės užprogramuotos prieš ciklą įrankio Z pozicijos, skylės dugno Z pozicija atskaitoma nuo R pozicijos, kaip parodyta 11.2 pav. dešinėje.



11.2 pav. Vidinio ciklo Z ašies parametrai, priklausomai nuo koordinačių nurodymo būdo: G90 – absoliučiosios koordinatės; G91 – prieaugiai

Vidinio ciklo eilutėje galima nurodyti vieną iš kodų G98 ir G99, kurie leidžia pasirinkti, kur grįš įrankis atlikus ciklą – į pradinę Z poziciją (G98) arba į atitraukimo poziciją (G99), kurios Z koordinatė nurodoma po adreso R . Tai kartais būna labai svarbu, kai įrankis turi aplenkti įvairias kliūtis (prispaudiklius, spaustuvų žiaunas, atskirus detalės ruožus, išdėstytus aukščiau apdirbamų paviršių ir pan.). Pagrindinis tikslas – išvengti įrankių susidūrimo su minėtomis kliūtėmis ir sumažinti laiko nuostolius, skirtus pagalbiniais (ne pjojimo) judesiams atlikti.

Panagrinėsime pavyzdį. Reikia išgręžti dvi skylės detalėje, pavaizduotoje 11.3 pav. Sakykime, programos su vidiniu ciklu fragmentas atrodo taip:



11.3 pav. Detalė su iškyša

N15 G90 G54;

...;

N25 G00 X100.0 Y75.0 (greitasis įrankio pozicionavimas virš detalės (11.3 pav.) kairiosios skylės centro);

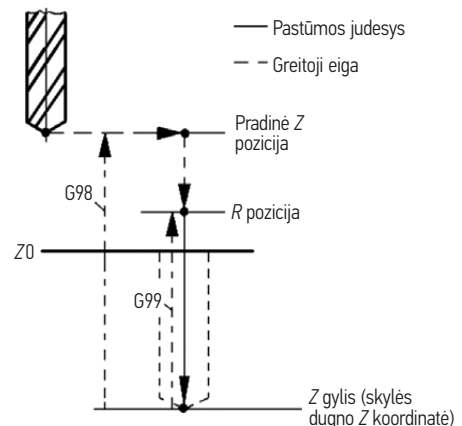
N30 G43 Z8.0 H01 M08 (įrankis pagreitinamas nuleidžiamas į pradinę ciklo poziciją pagal Z ašį, ji yra 8 mm aukščiau detalės nulio (11.3 pav.). Prieš judesį pritaikoma ilgio kompensacija iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės, todėl taške Z8 atsiras įrankio galas);

N35 G98 G81 R3.0 Z-12.0 F120.0 (vidinis gręžimo ciklas taške X100 Y75);

N40 X200.0 Y120.0 (vidinis gręžimo ciklas atliekamas taške X200 Y120);

...;

Ciklui atlikti reikalingos trijų taškų Z koordinatės (11.4 pav.). Pirma yra pradinės įrankio pozicijos Z koordinatė, judesys į šią poziciją užprogramuotas eilutėje N30. Ji yra 8 mm virš detalės Z nulio absoliučiosiomis koordinatėmis (galioja G90). Kita koordinatė yra taško, nuo kurio įrankiui suteikiama pastūma (mūsų atveju – 120 mm/min), ir šio taško koordinatė nurodoma adresu R (šiuo atveju 3 mm aukščiau detalės Z nulio absoliučiosiomis koordinatėmis (galioja G90)). Tai reiškia, kad iki šio taško nuo taško Z8 įrankis judės pagreitinamai, o toliau – 120 mm/min greičiu. Pastūma bus suteikiama įrankiui tol, kol jis pasieks galinio taško Z koordinatę, nurodytą N35 eilutėje po adreso Z (12 mm



11.4 pav. Kodų G98/G99 pritaikymas vidiniame gręžimo cikle G81

žemiau detalės Z nulio absoliučiosiomis koordinatėmis (galioja G90)). Išgręžus skylę taške X100 Y75, t. y. pasiekus nurodytą gylį Z-12, įrankis bus ištrauktas iš skylės. Čia ir yra esminis skirtumas tarp kodų G98 ir G99. Z koordinatė, nurodyta po adreso R, yra ne tik taško, nuo kurio bus suteikta pastūma įrankiui, ji gali būti ir taško, į kurį grįš įrankis, kai ciklas įvykdytas, koordinatė. Taigi šiuo atveju įrankis grįš į pradinę poziciją 8 mm aukščiau detalės Z nulio, nes eilutėje N35 nurodytas G98. Šioje Z pozicijoje jis ir liks. Jeigu reikia pakartoti ciklą skylei, kurios centro koordinatės yra kitos (taškas X200 Y120, eilutė N40), išgręžti, įrankis (grąžtas) bus pagreitintai pozicionuojamas virš kitos skylės centro, kai jo galas yra 8 mm aukščiau detalės Z nulio. Jeigu programos fragmentas atrodytų taip (kodas G98 pakeistas kodu G99):

```
N15 G90 G54;
...;
N25 G00 X100.0 Y75.0;
N30 G43 Z8.0 H01 M08;
N35 G99 G81 R3.0 Z-12.0 F120.0 (vidinis gręžimo ciklas taške X100 Y75);
N40 X200.0 Y120.0 (vidinis gręžimo ciklas atliekamas taške X200 Y120);
...;
```

įrankis po pirmojo ciklo (N35 eilutė) būtų ištrauktas iki pozicijos, nurodytos po R adreso, tai yra tik 3 mm aukščiau detalės Z nulio. Jis ir judėtų prie kitos skylės centro šioje pozicijoje, vykdant eilutę N40. Įrankiui, kuris naudojamas detalei, pavaizduotai 11.3 pav., apdirbti, tokia situacija baigsis tragiškai – jis bus sulaužytas, galėtų būti sulaužytas ir staklių suklio mazgas, o tai yra dar blogiau. Taip bus todėl, kad pagreitintai judančio iki kitos skylės centro, kurio koordinatės yra X200 Y120, grąžto galas, nutolęs nuo plokštumos Z0 atstumu 3 mm, užkabintų iškyšą, kurios viršutinė plokštuma yra nutolusi 6 mm nuo plokštumos Z0. Jeigu įrankio galas yra nutolęs 8 mm nuo plokštumos Z0, t. y. kai aktyvus yra G98, įrankis laisvai pereina virš iškyšos su 2 mm atsarga, susidūrimas neįvyks.

Kyla klausimas – kodėl reikia naudoti G99, kodėl negalima apsieiti tik G98 ir grąžinti įrankį į saugią pradinę Z poziciją? Atsakymas toks – įrankiui grąžinti į aukštesnę poziciją tuščiai sugaištamas laikas ir tas laikas gali būti gana jaučiamas, jeigu kliūtis yra aukštesnė. Be to, kliūtimi gali būti atskirtos ne dvi skylės, o daugiau, todėl skylės, esančios vienoje kliūties pusėje, gali būti apdirbamos, kai aktyvus G99, o prieš pereinant į kitą pusę galima nurodyti G98, toliau vėl naudoti G99. Taip laiko nuostoliai yra mažiausi.

Pavyzdžiui, reikia išgręžti dar vieną to paties skersmens ir ilgio skylę kairiojoje detalės, pavaizduotos 11.3 pav. pusėje, tegul jos centro koordinatės yra X100 Y130. Programos fragmentas galėtų atrodyti taip:

```
N15 G90 G54;
...;
N25 G00 X100.0 Y75.0 (greitasis įrankio pozicionavimas virš detalės (11.3 pav.) kairiosios apatinės skylės centro);
```

N30 G43 Z8.0 H01 M08 (įrankis pagreitinamai nuleidžiamas į pradinę ciklo poziciją pagal Z ašį, jį yra 8 mm aukščiau detalės nulio (11.3 pav.). Prieš judesį pritaikoma ilgio kompensacija iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės, todėl taške Z8 atsiras įrankio galas);

N35 G99 G81 R3.0 Z-12.0 F120.0 (vidinis gręžimo ciklas taške X100 Y75, įrankis lieka R pozicijoje (Z3) atlikus ciklą);

N40 G98 Y130.0 (ciklas kartojamas taške X100 Y130, įrankis lieka pradinėje Z pozicijoje (Z8) atlikus ciklą);

N45 X200.0 Y120.0 (vidinis gręžimo ciklas atliekamas taške X200 Y120);

...;

Po eilutės N40 galima buvo įterpti eilutę su kodu G00 ir pakelti įrankį aukščiau, norint apeiti kliūtį, tačiau tokiu atveju būtų atšauktas vidinis ciklas G81 (taip pat kaip ir kodu G80). Gręžiant skylę naujoje vietoje ciklą (ir jo parametrus Z, R, X, Y ir kitus) reikėtų programuoti iš naujo.

Kiek kartų atliekamas ciklas, nurodoma adresu L arba K (kai kuriose sistemose). Skirtingas nuo 1 ciklo atlikimų skaičius naudojamas tik nurodant koordinatės prieaugiais, kai aktyvus yra kodas G91. Jeigu ciklas atliekamas vieną kartą, ciklo eilutėje adresas L (L1 arba K1) visai nenurodomas, valdymo sistema atliks jį pagal nustatytuosius parametrus. Kitaip tariant, programos fragmentas:

N5 G21 G54 G90 (metriniai vienetai, detalės koordinačių sistema G54, absoliučiosios koordinatės);

N10 T01 M06 (į suklij iš dėtuvės įstatomas įrankis Nr. 1 – grąžtas);

N15 S1800 M03 (sukliui suteikiamas sukimosi judesys pagal laikrodžio rodyklę 1800 sūk./min greičiu);

N20 G00 X150.0 Y120.0 (greitasis grąžto ašies pozicionavimas taške X150 Y120);

N25 G43 Z6.0 H01 M08 (greitasis grąžto galo pozicionavimas 6 mm aukščiau detalės nulio pagal Z ašį);

N30 G99 G81 R1.5 Z-11.0 F150.0 (vidinis gręžimo ciklas atliekamas taške X150 Y120);

N35 X170.0 (kitos skylės centro koordinatė, ciklas atliekamas taške X170 Y120);

N40 X190.0 (kitos skylės centro koordinatė, ciklas atliekamas taške X190 Y120);

N45 X210.0 (kitos skylės centro koordinatė, ciklas atliekamas taške X210 Y120);

N50 X230.0 (paskutinės skylės centro koordinatė, ciklas atliekamas taške X230 Y120);

N55 G80 (vidinio ciklo atšaukimas);

...;

... (programos tęsinys);

...;

N120 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

yra visiškai identiškas tokiam fragmentui:

N5 G21 G54 G90 (metriniai vienetai, detalės koordinačių sistema G54, absoliučiosios koordinatės);

N10 T01 M06 (į suklij iš dėtuvės įstatomas įrankis Nr. 1 – grąžtas);

N15 S1800 M03 (sukliui suteikiamas sukimosi judesys pagal laikrodžio rodyklę 1800 sūk./min greičiu);
 N20 G00 X150.0 Y120.0 (greitasis grąžto ašies pozicionavimas taške X150 Y120);
 N25 G43 Z6.0 H01 M08 (greitasis grąžto galo pozicionavimas 6 mm aukščiau detalės nulio pagal Z ašį);
 N30 G99 G81 R1.5 Z-11.0 F150.0 L1 (arba K1) (vidinis gręžimo ciklas atliekamas vieną kartą (L1) taške X150 Y120);
 N35 X170.0 L1 (arba K1) (kitos skylės centro koordinatė, ciklas atliekamas taške X170 Y120 vieną kartą (L1));
 N40 X190.0 L1 (arba K1) (kitos skylės centro koordinatė, ciklas atliekamas taške X190 Y120 vieną kartą (L1));
 N45 X210.0 L1 (arba K1) (kitos skylės centro koordinatė, ciklas atliekamas taške X210 Y120 vieną kartą (L1));
 N50 X230.0 L1 (arba K1) (paskutinės skylės centro koordinatė, ciklas atliekamas taške X230 Y120 vieną kartą (L1));
 N55 G80 (vidinio ciklo atšaukimas);
 ...;
 ... (programos tęsinys);
 ...;
 N120 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Šiuo programos fragmentu bus išgręžtos penkios skylės, išdėstytos vienoje linijoje. Pirmosios skylės centro koordinatės yra X150 Y120, kitų skylių centrų Y koordinatė lieka ta pati, o keičiasi tik X koordinatės, vienodu žingsniu – 20 mm, t. y. X170, X190, X210 ir X230. Įrankis prieš judant XY plokštumoje tarp skylių centrų bus pozicionuojamas atitraukimo pozicijoje – 1,5 mm aukščiau Z0 arba detalės viršutinės plokštumos (R1.5 eilutėje N30), nes aktyvus režimas G99. Skylių gylis yra 11 mm nuo detalės Z nulio (Z-11.0 eilutėje N30), pasiekus šį tašką bus sustabdyta įrankio pastūma, paskui jis bus pagreitintai atitrauktas į Z1,5 (atitraukimo R1.5) poziciją. Vertėtų dar kartą pakartoti, kad vidiniai ciklai yra modaliniai, jie galioja tol, kol nebus atšaukti G80 arba judesio komanda, todėl eilutėse N35–N50 nurodomos tik skylių centrų X koordinatės, visi kiti ciklo parametrai (Z, R ir pan.) lieka tie patys, todėl jie šiose eilutėse nenurodomi.

Pateiktuose pavyzdžiuose ciklas bus atliktas kiekviename taške (X150, 170, 190, 210 ir 230) tik vieną kartą. Tai bus atlikta nurodant atlikimų skaičių žodžiu L1 (K1) ar nenurodant nieko. Tačiau jeigu N30 eilutėje būtų nurodyta L5, taške X150 Y120 ta pati skylė tuo pačiu įrankiu būtų gręžiama penkis kartus (vieną kartą medžiagoje, keturis kartus gręžiamas oras). Daryti taip, aišku, nėra protinga, todėl dažniausiai adresas L eilutėje visai nenurodomas, išskyrus vieną atvejį – jeigu apdirbamos skylės, kurių centrai išdėstyti vienodu atstumu vienas nuo kito, panašiai kaip ir nagrinėjamu atveju. Tad reikia programuoti prieargiais, o skaitiklis L padės sumažinti eilučių skaičių. Nagrinėjamą programos fragmentą užrašysime kitaip.

N5 G21 G54 G90 (metriniai vienetai, detalės koordinacijų sistema G54, absoliučiosios koordinatės);

N10 T01 M06 (į suklį iš dėtuvės įstatomas įrankis Nr. 1 – grąžtas);

N15 S1800 M03 (sukliui suteikiamas sukimosi judesys pagal laikrodžio rodyklę 1800 suk./min greičiu);

N20 G00 X150.0 Y120.0 (greitasis grąžto ašies pozicionavimas taške X150 Y120);

N25 G43 Z6.0 H01 M08 (greitasis grąžto galo pozicionavimas 6 mm aukščiau detalės nulio pagal Z ašį);

N30 G99 G81 R1.5 Z-11.0 F150.0 (vidinis gręžimo ciklas atliekamas taške X150 Y120);

N35 G91 X20.0 L4 (arba K4) (prieaugių režimu G91 nurodomos kitų keturių skylių centrų koordinatės, ciklas bus atliekamas keturis kartus žingsniu 20 mm pagal X ašį, koordinacijų prieaugiai atskaitomi nuo paskutinio užprogramuoto taško X150);

N40 G80 G90 (vidinio ciklo atšaukimas, absoliučiosios koordinatės);

...;

... (programos tęsinys);

...;

N105 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Eilutėje N35 laikinai (iki eilutės N40) nustatomas prieaugių režimas kodu G91 ir nurodomas skylių 20 mm žingsnis bei atlikimų skaičius 4 (L4). Tai reiškia, kad, vykdant šią eilutę, gręžimo ciklas bus atliktas keturis kartus, kiekvieną kartą patraukiant įrankį teigiamąja X ašies kryptimi 20 mm atstumu. Toks užrašymas yra kompaktiškesnis, programa bus sumažinta trimis eilutėmis. Tai ir yra vienintelis skaitiklio L (K) pranašumas, ir jis yra tuo didesnis, kuo daugiau reikia išgręžti skylių (leidžiama naudoti skaitiklio L/K reikšmes iki 9999), nutolusių vienodu atstumu viena nuo kitos pagal vieną arba dvi ašis.

Atkreipkite dėmesį, kad visi kiti ciklo parametrai (Z, R) buvo sistemos atsiminti iš eilutės N30, kurioje jie užprogramuoti absoliučiosiomis koordinatėmis, nes joje dar galiojo G90. Taip jie ir bus vykdomi vykdant eilutę N35, prieaugiais nurodytas tik keturių skylių žingsnis pagal X ašį. Tai labai svarbu programuojant ciklą.

Programavimo praktikoje pasitaiko atveju, kai po adreso L arba K nurodomas 0 (L0/K0). Toks užrašymas leidžia užprogramuoti vidinį ciklą, užrašyti į valdymo sistemos atmintį ciklo parametrus (nurodomus adresais R, Z, F ir kt.), tačiau netaikyti jo šioje programos vietoje, o atlikti vėliau. Toks metodas turi savo privalumų rengiant programas su paprogramėmis ir bus nagrinėjamas 12 skyriuje.

Paminėtina, kad mūsų atveju nebūtina buvo nurodyti vidinio ciklo eilutėje N30 pirmos skylės centro koordinacijų X150, Y120, nes įrankis jau buvo šioje pozicijoje įvykdžius eilutę N20. Tačiau eilutė N30 galėjo būti užrašyta ir taip:

N30 G99 G81 X150.0 Y120.0 R1.5 Z-11.0 F150.0 (vidinis gręžimo ciklas atliekamas taške X150 Y120);

Rezultatas būtų toks pats.

Dabar apžvelgsime plačiau frezavimo staklių ir apdirbimo centrų su „Fanuc“ ir „HAAS“ firmų valdymo sistemomis vidinius ciklus.

11.2.2. „Fanuc“ firmos valdymo sistemose naudojami vidiniai ciklai

Paprastas gręžimo ciklas G81

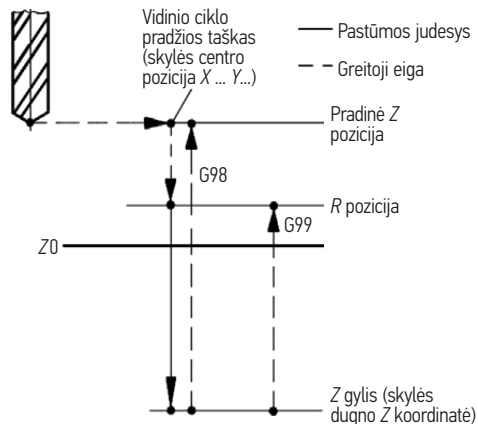
Ciklo eilutės formatas yra toks:

G98 (arba G99) G81 X... Y... R... Z... F... L... (arba K...);

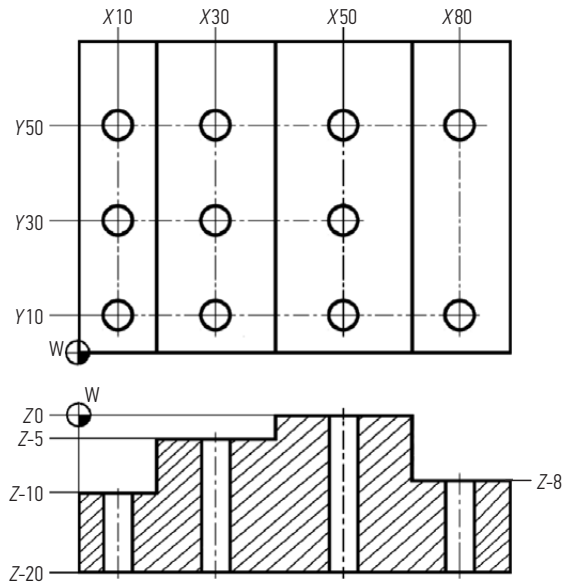
Vykdamas šį ciklą įrankio (grąžto) atraminis taškas bus greitai pozicionuojamas taške X... Y... (jeigu koordinatės X ir Y nenurodytos, bus vykdomas esamoje pozicijoje XY plokštumoje), toliau įvyks greitas įrankio nuleidimas į atitraukimo poziciją, nurodytą adresu R, po to įrankiui bus suteikiama pastūma (nurodyta po adreso F) tol, kol jo atraminis taškas pasieks skylės dugną (pozicija nurodoma adresu Z). Iš ten jis pagreitintai atsitrauks į atitraukimo poziciją (jeigu nurodytas G99) arba į pradinę Z poziciją (jeigu nurodytas G98). Tai ir pavaizduota 11.5 pav. Skylės X ir Y koordinatės, Z dugno koordinatė ir R pozicija gali būti nurodyta ir absoliučiosiomis koordinatėmis, ir prieaugiais (11.2 pav.), priklausomai nuo to, koks kodas G90 ar G91 yra aktyvus prieš eilutę su ciklu. Skaitiklis L gali būti naudojamas tik prieaugių režimu, kaip buvo parodyta 11.2.1 skirsnyje.

Ciklas G81 dažniausiai naudojamas gręžiant, jeigu nereikia išlaikyti pauzės, įrankiui pasiekus skylės Z lygį (dugną), t. y. jis naudojamas skylėms, kurių tikslumo ir estetiniai reikalavimai apatiniam skylės paviršiui nėra svarbūs, dažniausiai kiauroms skylėms gręžti.

Pateiksime 11.6 pav. pavaizduotas detalės apdirbimo (skylių gręžimo) programą. Atkreipkite dėmesį į tai, kaip joje operuojama kodais G98/G99 pereinant nuo vieno laiptelio iki kito, t. y. grąžtui pereinant nuo žemiausio iki aukščiausio, naudojamas G98, kad nebūtų užkabintas aukštesnis laiptelis, o nusileidžiant nuo aukščiausio iki žemiausio naudojamas G99 laikui sutaupyti.



11.5 pav. Gręžimo ciklo G81 įrankio judesiai ir parametrai



11.6 pav. Apdirbama laiptuota detalė

025643

(laiptuotos detalės (11.6 pav.) apdirbimo programa su vidiniu ciklu G81 be skaitiklio);

N1 G17 G90 G54 (plokštuma G17, absoliučiosios koordinatės, detalės koordinačių sistema G54);

N2 T01 M06 (įrankis Nr. 1 – žymėjimo grąžtas iš dėtuovės įstatomas į sukli);

N3 S1000 M03 (žymėjimo grąžtas pradeda sukstis pagal laikrodžio rodyklę, sukiai – 1000 suk./min);

N4 G00 X10.0 Y10.0 (greitasis grąžto ašies pozicionavimas virš skylės centro, kurio koordinatės yra X10 Y10 (11.6 pav.));

N5 G43 Z3.0 H01 M08 (įrankio ilgio kompensacijos iš kompensacijų lentelės 1-os eilutės pritaikymas ir greitasis žymėjimo grąžto galo nuleidimas iki pradinės Z pozicijos 3 mm aukščiau detalės Z nulio (11.6 pav.), įjungiamas TAS siurblys);

N6 G99 G81 R-8.0 Z-13.0 F120.0 (taške X10 Y10 atliekamas vidinis grėžimo ciklas G81, centravimo skylės gylis – 3 mm nuo galinės kairiojo laiptelio plokštumos, atitraukimo pozicija 2 mm aukščiau laiptelio galinės plokštumos, pastūma – 120 mm/min, įrankis įvykdžius ciklą liks R pozicijoje);

N7 Y30.0 (tas pats ciklas G81 bus atliktas taške X10 Y30);

N8 G98 Y50.0 (tas pats ciklas G81 bus atliktas taške X10 Y50, tačiau įrankis, atlikus ciklą šiame taške, atsitrauks ne į R poziciją, o į pradinę Z poziciją Z3 detalės koordinačių sistemoje);

N9 G99 X30.0 R-3.0 Z-8.0 (vidinis ciklas bus atliktas aukštesniame laiptelyje taške X30 Y50, centravimo skylės gylis – 3 mm, atitraukimo pozicija – 2 mm aukščiau laiptelio galinės plokštumos (Z-5), pastūma – 120 mm/min, įrankis, įvykdžius ciklą, liks R pozicijoje);

N10 Y30.0 (tas pats ciklas G81 bus atliktas taške X30 Y30);

- N11 G98 Y10.0 (tas pats ciklas G81 bus atliktas taške X30 Y10, tačiau įrankis, atlikus ciklą, pasiliks ne R pozicijoje, o pradinėje Z pozicijoje Z3 detalės koordinačių sistemoje);
- N12 G99 X50.0 R2.0 Z-3.0 (vidinis ciklas bus atliktas aukščiausiam laiptelyje taške X50 Y10, centravimo skylės gylis – 3 mm, atitraukimo pozicija – 2 mm aukščiau galinės laiptelio plokštumos (Z0), pastūma – 120 mm/min, įrankis įvykdžius ciklą liks R pozicijoje);
- N13 Y30.0 (tas pats ciklas G81 bus atliktas taške X50 Y30);
- N14 Y50.0 (tas pats ciklas G81 bus atliktas taške X50 Y50, įrankis liks R pozicijoje, nes bus perstumtas į dešinę, jam negresia susidūrimas su detalės laipteliu);
- N15 X80.0 R-6.0 Z-11.0 (vidinis ciklas bus atliktas dešiniajame laiptelyje taške X80 Y50, centravimo skylės gylis – 3 mm, atitraukimo pozicija – 2 mm aukščiau galinės laiptelio plokštumos (Z-8.0), pastūma – 120 mm/min, įrankis įvykdžius ciklą liks R pozicijoje);
- N16 Y10.0 (tas pats ciklas G81 bus atliktas ir taške X80 Y10);
- N17 G80 (vidinio ciklo atšaukimas);
- N18 G00 Z3.0 M09 (greitasis grąžto atitraukimas į pradinę Z poziciją, nutraukiamas TAS tiekimas);
- N19 G28 Z3.0 (suklio galvutė grįžta į staklių nulį pagal Z ašį per įrankio buvimo tašką Z3);
- N20 T02 M06 (įrankis Nr. 2 – spiralinis grąžtas $\varnothing 6$ iš dėtuvės įstatomas į sukli);
- N21 S950 M03 (grąžtui suteikiamas sukimosi judesys apie ašį 950 sūk./min greičiu);
- N22 G00 X10.0 Y10.0 (greitasis grąžto ašies pozicionavimas virš skylės centro, kurio koordinatės yra X10 Y10 (11.6 pav.));
- N23 G43 Z3.0 H02 M08 (greitasis grąžto nuleidimas iki pradinio Z lygio 3 mm aukščiau detalės Z nulio (11.6 pav.), taikoma ilgio kompensacija iš kompensacijų lentelės 2-os eilutės, pradedamas tiekti TAS);
- N24 G99 G81 R-8.0 Z-23.0 F150.0 (taške X10 Y10 bus atliktas vidinis grėžimo ciklas G81, pastūma bus suteikiama grąžtui nuo atitraukimo pozicijos iki taško Z-23 (paliekama 3 mm atsarga grąžtui išeiti), atitraukimo pozicija – 2 mm aukščiau galinės apdirbamo laiptelio plokštumos, pastūma – 150 mm/min, įrankis įvykdžius ciklą liks R pozicijoje);
- N25 Y30.0 (tas pats ciklas G81 bus atliktas taške X10 Y30);
- N26 G98 Y50.0 (tas pats ciklas G81 bus atliktas taške X10 Y50, tačiau įrankis, atlikus ciklą, pasiliks ne R pozicijoje, o pradinėje Z pozicijoje Z3 detalės koordinačių sistemoje);
- N27 G99 X30.0 R-3.0 (vidinis ciklas bus atliktas aukštesniame laiptelyje taške X30 Y50, pastūma suteikiama grąžtui nuo atitraukimo pozicijos iki taško Z-23 (nesikeičia, kaip ir eilutėje N24), atitraukimo pozicija – 2 mm aukščiau laiptelio galinės plokštumos (Z-5.0), pastūma – 150 mm/min, įrankis, įvykdžius ciklą, liks R pozicijoje);
- N28 Y30.0 (tas pats ciklas G81 bus atliktas taške X30 Y30);
- N29 G98 Y10.0 (tas pats ciklas G81 bus atliktas taške X50 Y10, tačiau įrankis, atlikus ciklą, pasiliks ne R pozicijoje, o pradinėje Z pozicijoje Z3 detalės koordinačių sistemoje);
- N30 G99 X50.0 R2.0 (vidinis ciklas bus atliktas aukščiausiam laiptelyje taške X50 Y10, pastūma suteikiama grąžtui nuo atitraukimo pozicijos iki taško Z-23 (nesikeičia, kaip ir eilutėje N24), atitraukimo pozicija – 2 mm aukščiau laiptelio galinės plokštumos (Z0), pastūma – 150 mm/min, įrankis įvykdžius ciklą liks R pozicijoje);
- N31 Y30.0 (tas pats ciklas G81 bus atliktas taške X50 Y30);

N32 Y50.0 (tas pats ciklas G81 bus atliktas taške X50 Y50, įrankis liks R pozicijoje, nes bus perstumtas į dešinę, jam negresia susidūrimas su detalės laipteliu);

N33 X80.0 R-6.0 (vidinis ciklas bus atliktas dešiniajame laiptelyje taške X80 Y50, pastūma suteikiama grąžtui nuo atitraukimo pozicijos iki taško Z-23 (nesikeičia, kaip ir eilutėje N24), atitraukimo pozicija – 2 mm aukščiau galinės laiptelio plokštumos (Z-8.0), pastūma – 150 mm/min, įrankis įvykdžius ciklą liks R pozicijoje);

N34 Y10.0 (tas pats ciklas G81 bus atliktas taške X80 Y10);

N35 G80 Z3.0 M09 (vidinio ciklo atšaukimas, greitis grąžto atitraukimas į pradinę Z poziciją (Z3), nutraukiamas TAS tiekimas);

N36 G28 Z3.0 (suklio galvutė grįžta į staklių nulį pagal Z ašį);

N37 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

11.6 pav. matoma, kad gręžiamos skylės išdėstytos vienodu žingsniu viena nuo kitos, todėl programa O25643 galėtų būti gerokai sutrumpinta, jeigu vidiniame jos cikle būtų naudojamas skaitiklis L (K). Iki galo išnaudoti jo galimybes trukdo būtinumas keisti grąžto padėtį pagal aukštį pereinant nuo vieno laiptelio iki kito. Tokiu atveju galima nurodyti jam grįžti į pradinę Z poziciją (Z3) apdirbant kiekvieną skylę, programa bus vykdoma šiek tiek daugiau laiko, tačiau bus trumpesnė. Užrašysime ją taip:

O25644

(laiptuotos detalės (11.6 pav.) apdirbimo programa su skaitikliu vidiniame cikle G81);

N1 G17 G90 G54;

N2 T01 M06;

N3 S1000 M03;

N4 G00 X10.0 Y10.0;

N5 G43 Z3.0 H01 M08;

N6 G99 G81 R-8.0 Z-13.0 F120.0 (taške X10 Y10 bus atliktas vidinis gręžimo ciklas G81, centravimo skylės gylis – 3 mm nuo galinės kairiojo laiptelio plokštumos, atitraukimo pozicija – 2 mm aukščiau galinės laiptelio plokštumos, pastūma – 120 mm/min, įrankis, įvykdžius ciklą, liks R pozicijoje, 2 mm aukščiau apdirbamo laiptelio galinės plokštumos);

N7 G91 G98 Y20.0 L2 (tas pats ciklas G81 bus atliktas taške X10 Y30 ir taške X10 Y50 (du kartus 20 mm žingsniu teigiamą Y ašies kryptimi), įrankis, atlikus kiekvieną ciklą, lieka pradinėje Z pozicijoje, 3 mm aukščiau virš aukščiausio laiptelio galinės plokštumos);

N8 G90 G99 X30.0 R-3.0 Z-8.0 (tas pats ciklas G81 bus vieną kartą atliktas taške X30 Y50 (X koordinatė nurodyta absoliučiosiomis koordinatėmis, nes nurodytas G90 kodas), t. y. aukštesniame laiptelyje, įrankis, atlikus ciklą, lieka R pozicijoje, 2 mm aukščiau galinės apdirbamo laiptelio plokštumos, skylės apačios Z koordinatė taip pat keičiasi, todėl nurodoma nauja reikšmė);

N9 G91 G98 Y-20.0 L2 (ciklas G81 bus atliktas taške X30 Y30 ir taške X30 Y10 (du kartus 20 mm žingsniu neigiamą Y ašies kryptimi), įrankis kiekvieną kartą, atlikus ciklą, pasikelia į pradinę Z poziciją, 3 mm aukščiau virš galinės aukščiausio laiptelio plokštumos, toliau jis pagreitinai nusileidžia į R poziciją, kurios padėtis pasikėlė aukščiau N8 eilutėje, t. y. 2 mm aukščiau viršutinės apdirbamo laiptelio plokštumos);

N10 G99 X20.0 R-1.0 Z-5.0 (ciklas kartojamas taške X50 Y10, įrankis atlikus jį, liks R pozicijoje, ši pozicija pasikeičia ir yra 2 mm aukščiau apdirbamo aukščiausio laiptelio viršutinės plokštumos, R pozicija nurodoma prieaugiais nuo pradinės Z pozicijos nes galioja G91, taip pat pasikeičia skylės dugno Z koordinatė, ji nurodyta nuo R pozicijos prieaugiais);

N11 G99 Y20.0 L2 (ciklas G81 bus atliktas taškuose X50 Y30 ir X50 Y50, įrankis, ciklą atlikus, liks R pozicijoje, t. y. 2 mm aukščiau aukščiausio laiptelio);

N12 G90 R-6.0 Z-11.0 X80.0 (ciklas kartojamas taške X80 Y50, įrankis lieka R pozicijoje, 2 mm aukščiau dešiniojo laiptelio, nauja R pozicijos ir skylės dugno Z koordinatė nurodoma absoliučiosiomis koordinatėmis (G90));

N13 G98 Y10.0 (ciklas atliekamas taške X80 Y10, įrankis grįžta į pradinę Z poziciją atlikus ciklą);

N14 G80 M09;

N15 G28 Z3.0;

N16 T02 M06;

N17 S950 M03;

N18 G00 X10.0 Y10.0;

N19 G43 Z3.0 H02 M08;

N20 G99 G81 R-8.0 Z-23.0 F150.0 (taške X10 Y10 bus atliktas vidinis gręžimo ciklas G81, skylės dugno Z koordinatė yra -23 mm detalės koordinačių sistemoje, atitraukimo pozicija – 2 mm aukščiau apdirbamo laiptelio galinės plokštumos, pastūma – 150 mm/min, įrankis, įvykdžius ciklą, liks R pozicijoje);

N21 G98 G91 Y20.0 L2 (tas pats ciklas G81 bus atliktas taške X10 Y30 ir taške X10 Y50 (du kartus žingsniu 20 mm teigiamą Y ašies kryptimi), įrankis, atlikus kiekvieną ciklą, lieka pradinėje Z pozicijoje Z3 detalės koordinačių sistemoje);

N22 G90 G99 R-3.0 X30.0 (tas pats ciklas G81 bus vieną kartą atliktas taške X30 Y50 (X koordinatė nurodyta absoliučiosiomis koordinatėmis, nes nurodytas G90 kodas), t. y. kitame laiptelyje, įrankis, atlikus ciklą, lieka naujoje R pozicijoje, 2 mm aukščiau galinės apdirbamo laiptelio plokštumos);

N23 G91 G98 Y-20.0 L2 (ciklas G81 bus atliktas taške X30 Y30 ir taške X30 Y10 (du kartus 20 mm žingsniu neigiamą Y ašies kryptimi), įrankis, kiekvieną kartą atlikus ciklą, pasikelia į pradinę Z poziciją, 3 mm aukščiau virš galinės aukščiausio laiptelio plokštumos, toliau jis pagreitintai nuleidžiamas į R poziciją, kurios padėtis pasikelė aukščiau N22 eilutėje);

N24 G99 X20.0 R-1.0 (ciklas kartojamas taške X50 Y10, jį atlikus įrankis grįš į naują R poziciją. Nauja R pozicija yra 2 mm aukštesnė už galinę apdirbamo aukščiausio laiptelio plokštumą, jos pozicija nurodoma prieaugiais nuo pradinės Z pozicijos, nes galioja G91);

N25 Y20.0 L2 (ciklas G81 bus atliktas taškuose X50 Y30 ir X50 Y50, įrankis, atlikus kiekvieną ciklą, liks R pozicijoje, t. y. 2 mm aukščiau galinės aukščiausio laiptelio plokštumos);

N26 G90 G99 X80.0 R-6.0 (ciklas kartojamas taške X80 Y50, įrankis lieka naujoje R pozicijoje 2 mm aukščiau dešiniojo kraštinio laiptelio galinės plokštumos, R pozicija nurodoma absoliučiosiomis koordinatėmis, nes galioja G90);

N27 G98 Y10.0 (ciklas atliekamas taške X80 Y10, atlikus ciklą įrankis grįžta į pradinę Z poziciją Z3);

N28 G80 M09;
 N29 G28 Z3.0;
 N30 M30;

Naudojant skaitiklį pavyko sumažinti eilučių skaičių, tačiau atsirado papildomų nereikalingų judesių *Z* ašies kryptimi. Taip yra todėl, kad, atliekant vidinį ciklą pagal skaitiklį, įrankis negali atlikti ciklo vieną kartą ir pasikelti į vieną aukštį, po to pakartojus jį kitoje vietoje – į kitą. Ciklai su skaitikliu gali turėti tik vienodus parametrus *Z* ašies kryptimi. Situacija būtų kitokia, jei apdirbama detalė neturėtų laiptelių arba vienodu žingsniu nutolusių viena nuo kitos skylių būtų daugiau.

Gręžimo su pauze ciklas G82

Šio ciklo eilutės formatas yra toks:

G98 (arba G99) G82 X... Y... R... Z... P... F... L... (arba K...);

Ciklo metu bus atlikti tie patys judesiai, kaip ir ciklo G81 metu (11.5 pav.), išskyrus tai, kad, pasiekęs apatinį skylės tašką (nurodytą *Z* adresu), besisukantis įrankis prieš atsitraukdamas užsilaikys nurodytą (po adresu *P*, be taško) milisekundžių skaičių. Tokiu būdu apatinė kūginė skylės dalis bus apdirbta visiškai, visas medžiagos kiekis bus tikrai pašalintas. Toks ciklas naudojamas centruojant skyles centravimo grąžtais, apdirbant cilindriniais ir kūginiais gilintuvais skylių laiptelius, skirtus varžtų ir sraigčių galvutėms paslėpti (žr. I dalį, 6 sk.). Be to, šis ciklas naudingas, kai apdirbant grąžtas sukasi lėtai (pavyzdžiui, dirbant didelio skersmens grąžtais arba kai staklių suklys yra lėtaeigis) ir nespėja iki galo apsisukti apie savo ašį prieš atitraukiamas).

Parašysime programą $\varnothing 8$ mm skylei gręžti liejinyje, pavaizduotame 11.7 pav. Šiame sluoksniuotame ruošinyje medžiagos sluoksniai atskirti oro sluoksniais, todėl, pragręžus vieną sluoksnį, grąžtas turi gręžti orą, kol pasieks kito sluoksnio plokštumą. Jeigu judesys iki apatinės plokštumos bus atliktas pastūmos greičiu, gręžimo operacijos mašininis laikas bus nepagrįstai didelis, todėl reikėtų stengtis, kad grąžtas judėtų greitojo pozicionavimo greičiu nuo vieno medžiagos sluoksnio iki kito. Tam programos gręžimo cikle nenurodysime bendros atitraukimo pozicijos *R* ir skylės dugno *Z* koordinatės, o kelis kartus keisime šiuos parametrus. Gręžti naudosime ciklą G82.

098562

(skylės gręžimas liejinyje (11.7 pav.);

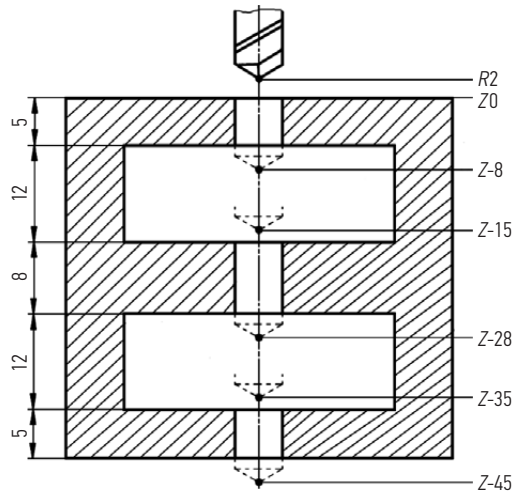
N1 G21 G17 G90 G54 (metriniai vienetai, plokštuma XY, absoliučiosios koordinatės, detalės koordinacių sistema G54);

N2 T05 M06 (įrankis Nr. 5 – $\varnothing 8$ spiralinis grąžtas iš dėtuvės įstatomas į sukli);

N3 S1000 M03 (grąžtui suteikiamas sukimo judesys apie ašį 1000 suk./min greičiu);

N4 G00 X120.0 Y120.0 (grąžto ašis greitai pozicionuojama XY plokštumoje virš skylės ašies);

N5 G43 Z6.0 H05 M08 (grąžtas pagreitinai nuleidžiamas į pradinę *Z* poziciją 6 mm aukščiau detalės *Z* nulio arba viršutinės plokštumos (11.7 pav.), prieš judesį pradėdama tiekti TAS);



11.7 pav. Sluoksniuotas liejinys ir grąžto atraminio taško padėtys atliekant pastūmos eigas cikle G82, skylė gręžiama trimis pakopomis, kiekvieną kartą atliekant ciklą G82 su pakeistomis jo adresų R ir Z reikšmėmis

N6 G99 G82 R2.0 Z-8.0 P250 F175.0 (vidinis gręžimo ciklas (skylė gręžiama viršutiniame sluoksnyje) taške X120 Y120 su 250 ms pauze pasiekus Z-8 mm gylį (5 mm plus 3 mm atsarga grąžtui išeiti), pastūma – 175 mm/min. Atlikus gręžimo ciklą grąžtas atsitraukia į poziciją Z2, nurodytą adresu R);

N7 R-15.0 Z-28.0 (gręžiamas vidurinis sluoksnis, ciklo parametrai R ir Z pakeičiami, t. y. grąžtas greitai nuleidžiamas nuo Z2 pozicijos iki naujos R pozicijos (Z-15), toliau jam suteikiama 175 mm/min pastūma iki taško Z-28. Išlaikoma 250 ms trukmės pauzė taške Z-28. Atlikus ciklą grąžtas pagreitintai atitraukiamas į R poziciją (naują, Z-15), nes nuo eilutės N6 aktyvus kodas G99);

N8 G98 R-35.0 Z-45.0 (gręžiamas apatinis sluoksnis, ciklo parametrai R ir Z vėl pakeičiami, t. y. grąžtas pagreitintai nuleidžiamas nuo Z-15 pozicijos, kurioje jis liko nuo N7 eilutės iki naujos R pozicijos (Z-35), po to suteikiama 175 mm/min pastūma iki taško Z-45. Išlaikoma 250 ms trukmės pauzė taške Z-45. Atlikus ciklą grąžtas atitraukiamas į pradinę Z poziciją (Z6), nes aktyvus kodas G98);

N9 G80 M09 (ciklo atšaukimas, TAS tiekimo nutraukimas);

N10 G28 Z6.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal ašį Z per įrankio tašką Z6);

N11 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

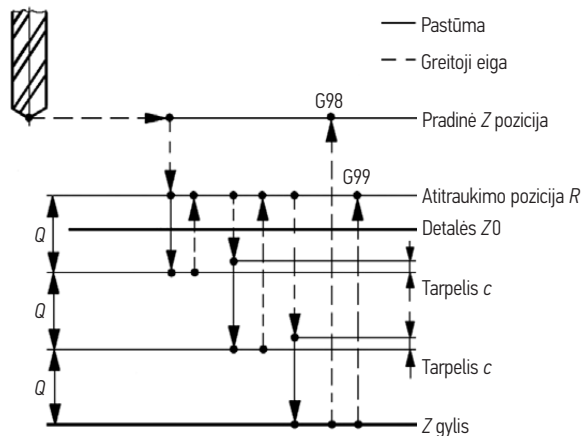
Giliojo gręžimo arba gręžimo ir kapojimo ciklas G83

Ciklo eilutė atrodo taip:

G98 (arba G99) G83 X... Y... R... Z... Q... F... L... (arba K...);

Tokio ciklo metu pirmiausia bus atliktas greitis grąžto judesys pagal X ir Y ašis į skylės centrą, kurio koordinatės nurodomos adresais X ir Y. Po to grąžto galas pa-

greitintai nuleidžiamas iš pradinės Z pozicijos į atitraukimo poziciją R , nuo kurios suteikiama pastūma, nurodyta adresu F . Ši pastūma suteikiama ne iki pat skylės dugno, o atstumu, nurodytu po adresu Q (visada teigiamasis dydis, nors judesys vyksta ir neigiamąja Z ašies kryptimi). Po to grąžtas bus pagreitintai atitrauktas į R poziciją. Toliau grąžtas greitojo pozicionavimo režimu nuleidžiamas atstumu $Q - c$ (čia c (11.8 pav.) yra tarpelis, kurio dydis nurodomas sistemos nustatymais) ir vėl suteikiama pastūma F , kol bus nueitas kitas skylės ruožas ilgiu Q (pridėjus tarpelio c dydį). Po to grąžtas vėl atitraukiamas į atitraukimo poziciją R . Vėliau vyksta greitojo pozicionavimo judesys Z ašies kryptimi atstumu $2Q - c$ ir kitas ruožas bus išgręžtas su pastūma F . Tokie judesiai bus kartojami tol, kol bus pasiektas visas skylės gylis, nurodytas adresu Z . Pasiekęs dugną grąžtas atsitrauks arba į atitraukimo poziciją R (kai nurodytas $G99$) arba į pradinę Z poziciją (kai nurodytas $G98$). Visi šie judesiai schemiškai parodyti 11.8 pav.



11.8 pav. G83 vidinio ciklo parametrai ir įrankio judesiai

Šis ciklas naudojamas gilioms skylėms gręžti, norint palengvinti pjovimo sąlygas išlaisvinant grąžto drožlių griovelius nuo drožlių ir kartu aušinant grąžtą.

Naudojant šį, taip pat ir kitus panašius ciklus, labai svarbu tinkamai parinkti atskirų kapojimų skaičių ir ilgį, kad, viena vertus, be reikalo nepadidėtų ciklo trukmė (laiko nuostoliai gali būti gana dideli, kai šiuo ciklu apdirbama daug skylių), o kita vertus, užtikrinti palankiausias pjovimo sąlygas.

Kapojimų skaičius priklauso nuo atstumo tarp taško, kuriame prasideda pastūmos judesys (R pozicija) ir taško, kuriame grąžtas galutinai nustoja judėti Z ašies kryptimi gilyn (Z gylis), taip pat nuo eigos dydžio Q . Priklausomai nuo to, absoliučiuju režimu ($G90$) ar prieaugių režimu ($G91$) užprogramuotas ciklas, kapojimų skaičius gali būti nustatytas skirtingai. Pirmuoju atveju šis skaičius gali būti nustatytas taip:

$$n = \frac{|Z - R|}{Q}, \quad (11.1)$$

čia: n – kapojimų skaičius, vnt.; Z – užprogramuota skylės apatinio taško absoliučioji koordinatė, mm; R – užprogramuota atsitraukimo pozicijos absoliučioji Z koordinatė, mm; Q – grąžto eiga (visada teigiamas dydis), mm.

Prieaugių atveju kapojimų skaičius bus nustatytas taip:

$$n = \frac{|Z|}{Q}, \quad (11.2)$$

čia: n – kapojimų skaičius, vnt.; Z – užprogramuota skylės apatinio taško Z koordinatė, prieaugiais nuo R pozicijos (11.2 pav.), mm; Q – grąžto eiga (visada teigiamas dydis), mm.

Suprantama, kad skaičius n turi būti sveikasis, jis suapvalinamas iki artimiausio didesnio sveikąjo skaičiaus. Pavyzdžiui:

G90 G99 G83 X... Y... R2.0 Z-35.0 Q15.0 F...;

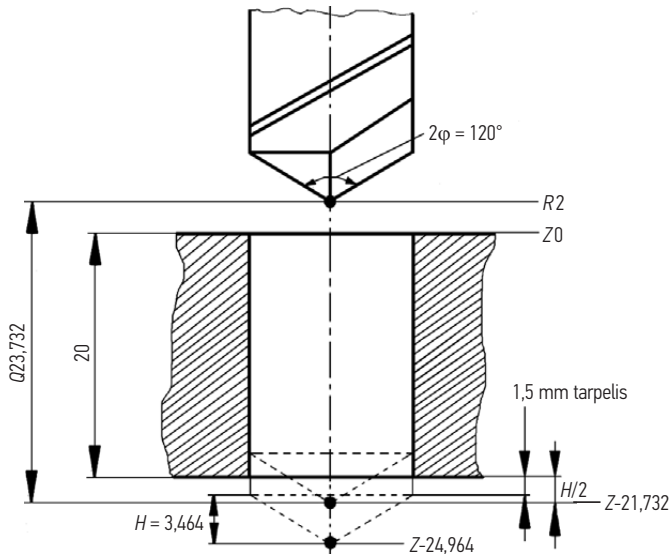
Tokia eilutė užprogramuotame cikle skylėi išgręžti bus atlikti trys kapojimai (pagal 11.1 $|-35-2|/15 = 2,47 = 3$). Tačiau tai jokiū būdu nereiškia, kad nuo R pozicijos įrankiu bus įveiktas 45 mm atstumas ($3 \times 15 = 45$ mm) vietoje nurodytų 37 mm ($2 + 35 = 37$ mm). Nurodyta skylės dugno Z koordinatė nebus viršijama bet kuriuo atveju, ji yra prioritetingė prieš kapojimo ilgį Q . Bus atlikti du kapojimai, kurių ilgis – 15 mm (čia nevertinamas tarpelio c dydis), ir pabaigoje vienas, kurio ilgis yra lygus 7 mm ($37 - 30 = 7$ mm). Pakeitus eilutę į tokią:

G90 G99 G83 X... Y... R2.8 Z-35.0 Q12.6 F...;

bus atlikti trys kapojimai, 12,6 mm ilgio kiekvienas ($12,6 \times 3 = 37,8 = 35 + 2,8$).

Iš formulių 11.1 ir 11.2 aišku, kad didinant kapojimo ilgį Q kapojimų skaičius mažės, mažinant – didės. Operuojant šiuo skaičiumi, galima gerinti apdirbimo kokybę. Pavyzdžiui, taikant gręžimo ir kapojimo ciklą galima pagerinti grąžto prasilaužimo pro medžiagą sąlygas skylės gale. Žinoma, kad gręžiant kiauras skylės kietoje medžiagoje, kai grąžtas prasilaužia pro apatinę medžiagos sluoksnį, susidaro gana nepalankios pjovimo sąlygos. Grąžtas išspaudžia likusią medžiagą (susidaro diskai, dar vadinami „pinigais“), o ne nupjauna ją. Tokiu būdu apatinė skylės dalis bus negražiai apdirbta, skylės krašte gali atsirasti užvartų, įdrėskimų ir pan. Tokios sąlygos taip pat gali susidaryti gręžiant skylės atšipusiu grąžtu, gręžiant su didele pastūma, kai TAS nepasiekia grąžto pjovimo briaunas ir pan. Vienas iš būdų šiai problemai išspręsti – laikinai sumažinti grąžto spaudimą skylės gale, kai jis dar ne iki galo pralaužė medžiagos sluoksnį. Tam labai tinka vidinis ciklas G83 (arba G73, kuris bus nagrinėjamas toliau), labai svarbu yra teisingai paskirstyti paskutinių dviejų kapojimų ilgius Q . Ciklas turi būti užprogramuotas taip, kad paskutinio ir priešpaskutinio kapojimų ilgiai nebūtų vienodi, paskutinės pastūmos eigos ilgis turi būti daug trumpesnis už kitus.

Pavyzdžiui, 11.9 pav. parodyta ciklo parametrų schema, kai gręžiama 12 mm skersmens kiaura skylė 20 mm storio plokštelėje. Dažniausiai tokiam darbui nereikia



11.9 pav. Gręžimo ir kapojimo ciklo parametrai gręžiant skylę 20 mm storio ruošinyje

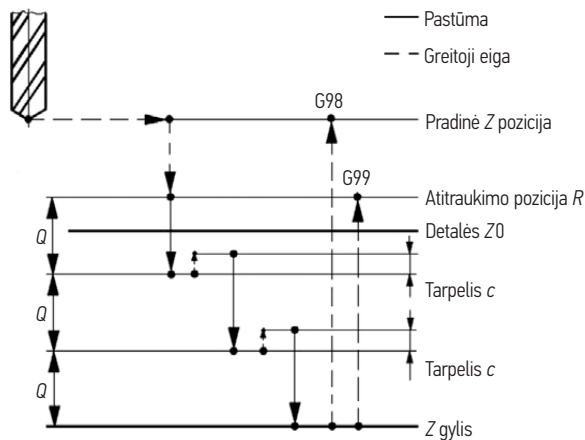
gręžimo ir kapojimo ciklo, galima apsieiti paprasto gręžimo ciklu G81, tačiau atsiradus minėtai problemai galima pritaikyti ir ciklą G83. Sakykime, kad grąžto viršūnės kampas $2\varphi = 120^\circ$. Tada pjovimo briaunos aukštis gali būti nustatytas iš formulės $H = \frac{D}{2} \tan 30^\circ = 6 \times 0,577 = 3,464$ mm (11.9 pav.). Padalysime gautą skaičių pusiau ir pridėsime prie plokštės storio: $20 + 1,732 = 21,732$. Tai ir bus pirmos gręžimo eigos pabaigos Z koordinatė. Pridėję atstumą iki atitraukimo plokštumos (sakykime, jis 2 mm, 11.9 pav.) gaunamas kapojimo ilgis $Q = 21,732 + 2 = 23,732$ mm. Žemiausio taško, į kurį atvyks grąžtas, antrosios gręžimo eigos metu Z koordinatė nustatoma pridėjus prie gautos koordinatės 1,5 mm atsargą (11.9 pav.) ir likusią pjovimo briaunos aukščio dalį: $21,732 + 1,5 + 1,732 = 24,964$ mm. Taigi dabar jau galima užprogramuoti ciklą absoliučiosiose koordinatėse:

G90 G99 G83 X... Y... R2.0 Z-24.964 Q23.732 F...;

Atliekant šią eilutę įrankis pagreitintai nuleidžiamas iš pradinės Z pozicijos į atitraukimo R poziciją (Z2). Po to jam bus suteiktas pastūmos (adresas F) judesys, kurio ilgis – 23,732 mm (Q), įrankio atraminis taškas atsidurs taške Z–21,732 (11.9 pav.). Toliau įrankis pagreitintai atitraukiamas į R poziciją ir vėl nukreipiamas į tašką Z–21,732, nepasiekiant jo tarpelio c (11.8 pav.) dydžiu. Paskui įrankiui bus suteiktas pastūmos judesys, kurio ilgis – 23,732 mm (Q), tačiau toks judesys bus per ilgas norint pasiekti nurodytą Z koordinatę –24,964. Dėl to įrankis atliks tik 3,232 mm ($24,964 - 21,732$) ilgio eigą (neskaitant tarpelio c dydžio) ir bus atitrauktas į R poziciją, kaip nurodo G99 kodas.

Našus giliojo gręžimo arba gręžimo ir kapojimo ciklas G73

Šio ciklo formatas yra toks pat kaip ir G83. Jame išlieka visi tie patys ciklo parametrai kaip ir prieš tai nagrinėtame cikle G83. Ciklas veikia panašiai, išskyrus tai, kad grąžtas, atlikęs pastūmos eigą, kurios ilgis nurodytas adresu Q, grįžta ne į atitraukimo poziciją R, kaip G83 cikle, o pasikelia nurodomu sistemos nustatymais (arba nustatytu gamintojo) tarpelio dydžiu c , kaip parodyta 11.10 pav. Tokiu būdu skylė išgręžiama šiek tiek greičiau negu naudojant G83 ciklą, mažėja pagalbinis laikas, skirtas grąžtui pagreintintai atsitraukti į R poziciją ir grįžti iš jos į kitos gręžimo eigos pradžios poziciją. Šis ciklas naudojamas tada, kai ne taip svarbu aušinti įrankį, kaip laužyti drožlę (pvz., gręžiant galias skylės lengvai apdirbamoje medžiagoje).



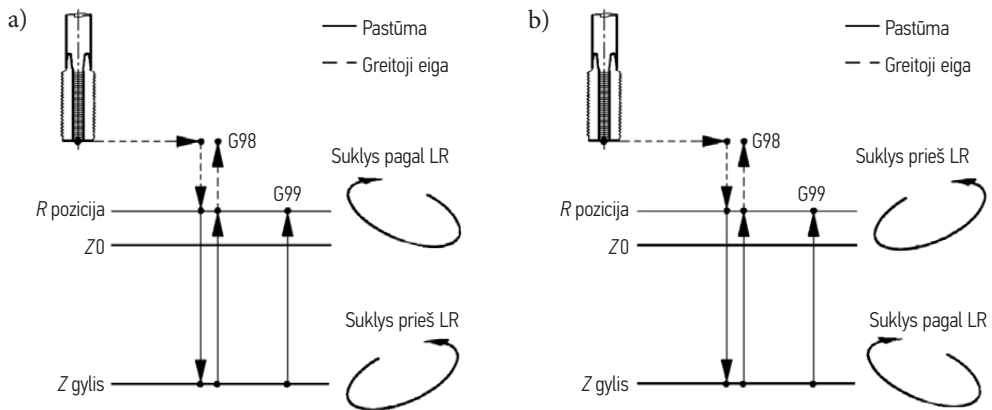
11.10 pav. Ciklo G73 parametrai ir įrankio judesiai

Dešinio sriegio sriegimo sriegikliu ciklas G84

Toks ciklas naudojamas skylių dešinius sriegius sriegti sriegikliais (taip pat dešininiais), kai suklys pjovimo eigos metu sukasi pagal laikrodžio rodyklę, paleistas kodu M03. Ciklo eilutė atrodo taip:

G98 (arba G99) G84 X... Y... R... Z... F... L... (arba K...);

Vykdamas ciklą, besisukantis pagal laikrodžio rodyklę (kai kuriuose staklių modeliuose kryptis bus automatiškai pakeista, jei netyčia suklys buvo paleistas suktais prieš laikrodžio rodyklę prieš ciklą) sriegiklis greitai pozicionuojamas virš skylės centro, kurio padėtis apibrėžiama X ir Y koordinatėmis eilutėje, po to (11.11 pav., a) pagreintintai nusileis iki atitraukimo pozicijos (R adresas, absoliučiosios koordinatės (G90) arba prieaugiai (G91), 11.2 pav.). Pasiekus šį tašką įrankiui suteikiamas pastūmos judesys išilgai Z ašies (adresas F), suderintas su sriegiklio sukimo judesiu. Pastūma nutraukiama pasiekus tašką, nurodytą Z adresu (absoliučiosiomis koordinatėmis arba prieaugiais, 11.2 pav.), suklys pradeda sukintis į kitą pusę (prieš laikrodžio rodyklę – bus



11.11 pav. G84 (a) ir G74 (b) sriegimo ciklų parametrai ir įrankių judesiai

automatiškai aktyvuotas kodas M04, sukiai nepasikeis, tik kryptis), jam suteikiamas pastūmos judesys teigiamąja ašies Z kryptimi tol, kol sriegiklio galas pasieks atitraukimo poziciją. Toliau, priklausomai nuo to, koks kodas – G99 arba G98 – nurodytas eilutėje, sriegiklis liks R pozicijoje arba bus pagreitintai atitrauktas į pradinę Z poziciją (G98). Atitraukus suklio sukimosi kryptis vėl automatiškai bus keista į M03. Tokiu būdu galima kartoti ciklą nurodant naujos skylės centro X ir Y koordinatas.

Norint teisingai įpjauti sriegį, sriegikliui turi būti suteikta reikiamo dydžio pastūma, t. y. sriegiklis, apsisukęs vieną kartą aplink savo ašį, turi būti perstumtas Z ašies kryptimi sriegio žingsnio atstumu. Minutinė pastūma pjaunant metrinį sriegį gali būti nustatyta taip:

$$s_m = Pn, \quad (11.3)$$

čia: s_m – minutinė pastūma, mm/min; P – sriegio žingsnis, mm; n – suklio sukiai, sūk./min.

Coliniam sriegiui pjauti formulė 11.4 atrodys taip:

$$s_m = \frac{25,4n}{TPI}, \quad (11.4)$$

čia: s_m – minutinė pastūma, mm/min; TPI – vijų skaičius viename colyje, vnt.; n – suklio sukiai, sūk./min.

Pjaunant sriegius režimu, kai pastūma nurodoma mm/sūk., po F adreso programuojama sriegio žingsniui lygi pastūma. Colinio sriegio pastūmos dydis, mm/sūk., gali būti nustatytas kaip $25,4/TPI$.

Suklio sūkių ir pastūmos viršijimo mygtukus (*Override*), vykdant ciklą G84 (ir G74), valdymo sistema blokuoja, visi anksčiau atlikti viršijimai dažniausiai bus atšaukti automatiškai.

Pateiksime programos pavyzdį. Sakykime, reikia išriesti 2-ose skylėse dešininį sriegį sriegikliu M8×1, skylės jau išgręžtos pagal kitą programą arba tos pačios pro-

gramos dalį, jų centrų koordinatės yra $X_{80,375}$ $Y_{100,75}$ ir $X_{120,375}$ $Y_{111,75}$ detalės koordinacijų sistemoje. Programa atrodytų taip:

000841

($M8 \times 1$ sriegio sriegimas sriegikliu);

N1 G21 G90 G54 (metriniai vienetai, absoliučiosios koordinatės, detalės koordinacijų sistema G54);

N2 T05 M06 (sriegiklis iš dėtuvės lizdo Nr. 5 įstatomas į suklij);

N3 S500 M03 (sriegikliui suteikiamas sukimosi judesys pagal laikrodžio rodyklę 500 sūk./min greičiu);

N4 G00 $X_{80.375}$ $Y_{100.75}$ (greitasis sriegiklio ašies pozicionavimas virš 1-os skylės centro pagal X ir Y ašis);

N5 G43 Z15.0 H05 M08 (greitasis sriegiklio galo (taikoma ilgio kompensacija iš 5-os kompensacijų lentelės eilutės) pozicionavimas pradinėje Z pozicijoje 15 mm aukščiau detalės Z nulio (Z15.0), prieš judesį įjungiamas TAS siurblys);

N6 G99 G84 R8.0 Z-22.0 F500.0 (dešinio sriegio sriegimo ciklas, skylės centro koordinatės nenurodytos, todėl ciklas bus pritaikytas paskutiniame užprogramuotame N4 eilutėje taške $X_{80,375}$ $Y_{100,75}$, pastūma – 500 mm/min (1 mm \times 500 sūk./min pagal 11.3, įrankis ciklo pabaigoje lieka atitraukimo pozicijoje (G99), nurodytoje po adresu R);

N7 G98 $X_{120.375}$ $Y_{111.75}$ (ciklas kartojamas taške $X_{120,375}$ $Y_{111,75}$, įrankis po ciklo atitraukiamas į pradinę Z poziciją);

N8 G80 M09 (vidinio ciklo ir TAS tiekimo atšaukimas);

N9 G28 Z15.0 (suklio galvutė gražinama į staklių nulį pagal Z ašį per įrankio buvimo tašką);

N10 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Šiame cikle turi būti atkreiptas dėmesys ne tik į tai, kad pastūma turi būti tiksliai suderinta su suklio sūkiais, bet ir tai, kad įrankio atitraukimo pozicija yra labiau nutolusi nuo detalės Z nulio negu gręžimo cikle G81 arba kitame panašiam. Taip daroma ne todėl, kad yra kliūčių, kurias reikia aplenksti, o tam, kad sriegiklis spėtų įsibėgėti nuo 0 iki 500 mm/min greičio. Sriegiant labai svarbu, kad sriegiklis, pradėjęs kontaktuoti su apdirbamąja medžiaga, jau judėtų nurodytu pastūmos greičiu. Tada visos įsriegto sriegio vijos bus vienodo žingsnio ir bus gautas kokybiškas sriegis. Optimali atitraukimo pozicijos R padėtis priklauso nuo užprogramuotos pastūmos ir nustatoma dažniausiai eksperimentais. Pradžioje galima imti R poziciją ne mažesnę kaip $4P$, čia P – sriegio žingsnis.

Kairinio sriegio sriegimo sriegikliu ciklas G74

Šis ciklas yra visiškai identiškas ciklui G84 pagal formatą (vietoje G84 užrašoma G74) ir pagal veikimą (11.11 pav., b), tačiau čia yra vienas skirtumas – suklys, kai pjaunamas sriegis (t. y. judesio iš atitraukimo pozicijos iki skylės dugno), turi sukty prieš laikrodžio rodyklę, o ne pagal ją (paleistas kodu M04). Pasiekęs skylės dugną jis automatiškai pakeis sukimosi kryptį priešinga (M03), kad ištrauktų sriegiklį iš skylės. Ištraukus kryptis vėl pasikeis į M04. Tokiu būdu skylėje bus įsriegtas kairinis sriegis, sriegiklis turi būti kairinis.

Ištekinimo su atbuline pastūma ciklas G85

Ciklo formatas yra toks:

G98 (arba G99) G85 X... Y... R... Z... F... L...
(arba K...);

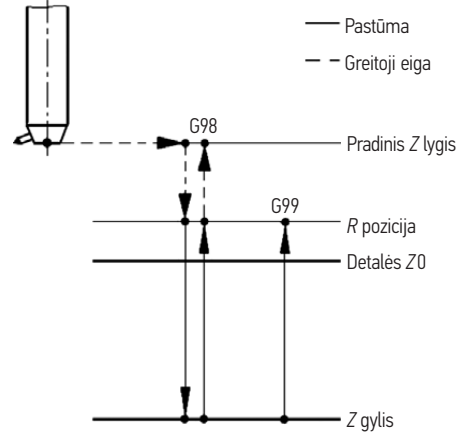
Pagal šią eilutę ištekinimo galvutės (arba kito ašinio įrankio, pavyzdžiui, plėstuvo, grąžto) sukimosi ašis bus sutapdinta su skylės centru pagal X ir Y ašis, toliau įrankis pagreitinai nuleidžiamas nuo pradinės ciklo Z pozicijos iki atitraukimo pozicijos, nurodytos po adresu R absoliučiosiomis (jei galioja G90) koordinatėmis arba prieaugiais (kai galioja G91). Nuo atitraukimo pozicijos įrankiui bus suteikiama pastūma, nurodoma adresu F tol, kol jo atraminis taškas nepasieks užprogramuoto Z adresu gylio, nurodyto atitinkamai absoliučiosiomis koordinatėmis (nuo detalės $Z0$) arba prieaugiais (nuo R pozicijos). Po to besisukančiam įrankiui bus suteiktas *pastūmos* F (o ne greitojo pozicionavimo judesys kaip G81, G82 ir G83 cikluose!) judesys į atitraukimo poziciją (jei nurodytas G99) arba į pradinę ciklo poziciją (jei nurodytas G98). Tai ir yra vienintelis, tačiau esminis skirtumas tarp G85 ir ciklo G81. Visa tai pavaizduota 11.12 pav.

Šis ciklas naudojamas dažniausiai skylėms ištekinimo galvutėmis ir plėsti plėstuvais, kai skylės matmenų tikslumui padidinti ir paviršiaus šurkštumui sumažinti įrankiui suteikiama pastūma ne tik į skylės vidų, bet ir ištraukiant jį iš skylės (atliekamas paviršiaus išvaikščiojimas). Tokiu būdu nuimamas plonas medžiagos sluoksnis, kuris liko skylės paviršiuje, atsitraukus nuo jo ištekinimo peiliui dėl pjovimo jėgos, kai įrankis juda žemyn ir nupjauna užlaidą. Plėtimo metu šis ciklas suteikia plėstuvo kalibravimo dantims galimybę dar daugiau kontaktuoti su apdirbtu paviršiumi, glotniau jį apdirbant. Šis ciklas iš esmės tinka ir gręžimui, tik grąžtas nebus pagreitinai ištrauktas iš skylės, o bus ištraukiamas pastūmos greičiu, gręžimo pakopa užtruks didesnę laiko tarpą, palyginti su G81 ciklu.

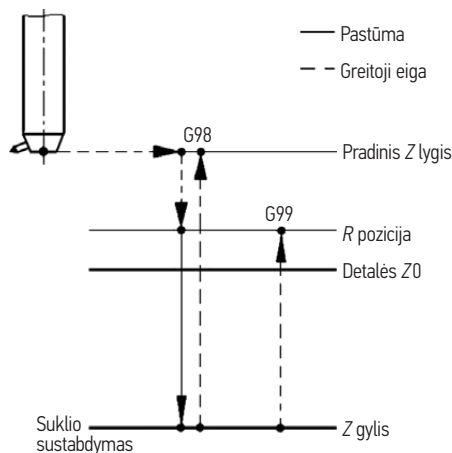
Ištekinimo be atbulinės pastūmos ciklas G86

Šis ciklas labiau panašus į gręžimo ciklą G81 negu į G85 ciklą, nuo G81 jį skiria tik tai, kad įrankiui pasiekus adresu Z nurodytą gylį, suklys sustabdomas. Ciklo formatas yra toks:

G98 (arba G99) G86 X... Y... R... Z... F... L... (arba K...);



11.12 pav. Ištekinimo ciklo G85 įrankio judesiai ir parametrai



11.13 pav. Ištekimo ciklo G86 parametrai ir įrankio judesiai

Šio ciklo metu įrankis pagreitinai pozicionuojamas taške $X... Y...$, toliau jis pagreitinai nuleidžiamas iki atitraukimo pozicijos R ir nuo šiuo taško jam suteikiama pastūma iki Z adresu užprogramuoto gylio. Po to suklys sustabdomas ir įrankis pagreitinai atitraukiamas į pradinę ($G98$) arba į atitraukimo poziciją ($G99$), kaip pavaizduota 11.13 pav. Tai, kad suklys bus sustabdytas ir įrankis bus atitrauktas greitojo pozicionavimo režimu, skiria ciklą $G86$ nuo $G85$ ciklo. Atitraukiant Z ašies kryptimi ištekimo peilio viršūnė gali braižyti apdirbtą paviršių, todėl ciklas $G86$ naudojamas skylėms rupiai ištekinti ištekimo galvutėmis, t. y. šiuo ciklu ap-

dirbamos skylės, kurios bus dar papildomai apdirbamos glotniai. Nerekomenduojama šio ciklo taikyti gręžiant, vietoje gręžimo ciklo $G81$, nes įrankiui ištraukiant suklys nesisuks, dėl to grąžto grioveliuose esanti drožlė gali apgadinti išgręžtos skylės paviršių, o mažo skersmens grąžtas gali lūžti. Šis ciklas taip pat netinka plėtimui.

Atbulinio ištekimo ciklas $G87$

Šis ciklas naudojamas laiptuotoms skylėms ištekinti, kai reikia ištekinti laiptelį, kurio galutinis skersmuo yra didesnis už aukščiau esančio laiptelio skersmenį, kaip parodyta 11.15 pav. Ciklas $G87$ gali būti užprogramuotas dvejopai:

$G98 G87 X... Y... R... Z... Q... F... L... (arba K...);$

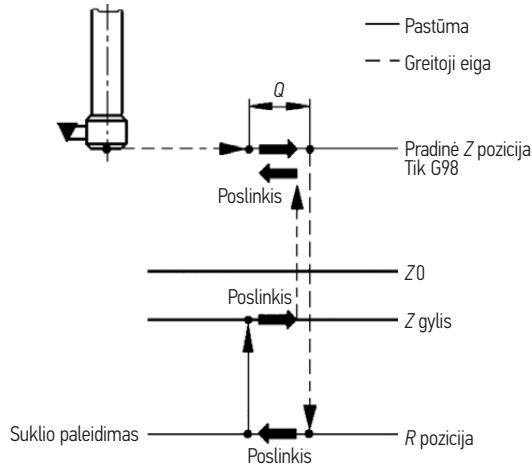
arba

$G98 G87 X... Y... R... Z... I... J... F... L... (arba K...);$

čia: Q – ištekimo galvutės poslinkio, vykdomo prieš atliekant greitojo pozicionavimo judesius Z ašies kryptimi iš pradinės ciklo Z pozicijos iki R pozicijos ir atgal iš Z gylio pozicijos iki pradinės ciklo Z pozicijos, dydis plokštumoje XY , kai nenaudojami adresai I ir J (reikšmė tik teigiamoji, prieaugiais); I, J – adresai, kurie nurodo ištekimo galvutės poslinkio dydį ir kryptį X bei Y ašių kryptimi atitinkamai, kai nenaudojamas adresas Q (reikšmė gali būti teigiamoji arba neigiamoji, prieaugiais).

Ciklas vykdomas tokiomis pakopomis (11.14 pav.):

1. Greitasis ištekimo galvutės ašies pozicionavimas virš skylės centro pagal X ir Y ašis.
2. Automatinis suklio sustabdymas, nepaisant anksčiau programoje nurodytų kodų $M03/M04$.



11.14 pav. Ciklo G87 įrankio judesiai ir parametrai

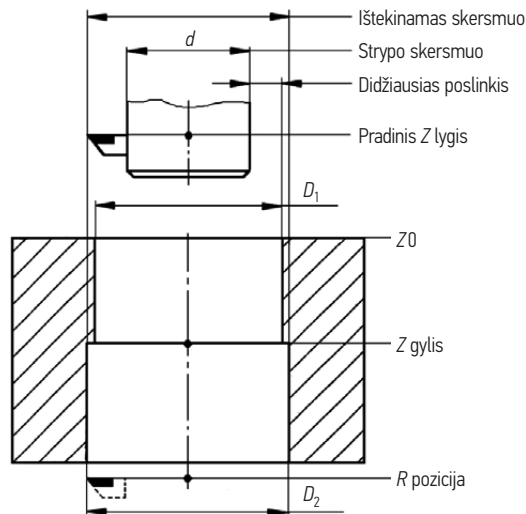
3. Suklio pasukimas į nulio poziciją.
4. Galvutės perstūmimas XY plokštumoje užprogramuotais adresu Q arba adresais I ir J atstumais (pagal X ir Y ašis atitinkamai), kad peilis galėtų pereiti per skylę (11.14 pav.).
5. Greitasis judesys į atitraukimo poziciją R , kuri šiuo atveju yra žemiau Z gylis pozicijos.
6. Perstūmimas plokštumoje XY nurodytais adresu Q arba adresais I ir J atstumais į pradinę padėtį (prieš vykdant 4 p.).
7. Sukliui suteikiamas sukimosi judesys pagal laikrodžio rodyklę ($M03$) paskutiniiais užprogramuotais sūkais (S).
8. Tiesinės interpoliacijos judesys su pastūma F į nurodytą adresu Z gylis poziciją.
9. Suklio sustabdymas.
10. Suklio pasukimas į nulio poziciją.
11. Galvutės perstūmimas XY plokštumoje užprogramuotais adresu Q arba adresais I ir J atstumais į nustatytą 4 p. poziciją XY plokštumoje.
12. Greitasis įrankio atitraukimas į pradinę ciklo Z poziciją pagal ašį Z .
13. Perstūmimas plokštumoje XY nurodytais adresais Q arba I ir J atstumais į pradinę padėtį (1 p.).
14. Sukliui suteikiamas sukimosi judesys pagal laikrodžio rodyklę ($M03$) paskutiniiais užprogramuotais sūkais (S).

Šiam ciklui programuoti neleidžiama naudoti kodo $G99$, t. y. atlikus ciklą negalima palikti įrankio atitraukimo pozicijoje.

Ciklo $G87$ praktinis taikymas yra apribotas dėl to, kad šiai operacijai atlikti reikia specialios ištekinimo galvutės, kuri yra nepigi. Be to, ją reikia labai atsargiai naudoti (ypač atidžiai nustatyti atstumus Q arba I ir J) dėl didelės susidūrimų rizikos. Daž-

niausiai yra kur kas paprasčiau apversti detalę ir ištekinti skylę naudojant G86 arba kitokį ištekimo ciklą.

Pažvelgsime į 11.15 pav. Jame matyti, kad ištekimo galvutė su peiliu gali saugiai pasislinkti žemyn tik tada, kai tarp viršutinės skylės paviršiaus ir peilio viršūnės yra tarpas. Jeigu ištekimo galvutė bus nuleidžiama iki R pozicijos nepasislinkusi (taip, kaip parodyta 11.15 pav.), peilio viršūnė bus sulaužta. Operatoriaus užduotis – išnaudoti tarpą tarp galvutės korpuso (strypo) ir skylės paviršiaus priešingoje peilio pusėje poslinkiui, kad ištekimo galvutė būtų saugiai nuleista iki R pozicijos. Čia susiduriama su viena problema. Saugiai patraukti peilio viršūnę nuo paviršiaus galima tik tada, kai kampinė jos padėtis yra žinoma. Pavyzdžiui, 11.15 pav. pavaizduotu atveju, galvutė gali būti patraukiama į dešinę, bet ne į kairę, t. y. teigiamąja ašies X kryptimi. Sukliui sustojus bet kurioje padėtyje viršūnė gali atsidurti ir priešingoje pusėje, patraukus galvutę žemyn, peilis atsitrenks į detalę. Todėl šiame cikle suklys prieš pasitraukiant atstumu Q (arba I ir J) orientuojamas į fiksuotą kampinę suklio padėtį (kampinį suklio nulį), kuri nustatyta gamintojo ir naudojama šiam ciklui (3 ir 10 punktai). Todėl, kai iš dėtuvės imama ištekimo galvutė, peilio viršūnė turės pastovią padėtį skylės paviršiaus atžvilgiu. Ši orientacija gali būti pasiekta ir kodu M19 MDI režimu. Užduotis operatoriui – nustatyti teisingą (kad peilio viršūnė atsitrauktų nuo skylės paviršiaus, o ne priešingai) poslinkio kryptį ir nurodyti ją valdymo sistemai. Kai naudojamas adresas Q , juo ciklo eilutėje nurodomas tik poslinkio dydis (tai visada teigiamas dydis), o poslinkio kryptis ($X+$, $X-$, $Y+$, $Y-$) nurodoma valdymo sistemos nustatymais. Kitas būdas – naudoti adresus I (X ašies kryptimi) arba J (Y ašies kryptimi). Kryptis šiuo atveju nustatoma ženklų prie poslinkio reikšmės. Antrasis būdas yra ne toks populiarus kaip pirmasis.



11.15 pav. Laiptuota skylė detalėje, apatinis laiptelis apdirbamas ciklu G87 (Smid 2003)

Ištekinimo galvutė apibrėžtoje kampinėje padėtyje turi būti ne tik pasitraukdama atstumu Q (arba I ir J), bet ir judėdama žemyn į R poziciją, taip pat pasikeldama aukštytyn po ciklo į pradinę Z poziciją. Suklys jokiū būdu neturi sukstis šių veiksmų metu. Tai vykdo valdymo sistema, kuri paleidžia suklij sukstis tik įrankiui pasiekus R poziciją ir pasitraukus atgal atstumu Q XY plokštumoje. Sistema automatiškai sustabdys suklij ir pasuks jį į tą pačią nulinę kampinę padėtį, kai bus pasiektas užprogramuotas Z gylis, prieš perstumiant suklij atstumu Q norint ištraukti galvutę.

Akivaizdu, kad mažiausias dydis Q turi būti ne mažesnis už skersmenų D_2 ir D_1 skirtumo pusę, tačiau jis neturi viršyti ir D_1 ir galvutės korpuso skersmenų skirtumo, padalyto pusiau. Matematiškai tarpelio dydis turi tenkinti nelygybę:

$$\frac{D_2 - D_1}{2} < Q < \frac{D_1 - d}{2}, \quad (11.5)$$

čia d – ištekinimo galvutės korpuso (strypo) skersmuo.

Pateiksime programos fragmentą skylei $\varnothing 28$ mm ištekinti iš detalės apačios (11.15 pav., D_2). Pirmo laiptelio skersmuo tegul bus 25 mm (D_1), ilgis – 16 mm. Saakykime, kad visos detalės ilgis – 32 mm. Programos fragmentas atrods taip:

N1 G21 G17 (metriniai vienetai, plokštuma XY);

N2 G90 G54 (absoliučiosios koordinatės, detalės koordinačių sistema G54);

...;

... (skylės $\varnothing 25 \times 32$ mm apdirbimo programos fragmentas);

...;

N17 T01 M06 (įrankis Nr. 1 – suderinta 28 mm skersmeniui ištekinimo galvutė įstatoma į suklij);

N18 G00 X0.0 Y0.0 (galvutės ašis greitai pozicionuojama virš skylės centro XY plokštumoje);

N19 S1000 M03 (galvutei suteikiami sūkiai pagal laikrodžio rodyklę – 1000 sūk./min greičiu);

N20 G43 Z10.0 H01 M08 (galvutės atraminis taškas greitai nuleidžiamas į pradinę Z poziciją 10 mm aukščiau detalės Z nulio (viršutinė plokštuma), pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės, įjungiamas TAS siurblys);

N21 G98 G87 R-35.0 Z-16.0 Q3.0 F150.0 (vidinis ciklas skylei, kurios skersmuo $D_2 = 28$ mm (11.15 pav.), ištekinti, R pozicija pasirenkama 3 mm žemiau detalės apatinės plokštumos, poslinkio dydis – 3 mm, o tai yra dvigubai daugiau kaip $(D_2 - D_1)/2 = (28 - 25)/2 = 1,5$ mm);

N22 G80 M09 (ciklo atšaukimas, išjungti TAS siurblij, įrankis lieka pradinėje Z pozicijoje Z10);

N23 G28 Z10.0 (suklio galvutės grįžimas į staklių nulį pagal Z ašį iš esamos įrankio pozicijos);

N24 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Ištekinimo su sustojimu ciklas G88

Ciklo formatas yra toks:

G98 (arba G99) G88 X... Y... R... Z... P... F... L... (arba K...);

Vykdamt šį ciklą ištekinimo galvutė bus pagreitintai nukreipta į tašką X... Y... XY plokštumoje, po to pagreitintai nuleista iki atitraukimo pozicijos R... ir jai bus suteiktas pastūmos judesys iki nurodytos adresu Z... pozicijos (gylis). Pasiekus apatinę

skylės tašką bus atlikta adresu P užprogramuotos trukmės pauzė (ms, reikšmė nurodoma be taško), suklys nustos suktis, o staklės pereis į pastūmos užlaikymo režimą (panašiai kaip ir paspaudus mygtuką *Feed Hold* operatoriaus skydelyje). Operatorius, persijungęs į rankinio valdymo režimą, galės atlikti tam tikrus veiksmus su įrankiu, o paskui paleisti vėl programą mygtuku *Cycle Start* ir pratęsti programos vykdymą. Paspaudus šį mygtuką įvyks greitis galvutės atitraukimas į atitraukimo poziciją (jei nurodytas G99) arba į pradinę poziciją (jei nurodytas G98). Suklys vėl pradės suktis anksčiau nustatytais sūkiiais.

Šis ciklas naudojamas labai retai, tik jei reikia atlikti tam tikrus veiksmus su įrankiu, esančiu skylės apačioje. Dažniausiai naudojamas tada, kai norima rankinio persislinkimo režimu atitraukti peilio viršūnę nuo apdirbto paviršiaus, kad galvutė, judėdama atgal, nepalikytų žymių paviršiuje. Šiuolaikinėse staklėse, kurios leidžia nustatyti suklį į nulinę kampinę padėtį, tokiems tikslams naudojami specialūs ciklai su automatinio atitraukimu (pvz., G76). Tačiau senesniuose įrengimuose gali ir nebūti tokios galimybės. Tada naudojamas ciklas G88.

Ištekinimo su pauze ciklas G89

Ciklas programuojamas tokia eilute:

G98 (arba G99) G89 X... Y... R... Z... P... F... L... (arba K...);

Šis ciklas yra ištekinimo ciklo G85 (11.12 pav.) kopija, tik pasiekus įrankiui nurodytą Z gylį bus išlaikyta adresu P... (ms, reikšmė nurodoma be taško) nurodytos trukmės pauzė. Jai pasibaigus įrankiui suteikiamas pastūmos (adresas F...) judesys išilgai Z ašies iki atitraukimo pozicijos R... Po to įrankis, priklausomai nuo kodų G98/G99, bus greitojo pozicionavimo judesio greičiu grąžintas į pradinę Z poziciją (G98) arba liks R pozicijoje (G99).

Glotniojo ištekinimo ciklas G76

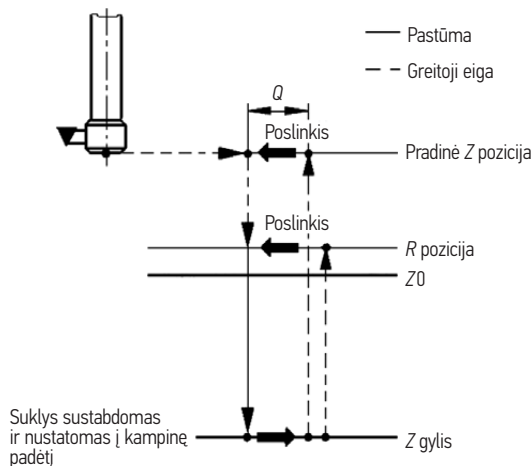
Ciklas, panašiai kaip ir G87, gali būti programuojamas dvejopai:

G98 (arba G99) G76 X... Y... R... Z... P... Q... F... L... (arba K...);

arba

G98 (arba G99) G76 X... Y... R... Z... P... I... J... F... L... (arba K...);

Vykdamas ciklą ištekinimo galvutės ašis bus sutapdinta su ištekinamos skylės ašimi, jos padėtis nurodyta adresais X... ir Y... Paskui galvutė bus pagreitintai nuleista iki atitraukimo pozicijos R, po šio judesio vyks pastūmos judesys Z ašies kryptimi iki nurodyto adresu Z... gylio. Jeigu nurodytas adresas P, bus išlaikyta po jo nurodytos trukmės (ms) pauzė, toliau suklys nustos suktis ir nusistatys į fiksuotą kampinę padėtį (panašiai kaip G87). Po to jis pasitrauks atstumu, nurodytu adresu Q arba adresais I ir J taip, kad peilio viršūnė atsitrauktų nuo apdirbto paviršiaus (žr. G87 ciklo aprašymą) ir bus pagreitintai ištrauktas iš skylės į atitraukimo poziciją R (jei nurodytas G99) arba



11.16 pav. Ciklo G76 įrankio judesiai ir parametrai

į pradinę Z poziciją (jei nurodytas G98). Vėliau atstumu Q arba I ir J bus patrauktas atgal į pradinę poziciją XY plokštumoje (11.16 pav.). Suklys vėl pradės sukstis pagal laikrodžio rodyklę anksčiau programoje užprogramuotais sukiais.

Šis ciklas naudojamas dažniausiai galutinai skylėms ištekinti, kai labai svarbi ištekinto paviršiaus kokybė ir kad paviršiuje neliktų peilio viršūnės žymių, kurios lieka po G86 ciklo. Šiuo atveju reikės skirti daugiau laiko derinant stakles, nustatant atstumų Q arba I ir J dydžius bei kryptis. Be abejo, kad neliktų įbrėžimų, galima naudoti ir G85 ciklą, tačiau ištekimo galvutė bus ištraukiama su pastūma. Tai užtruks tiek pat laiko, kiek buvo skirta skylei ištekinti. Todėl paliekame operatoriui teisę rinktis.

Norint nustatyti atstumų I , J arba Q reikšmes, reikia MDI režimu iškviesti į sukį iš dėtuvės ištekimo galvutę ir, nekeičiant jos kampinės orientacijos, sutapdinti jos ašį su skylės ašimi. Tam MDI režimu galima surinkti eilutę G00 X... Y...; ir paleisti ją vykdyti mygtuku *Cycle Start*. Toliau rankinio ašių perstumimo režimu reikia perstumti galvutę arčiau detalės paviršiaus pagal Z ašį. Galima matyti, kiek ir kur reikia patraukti galvutę, kad atsitraukiant peilis ir korpusas nekabintų detalės. Tai galima netgi ir sumodeliuoti, perstumti galvutę XY plokštumoje ir stumiant Z ašies kryptimi įsitikinti, kad ji pereina per skylę.

11.2.3. „HAAS“ firmos valdymo sistemose naudojami vidiniai ciklai

Dabar apžvelgsime šiuolaikinėse „HAAS“ firmos valdymo sistemose naudojamus vidinius ciklus. Kai kurių iš jų kodai ir parametrai šiek tiek skiriasi nuo naudojamų „Fanuc“ firmos valdymo sistemose. Yra ir kitų ciklų, todėl apžvelgsime juos atskirame skirsnyje.

Gręžimo ciklai G81 ir G82

Šių ciklų „HAAS“ firmos valdymo sistemose paskirtis ir formatas yra visiškai tokie patys kaip ir „Fanuc“ firmos. Pauzė cikle G82 gali būti programuojama ne tik milisekundėmis, bet ir sekundėmis, jei reikšmė po adreso P nurodoma su skyrimo tašku, pvz., P0.5 – 0,5 sekundės pauzė. Nurodžius P1000 bus padaryta 1000 ms pauzė. Skaitikliui užprogramuoti „HAAS“ sistemoje naudojamas adresas L.

Giliojo gręžimo arba gręžimo ir kapingimo ciklas G83

Šio ciklo formatas „HAAS“ firmos valdymo sistemose gali būti dvejopas. Pirmasis variantas beveik visiškai identiškas tokiam pat „Fanuc“ ciklui (galima tik papildomai užprogramuoti pauzę, kuri bus padaryta pasiekus atraminiam grąžto taškui skylės dugną. Tai atliekama adresu P, pauzės trukmė nurodoma sekundėmis (su skyrimo tašku) arba milisekundėmis (be taško)). Galimas ir toks formatas:

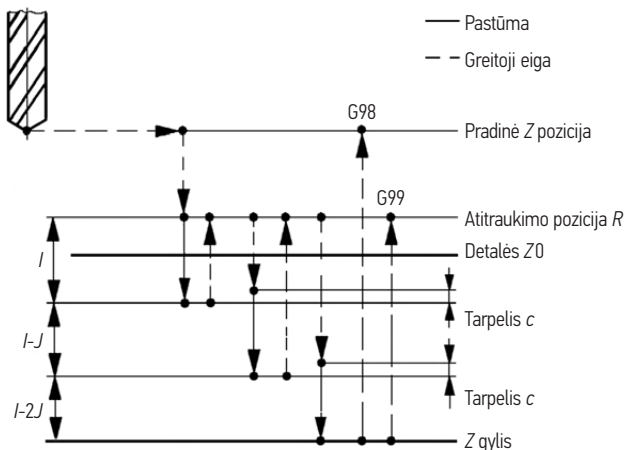
G98 (arba G99) X... Y... R... Z... I... J... K... P... F... L...;

Šiuo atveju vietoje adreso Q (gręžimo eigos gylis) naudojami trys adresai I, J ir K. Adresu I nurodomas pirmosios grąžto eigos (nuo atitraukimo pozicijos R) dydis, adresu J nurodoma, kiek sumažinti kiekvieną kitą grąžto eigą (11.17 pav.), o adresu K nurodomas mažiausias eigos dydis, kurį pasiekus, eiga nebus mažinama tol, kol bus pasiektas užprogramuotas Z gylys. Adresu P nurodoma pauzės trukmė sekundėmis (reikšmė su tašku) arba milisekundėmis (reikšmė be taško). Ši pauzė bus po paskutinės grąžto pastūmos eigos.

Pavyzdžiui, eilutė:

G99 X85.0 Y56.2 R2.0 Z-52.0 I15.0 J2.0 K7.0 P1.5 F100.0;

reiškia, kad taške X85 Y56,2 bus išgręžta skylė pertraukiamaisiais judesiais. Įrankis bus pagreitintai nuleistas iki atitraukimo pozicijos, 2 mm aukščiau detalės Z nulio, po



11.17 pav. Antro iš dviejų ciklo G83 variantų, naudojamų „HAAS“ firmos valdymo sistemose, parametrai ir įrankio judesiai

to jam bus suteikta 100 mm/min pastūma tol, kol jis nueis atstumą, nurodytą adresu I, t. y. 15 mm. Po to įrankis pagreitintai bus grąžintas į atitraukimo poziciją *R* ir pagreitintai nuleistas į prieš tai pasiektą gylį pridėjus tarpelį *c* (11.17 pav.), nurodomą vidiniu sistemos nustatymu 22. Antros eigos ilgis bus sumažintas 2 mm (adresas J) ir bus 13 mm (be tarpelio). Kitos eigos dydis bus atitinkamai 11 mm, toliau 9 mm, tačiau niekada nebus mažesnis už nurodytą adresu K (7 mm), nors grąžtui ir nepasiekus užprogramuoto *Z* gylio. Likusių eigu ilgiai bus lygūs 7 mm, kol įrankis pasiekis skylės dugną. Pasiekus skylės dugno poziciją *Z*-52, prieš atsitraukiant bus išlaikyta 1,5 s trukmės pauzė.

Našus giliojo gręžimo arba gręžimo ir kapojimo ciklas G73

Šis ciklas panašus į „Fanuc“ firmos sistemose naudojamą ciklą G73. Jo ir G83 esminis skirtumas yra tas, kad įrankis, atlikęs pastūmos eigą, negrįžta į atitraukimo poziciją *R*, o tausojanč laiką, pakeliamas nurodytu (nustatymu 22 „HAAS“ sistemoje) atstumu virš jau atliktos eigos pabaigos *Z* koordinatės (11.10 pav.). Kaip ir G83 „HAAS“ firmos sistemose, šis ciklas gali būti programuojamas dvejopai – su adresu Q (11.10 pav.) arba su I, J ir K, kurie yra analogiški adresams, naudojamiems G83 cikle (11.17 pav.). Kaip ir cikle G83, galima užprogramuoti reikiamos trukmės pauzę, kuri bus atlikta pasiekus nurodytą *Z* gylį.

Dešininio (G84) ir kairinio (G74) sriegio sriegimo sriegikliais ciklai

Šie ciklai programuojami taip pat kaip „Fanuc“ firmos valdymo sistemose, tačiau „HAAS“ firmos valdymo sistemose galima papildomai naudoti adresą J, t. y.:

G98 (arba G99) G84 X... Y... R... Z... J... F... L...;

G98 (arba G99) G74 X... Y... R... Z... J... F... L...;

Skaičius po adreso J (0, 1, 2, 3, 4) nurodo, kiek kartų padidinti pastūmą, kai sriegiklis ištraukiamas iš skylės, palyginti su pastūma, kuria jis judėjo pjaunant sriegį (ji nurodyta adresu F). Tai labai naudinga siekiant sumažinti ciklo trukmę, nes grįžtant sriegikliu nepjaunama, jis tik išsukamas iš išsriegtos skylės. Didinant pastūmą tiek pat bus padidinti ir suklio sūčiai (11.3 formulė), kad būtų išlaikyta ne kartą minėta taisyklė – sriegiklis, apsisukęs vieną kartą, turi pajudėti žingsnio atstumu. Neišlaikant šios sąlygos sriegis bus sugadintas. Jeigu adresas J eilutėje nurodytas, šio koeficiento reikšmė bus priimta pagal nustatytuosius parametrus sistemos nustatymu 130 (galimos reikšmės 0, 1, 2, 3 ir 4, kai nurodytas 0 arba 1, pastūma nebus didinama). Jeigu adresas J eilutėje nurodytas, sistema pritaikys nurodytą eilutėje reikšmę, o nustatymo 130 reikšmė bus ignoruojama.

Ištekinimo ciklai

Ištekinimo ciklai G85 ir G86 visiškai identiški tokiems pat „Fanuc“ firmos sistemų ciklams. „HAAS“ firmos sistemose atbuliniam ištekinimui naudojamas kodas G77 vietoje G87, naudojamo „Fanuc“ firmos valdymo sistemose. Ciklo G77 formatas yra

visiškai toks pat. Taip pat ištekinimo galvutės poslinkiams leidžiama naudoti adresą Q (11.14 pav.) arba adresus I ir J, poslinkio Q kryptis nurodoma vidiniu nustatymu 27, galimos tokios poslinkio Q kryptys: $+X$, $-X$, $+Y$, $-Y$.

„HAAS“ ciklai G87 ir G88 yra labai panašūs į G88 „Fanuc“ ciklą. Jie naudojami tada, kai reikia atlikti tam tikrus veiksmus rankinio valdymo režimu, kai įrankis pasiekė skylės apačią (Z gylį). Kodas G87 naudojamas tada, kai nereikia pauzės įrankiui pasiekus skylės apačią, o G88 – kai reikia. Pauzės trukmė nurodoma adresu P, sekundėmis (su tašku) arba milisekundėmis (be taško). Ciklų formatai yra tokie:

G98 (arba G99) G87 X... Y... R... Z... F...;
G98 (arba G99) G88 X... Y... R... Z... P... F...;

Ištekinimo su pauze ciklas G89 sutampa su tokiu pat „Fanuc“ firmos sistemos ciklu pagal atliekamus judesius ir pagal programavimo formatą. Tokia pat padėtis yra ir su glotniojo ištekinimo ciklu G76. Poslinkio Q kryptis nurodoma nustatymu 27, galimos tokios poslinkio Q kryptys: $+X$, $-X$, $+Y$, $-Y$.

„HAAS“ firmos sistemose taip pat naudojami nedomaliniai ciklai, kurie nepriskiriami vidinių ciklų grupei 09, tačiau atlieka panašų vaidmenį, t. y. jie atlieka ne vieną įrankio judesį, o jų grupę. Šie kodai yra gamintojo sudarytos programos makrokintamųjų pagrindu (žr. 14 skyrių), skirtos operatorių darbui palengvinti. Jų formatas ilgą laiką buvo nekeičiamas, todėl šie ciklai tapo neatskiriama „HAAS“ firmos valdymo sistemos dalimi. Apžvelgsime juos.

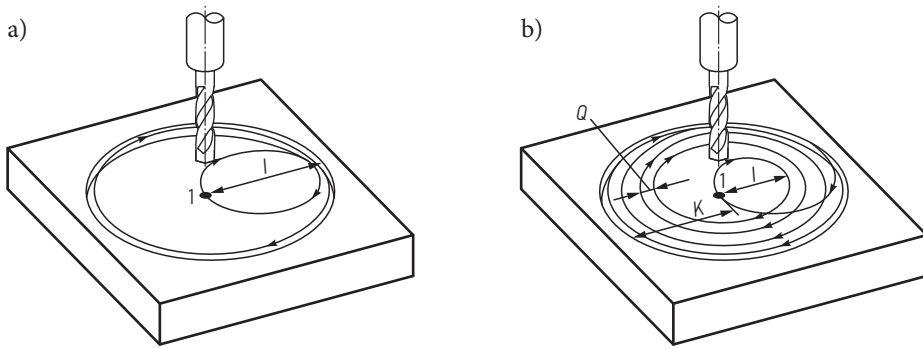
Apvalių kišenių frezavimo pagal laikrodžio rodyklę ciklas G12

Šis ciklas, nors ir nepriskiriamas prie vidinių ciklų grupės (09), o priskiriamas prie 00 grupės (nedomaliniai kodai) ir yra nedomalinis, dėl pirmiau pateiktų priežasčių gali būti nagrinėjamas tarp vidinių ciklų. Ciklo formatas yra toks:

G12 I... K... Q... Z... L... F... D...;

čia: I – pradinio apskritimo skersmuo arba galutinio apskritimo spindulys; K – galutinio apskritimo (kišenės) spindulys; Q – spindulio prieaugis per vieną frezos apskritiminę eigą; Z – kišenės dugno Z koordinatė arba įrankio eigos pjojimo gylis (kai naudojamas kartu su L adresu ir aktyvus yra prieaugių režimas G91); L – įrankio eigų skaičius prieaugių režimu G91; F – pastūma; D – įrankių kompensacijų lentelės eilutės, kurioje saugojamas frezos skersmuo/spindulys, numeris.

11.18 pav. parodyti G12 ciklo parametrai ir įrankio judesių XY plokštumoje trajektorijos. Freza juda pagal laikrodžio rodyklę žiūrint į apdirbamą kišenę iš suklio pusės. Prieš eilutę su kodu G12 įrankis (tiksliau, jo ašis) turi būti kišenės centre XY plokštumoje, t. y. virš taško I (11.18 pav.). Norint nuimti medžiagą nuo viso kišenės paviršiaus, G12 eilutėje reikia naudoti adresus I, K ir Q, kaip parodyta 11.18 pav., b, o norint nuimti tik nuo sienelių, jei kišenė jau sudaryta (pvz., išlieta), pakanka nurodyti tik adresą I (11.18 pav., a). Paskutiniu metodu galima apdirbti ne tik kišenės, bet ir



11.18 pav. G12 kodo parametrai ir įrankio judesių XY plokštumoje trajektorijos:
a – kai naudojamas tik adresas I; b – kai naudojami adresai I, Q ir K

padidinti skylės skersmenį, kai skylė detalėje jau sudaryta, pvz., išgręžta ar išlieta. Norint visiškai nufrezuoti kišenės dugną, kaip parodyta 11.18 pav., b, spindulio prieaugio Q reikšmė neturi viršyti frezos skersmens. Pradinio apskritimo skersmens I reikšmė neturi būti mažesnė už frezos spindulį. Taip pat neturi būti didesnė už tris frezos spindulius, kad pritaikius spindulio kompensaciją būtų visiškai nuvalytas kišenės dugnas ir nepalikta neapdirbtų ruožų.

Tokiu būdu vykdant ciklą G12 įrankis pastūmos greičiu nuleidžiamas iš pradinės Z pozicijos (paskutinės užprogramuotos prieš G12 eilutę) į poziciją, nurodytą adresu Z . Po to, priklausomai nuo to, kokie iš adresų I , Q ir K yra nurodyti, bus atlikti skirtingi judesiai. Jeigu nurodytas tik adresas I , įrankiui bus suteiktas priartinimo apskritiminės interpoliacijos judesys pagal laikrodžio rodyklę spinduliu $I/2$ (pusės apskritimo), toliau apskritiminės interpoliacijos judesys (visas apskritimas) aplink kišenės sienelės spinduliu I . Grįžus į pradinę tašką vėl bus atliktas pusės apskritimo apskritiminės interpoliacijos judesys, kurio metu įrankis grįš į tašką 1 (11.18 pav., a). Jeigu nurodyti visi trys adresai I , Q ir K , bus atliktas pradinis apskritiminės interpoliacijos judesys spinduliu $I/2$, po to Archimedo spiralės judesys žingsniu Q tol, kol bus pasiektas galutinis kišenės matmuo K . Toliau freza bus grąžinama į tašką 1 (11.18 pav., b). Prieš tai dar bus atliktas kišenės sienelių išvaikščiojimas apskritiminiu judesiu spinduliu K . Taip kišenės frezuojamos absoliučiuoju koordinatų režimu G90.

Jeigu kišenės gylis įrankiui yra per didelis išfrezuoti viena įrankio eiga, kišenė frezuojama keliais ciklais, atliktais skirtinguose Z ašies lygiuose. Tam G12 arba ankstesnėje eilutėje pereinama į prieaugių režimą (G91), po adreso Z nurodomas pjovimo gylis (pvz., $Z-2.0$), o adresu L nurodomas ciklų skaičius ($L4$ mūsų atveju reiškia, kad reikia atlikti ciklą keturis kartus, išgilinant įrankiui neigiamąją Z ašies kryptimi 2 mm gyliu kiekvieną kartą, tokiu atveju bendras kišenės gylis $2 \times 4 = 8$ mm). Tokiu būdu įrankis nuleidžiamas iš pradinės Z pozicijos (sakykime, ji $Z0$) pastūmos greičiu 2 mm žemiau, šioje pozicijoje bus atlikti judesiai, parodyti 11.18 pav. Grįžęs į kišenės centrą

(taškas 1) įrankis vėl nuleidžiamas pastūmos greičiu 2 mm žemiau, tokiu būdu bus išfrezuota 4 mm gylio kišenė. Toliau ciklas bus pakartotas dar gyliuose Z–6 ir Z–8.

Absoliučiąjį koordinačių ir priaugių režimai adresams I, Q ir K ir jų reikšmėms neturi jokios įtakos.

G12 pritaiko frezos spindulio kompensaciją prie kišenės sienelių automatiškai. Čia nereikia nurodyti G41/G42 kodų (spindulio kompensavimo kryptį nustato pati valdymo sistema, akivaizdu, kad tai bus G42), o tik registro numerį adresu D... Jeigu spindulio kompensacija nereikalinga, nurodoma D00, jeigu adresas D visai nenurodytas, bus pasirinkta paskutinė užprogramuota programoje spindulio kompensacija D..., nepaisant to, jei ji ir būtų atšaukta kodu G40 prieš eilutę su kodu G12.

Pateiksime keletą pavyzdžių. Pradžioje parengsime programą cilindrinės kišenės, kurios skersmuo – 50 mm, o gylis nuo viršutinės plokštumos (kuri taip pat yra detalės Z0 plokštuma) yra 5 mm. Frezuosime tik kišenės sienelės (detalė atrodo panašiai kaip 11.18 pav., a), programos nulis – apatinis kairysis detalės kampas, kišenės centro koordinatės yra X100 Y100 detalės koordinačių sistemoje. Programa atrodys taip:

O25646

(programa jau sudarytai apvaliai kišenei frezuoti);

N1 G17 G54 G90 (plokštuma XY, koordinačių sistema G54, absoliučiosios koordinatės);

N2 T01 M06 (įrankis Nr. 1 – 8 mm skersmens pirštinė freza iš dėtuvės įstatoma į sukli);

N3 G00 X100.0 Y100.0 (suklio (ir frezos) ašis greitojo pozicionavimo judesio greičiu sutapdinama su kišenės centru XY plokštumoje);

N4 S1350 M03 (suklys paleidžiamas suktis pagal laikrodžio rodyklę, sukiai – 1350 suk./min);

N5 G43 Z2.0 H01 M08 (freza pagreitintai nuleidžiama 2 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės, į pjovimo zoną pradėdamas tiekti TAS);

N6 G12 I25.0 Z-5.0 F120.0 D01 (frezuojama 50 mm skersmens kišenė pagal laikrodžio rodyklę su 120 mm/min pastūma, kompensacija iš 1-os spindulio (skersmens) kompensacijų lentelės eilutės);

N7 G00 Z2.0 M09 (freza pagreitintai atitraukiama nuo apdirbto paviršiaus 2 mm aukščiau viršutinės detalės plokštumos, išjungiamas TAS siurblys);

N8 G28 Z2.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį per paskutinį įrankio lankyta tašką);

N9 M30 (programos pabaiga ir grąžinimas į pradžią);

Reikėtų atkreipti dėmesį į tai, kad ciklas G12 (taip pat G13) negrąžina frezos į pradinę Z poziciją arba R poziciją pasibaigus ciklui, kaip vidiniuose cikluose G81, G82, G83 ir t. t. Tai reiškia, kad įrankis, atlikęs ciklą, liks darbiniam Z gylyje (mūsų atveju tai yra Z–5 (eilutė N6)), iš šios pozicijos jis turi būti pakeltas papildomai, tai ir atlikta N7 eilutėje. G12 yra *nemodalinis*, todėl jis negali būti pritaikytas kitame taške, nurodžius tik jo koordinatas. Pvz., jei reikėtų išfrezuoti tokią pat kišenę dar ir taške X200 Y100, toliau pateiktas programos fragmentas būtų neteisingas:

...;

N6 G12 I25.0 Z-5.0 F120.0 D01 (frezuojama 50 mm skersmens kišenė pagal laikrodžio rodyklę su 120 mm/min pastūma, kompensacija iš 1-os spindulio (skersmens) kompensacijų lentelės eilutės);

N7 X200.0 Y100.0 (neteisingas ciklo G12 pritaikymas);

...;

Teisingas būtų toks fragmentas:

...;

N6 G12 I25.0 Z-5.0 F120.0 D01 (frezuojama 50 mm skersmens kišenė pagal laikrodžio rodyklę su 120 mm/min pastūma, kompensacija iš 1-os spindulio (skersmens) kompensacijų lentelės eilutės);

N7 G00 Z2.0 (freza pagreitintai atitraukiama nuo apdirbto paviršiaus 2 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos);

N8 X200.0 Y100.0 (freza pagreitintai pozicionuojama taške X200 Y100);

N9 G12 I25.0 Z-5.0 D01 (taške X200 Y100 frezuojama 50 mm skersmens kišenė pagal laikrodžio rodyklę su 120 mm/min pastūma, kompensacija iš 1-os spindulio (skersmens) kompensacijų lentelės eilutės);

N10 G00 Z2.0 M09 (freza pagreitintai atitraukiama nuo apdirbto paviršiaus 2 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos, išjungiamas TAS siurblys);

N11 G28 Z2.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį per paskutinį įrankio lankytą tašką);

N12 M30 (programos pabaiga ir grąžinimas į pradžią);

Jeigu reikia išfrezuoti dar nesudarytą kišenę, kaip parodyta 11.18 pav., b, tai galėtų būti atlikta pagal toliau pateiktą programą (frezuosime tokią pat kišenę, kaip prieš tai pateiktame programos O25646 pavyzdyje, tik kišenė dar nesudaryta, prieš frezuojant kišenės centre išgręžiama skylė necentrinio pjovimo frezai įsigilinti):

O25647

(programa 5 mm gylio apvaliai kišenei frezuoti);

G17 G54 G90 (plokštuma XY, koordinatų sistema G54, absoliučiosios koordinatės);

T02 M06 (įrankis dėtuvės lizde Nr. 2 – spiralinis grąžtas įstatomas į sukli);

G00 X100.0 Y100.0 (suklio (ir grąžto) ašis greitojo pozicionavimo judesio greičiu sutapdinama su kišenės centru);

S1000 M03 (suklys paleidžiamas suktis pagal laikrodžio rodyklę, sūkiai – 1000 sūk./min);

G43 Z2.0 H02 M08 (grąžtas pagreitintai nuleidžiamas 2 mm aukščiau detalės Z nulio (viršutinė plokštuma) pritaikant ilgio kompensaciją iš 2-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės, į pjovimo zoną pradamas tiekti TAS);

G98 G81 R1.0 Z-4.9 F150.0 (gręžimo ciklas taške X100 Y100 su 150 mm/min pastūma 4,9 mm gyliu (skylė gręžiama tam, kad galėtų įsigilinti necentrinio pjovimo pirštinė freza));

G80 M09 (gręžimo ciklo atšaukimas, TAS tiekimo nutraukimas);

G28 Z2.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį per paskutinį įrankio lankytą tašką);

T01 M06 (įrankis dėtuvės lizde Nr. 1 – pirštinė freza įstatoma į suklij);
 S1500 M03 (suklys paleidžiamas suktis pagal laikrodžio rodyklę, sukiai – 1500 suk./min);
 G00 X100.0 Y100.0 (suklio (ir frezos) ašis greitojo pozicionavimo judesio greičiu sutapdinama su kišenės centru, šitos eilutės galėtų ir nebūti, nes freza jau yra pozicijoje X100 Y100 po prieš tai atliktos gręžimo pakopos);
 G43 H01 Z2.0 M08 (freza pagreitintai nuleidžiama 2 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės, į pjovimo zoną pradedamas tiekti TAS);
 G12 I7.0 K25.0 Q6.0 Z-5.0 F120.0 D01 (frezuojama kišenė pagal laikrodžio rodyklę su 120 mm/min pastūma, kompensacija iš 1-os spindulio (skersmens) kompensacijų lentelės eilutės);
 G00 Z2.0 M09 (freza pagreitintai atitraukiama nuo apdirbto paviršiaus, išjungiamas TAS siurblys);
 G28 Z2.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį per paskutinį įrankio lankytą tašką);
 M30 (programos pabaiga ir grąžinimas į pradžia);

Pabaigoje pateiksime programą, kurią vykdant bus išfrezuota to paties skersmens, bet 40 mm gylio kišenė per 8 įrankio eigas, 5 mm gylio kiekviena. Šioje programoje ciklas G12 užprogramuotas prieaugių režimu G91.

025648

(programa 40 mm gylio kišenei frezuoti);

G17 G54 G90 (plokštuma XY, koordinačių sistema G54, absoliučiosios koordinatės);

T02 M06 (įrankis dėtuvės lizde Nr. 2 – spiralinis grąžtas įstatomas į suklij);

G00 X100.0 Y100.0 (suklio (ir grąžto) ašis greitojo pozicionavimo judesio greičiu sutapdinama su kišenės centru);

S1000 M03 (suklys paleidžiamas suktis pagal laikrodžio rodyklę, sukiai – 1000 suk./min);

G43 Z2.0 H02 M08 (grąžtas pagreitintai nuleidžiamas 2 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant ilgio kompensaciją iš 2-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės, į pjovimo zoną pradedamas tiekti TAS);

G98 G83 R1.0 Z-39.8 Q10.0 P1.0 F150.0 (gręžimo ir karpymo ciklas taške X100 Y100 su 150 mm/min pastūma, gręžiama 39,8 mm gylio skylė (skylė gręžiama tam, kad galėtų įsipjauti necentrinio pjovimo pirštinė freza), įrankiui pasiekus skylės dugną bus 1 s pauzė);

G80 M09 (gręžimo ciklo atšaukimas, TAS tiekimo nutraukimas);

G28 Z2.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį);

T01 M06 (įrankis Nr. 1 – pirštinė freza iš dėtuvės įstatoma į suklij);

S1500 M03 (suklys paleidžiamas suktis pagal laikrodžio rodyklę, sukiai – 1500 suk./min);

G00 X100.0 Y100.0 (suklio (ir frezos) ašis greitojo pozicionavimo judesio greičiu sutapdinama su kišenės centru);

G43 H01 Z2.0 M08 (freza pagreitintai nuleidžiama 2 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės, į pjovimo zoną pradedama tiekti TAS);

G01 Z0.0 F80.0 (freza nuleidžiama iki detalės Z nulio (viršutinės plokštumos) su 80 mm/min pastūma);

G12 G91 I7.0 K25.0 Q6.0 Z-5.0 F120.0 L8 D01 (pagal laikrodžio rodyklę su 120 mm/min pastūma frezuojama kišenė per 8 eigas (L8) Z ašies kryptimi nuo paskutinės Z pozicijos (Z0) kiekvieną kartą įsigilinant 5 mm neigiamą Z ašies kryptimi, spindulio (skersmens) kompensacija taikoma iš 1-os spindulio (skersmens) kompensacijų lentelės eilutės);

G90 G00 Z2.0 M09 (grįžtama į absoliučią koordinačių režimą, freza pagreitintai atitraukiama nuo apdirbto paviršiaus 2 mm aukščiau detalės Z nulio, išjungiamas TAS siurblys);

G28 Z2.0 (suklio galvutė gražinama į staklių nulį pagal Z ašį per paskutinį įrankio lankytą tašką);

M30 (programos pabaiga ir grąžinimas į pradžia);

Apvalių kišenių frezavimo prieš laikrodžio rodyklę ciklas G13

Šis kodas yra visiškai identiškas G12, naudojami tie patys parametrai. Skirtumas tarp jo ir G12 yra tik toks, kad kišenė cikle G13 bus frezuojama prieš laikrodžio rodyklę, žiūrint iš suklio pusės į stalą. Sistema pritaikys spindulio kompensaciją kodu G41, o ne G42, kaip G12 atveju.

Teksto graviravimas G47

Šis kodas, kaip ir G12/G13, priklauso nemodalinių kodų grupei (00), o ne vidinių ciklų grupei (09), tačiau jo veikimas panašus į vidinius ciklus. Vykdamas ciklą atliekami frezos judesiai, kuriais detalės paviršiuje išgraviruojamas tekstas. Tai gali būti serijos numerio skaičiai arba raidės.

G47 programuojamas, kai valdymo sistema yra nustatyta absoliučią koordinačių režimu, turi būti aktyvus G90. Vykdamas eilutę G47 sistema automatiškai persijungs į prieaugių režimą, o įvykdžius persijungs atgal į G90 režimą. Kodo G47 formatas yra toks:

G47 X... Y... Z... R... I... J... P... E... F... (Tekstas);

čia: adresais X ir Y nurodoma užrašo pradžios padėtis, absoliučiosiomis koordinatėmis; Z – pjovimo (raidžių) gylis, absoliučioji koordinatė; R – atitraukimo pozicija, į kurią pakeliama freza greitam pozicionavimui XY plokštumoje (pvz., pereinant nuo vienos raidės iki kitos) tarp atskirų pjovimo eigų, absoliučioji koordinatė; I – teksto posūkio kampas nuo -360° iki 360° (pagal nustatytuosius parametrus, jeigu adresas nenurodomas, $I = 0^\circ$); J – teksto aukštis coliais arba mm, priklausomai nuo pasirinktos vienetų sistemos; P – adresas, kuriuo pasirenkamas graviravimo objektas (tekstas, kintamas serijos numeris arba specialūs simboliai); E – vertikaloji pastūma (Z ašies kryptimi), vnt./min (vienetai priklauso nuo pasirinkto vienetų režimo G21/G20); F – įrankio darbinė pastūma XY plokštumoje frezuojant tekstą, vnt./min.

Vykdamas ciklą freza pagreitintai pozicionuojama užrašo pradžios pozicijoje, nurodytoje adresais X ir Y. Jeigu šie adresai nenurodyti, užrašo pradžios pozicija bus pasirinkta esama įrankio pozicija XY plokštumoje. Toliau įrankis pagreitintai nuleidžiamas iki atitraukimo pozicijos (R) Z ašies kryptimi, po to jam suteikiama pastūma, nurodyta adresu E Z ašies kryptimi iki darbinio gylio (raidžių gylio), nurodomo adresu Z,

toliau bus frezuojama užrašo raidė arba skaičius pastūmos F greičiu XY plokštumoje. Priklausomai nuo frezuojamo elemento jis gali būti išfrezuotas vienu pastūmos judesiu arba keliais judesiais, paskutiniu atveju freza atliks kelis atitraukimo, pozicionavimo ir įsipjovimo judesius. Išfrezavus minėtą elementą freza pagreitintai atsitrauks į R poziciją, po to bus greitai pozicionuojama plokštumoje XY ir kita užrašo raidė (arba skaičius) bus frezuojama.

Cikle G47 galima programuoti dviejų tipų pastūmas E ir F adresais. Pirmoji iš jų naudojama frezai įsipjauti Z ašies kryptimi, kita – raidėms frezuoti. Abi reikšmės turi būti imamos griežtai pagal gamintojo rekomendacijas. Graviravimas atliekamas specialiomis frezomis, kurios galo skersmuo gali siekti 0,1–0,2 mm, todėl viršijus rekomenduojamus pjovimo režimus frezos dažnai lūžta.

Adresu P pasirenkama tai, kas bus išgraviruota – kiekvieną kartą paleidus programą didėjantis serijos numeris, tekstas (raidės ir skaičiai) arba specialūs simboliai. Šio adreso reikšmė gali būti lygi 0, 1 arba 32–126. Kai adreso reikšmė lygi nuliui, pavyzdžiui:

G47 P0 (VGTU MF);

bus išgraviruotas tekstas (galimos tik lotynų abėcėlės raidės), nurodomas toje pačioje eilutėje skliaustuose, šiuo atveju „VGTU MF“. Jeigu nurodomas 1, pavyzdžiui:

G47 P1 (1000);

bus frezuojamas pradinis serijos numeris, kuris šiuo atveju 1000. Kiekvieną kartą, paleidus programą iš naujo, jis bus didinamas 1, t. y. paleidus programą antrą kartą bus frezuojama 1001, toliau 1002 ir t. t. Pradinis numeris gali būti nustatytas programoje taip, kaip buvo parodyta pirmiau arba makrokintamaisiais (žr. 14 skyrių „Makrokintamieji“). Jeigu makrokintamajam #599 priskirta pradinė reikšmė 2525, tai eilute

G47 P1 (#####);

bus išgraviruotas numeris 2525.

Skaičiai 32–126, nurodyti po adreso P, leidžia graviruoti įvairius simbolius, kurie pateikti 11.3 lentelėje.

Norint išfrezuoti užrašą, kuris susideda iš simbolių ir raidžių (arba skaičių), reikia nurodyti kelias eilutes su G47, nes G47 yra nemo dalinis kodas. Eilutėje leidžiama nurodyti tik vieną adreso P reikšmę. Pavyzdžiui, norint išfrezuoti užrašą \$50 reikia dviejų eilučių:

G47 X50.0 Y50.0 R2.0 Z-1.0 J15.0 E65.0 F100.0 P36;

G47 X62.0 Y50.0 R2.0 Z-1.0 J15.0 P0 (50);

Atkreipkite dėmesį, kad pradinė teksto padėtis pagal X ašį pakeista antroje eilutėje, kitaip skaičius 5 būtų išgraviruotas toje pačioje vietoje kaip ir \$ ženklas.

11.3 lentelė. Simboliai, kurie gali būti frezuojami ciklu G47 ir atitinkančios jų adreso P reikšmės

Reikšmė	Simbolis	Reikšmė	Simbolis	Reikšmė	Simbolis	Reikšmė	Simbolis
32	Tarpas	41	)	59	;	93]
33	!	42	*	60	<	94	^
34	“	43	+	61	=	95	_
35	#	44	,	62	>	96	`
36	\$	45	-	63	?	97-122	a-z
37	%	46	.	64	@	123	{
38	&	47	/	65-90	A-Z	124	|
39	‘	48-57	0-9	91	[	125	}
40	(	58	:	92	\	126	~

Kitame pavyzdyje pateikta eilutė, pagal kurią taške X32 Y25 aktyvioje detalės koordinatinių sistemoje 45° kampu su X ašimi išfrezuojamas 15 mm aukščio tekstas „CNC STAKLES“ taip, kaip tai pavaizduota 11.19 pav.

G47 X32.0 Y25.0 Z-0.5 R2.0 I45.0 J15.0 P0 F60.0 E30.0 (CNC STAKLES);

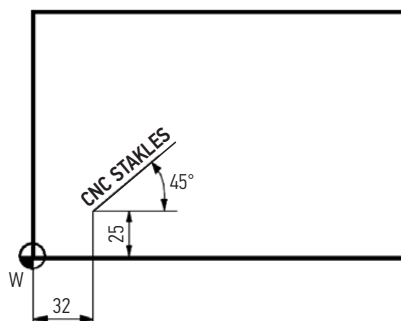
Atlikus G47 freza pasiliks R pozicijoje. Tai reiškia, kad ją gali prirėkti papildomai pakelti kodu G00 į reikiamą aukštį. Kodai G98/G99, grąžinantys įrankį į pradinę (G98) arba atitraukimo poziciją (G99), su G47 nenaudojami. Atšaukti kodo G47 veikimą kodu G80 nereikia, nes G47 yra nmodalinis. Mūsų pavyzdžiui, parodytam 11.19 pav., pateiksime programos tęsinį:

...;

G47 X32.0 Y25.0 Z-0.5 R2.0 I45.0 J15.0 P0 F60.0 E30.0 (CNC STAKLES);

G00 Z10.0 (pagreitinamas frezos pakėlimas į aukštį 10 mm nuo detalės Z0 plokštumos);

...;



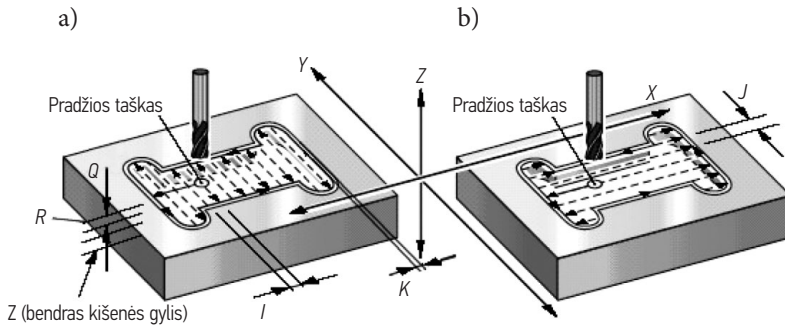
11.19 pav. Detalė su išgraviruotu tekstu

Kišenių frezavimo ciklas G150

Šis nemodalinis kodas (00 grupė) taip pat nepriklauso modalinių vidinių ciklų grupei 09, tačiau taip pat atlieka grupę judesių, kuriais išfrezuojama nurodytos formos kišenė, visiškai išimant medžiagą iš jos vidaus. Netikslinga naudoti šio ciklo apvalioms kišenėms frezuoti, joms kur kas patogiau naudoti kodus G12/G13. Kartu su kodu G150 naudojama paprogramė, kuri reikalinga kišenės kontūro geometrijai XY plokštumoje apibrėžti. Kodo formatas yra toks:

G150 X... Y... Z... R... I... J... K... Q... P... S... G41/G42 D... F...;

Čia adresais X ir Y nurodoma pradinė įrankio pozicija kišenėje XY plokštumoje. Jeigu ji nenurodyta, kaip pradinė pozicija bus imama paskutinė prieš G150 užprogramuota pozicija. Z adresu nurodomas kišenės gylis. R adresu nurodoma frezos atitraukimo pozicija (jei nenurodyta, bus imama paskutinė užprogramuota pozicija). Adresais I ir J nurodomas kiekvienos naujos frezos eigos prieaugis pagal X ir Y ašis atitinkamai (11.20 pav.), šie dydžiai yra visada teigiami. Adresu K nurodoma užlaida baigiamajam (glotniajam) frezavimui pagal kišenės kontūrą XY plokštumoje, šis dydis visada yra teigiamas. Glotniai bus frezuojama tik pasiekus nustatytą adresu Z gylį. Šios pakopos metu bus nuimtas nurodyto adresu K storio medžiagos sluoksnis nuo kišenės sienelių (bet ne Z ašies kryptimi), kaip parodyta 11.20 pav. Adresas Q naudojamas, kai negalima išfrezuoti reikiamo gylio kišenės per vieną eigą Z ašies kryptimi ir reikia frezuoti per kelias eigas. Tokiu atveju iš pradžių freza įsigilina tam tikru gyliu, išfrezavus kišenę įsigilina toliau Z ašies kryptimi ir vėl frezuojama XY plokštumoje. Toliau kartojama tol, kol bus pasiektas nurodytas adresu Z gylis. Kiekvienos įgilinimo eigos Z ašies kryptimi dydis nurodomas adresu Q. Jis pradėdamas atskaičiuoti nuo R pozicijos (pvz., jeigu kišenės gylis yra Z–20 mm nuo viršutinės plokštumos (Z0), R pozicija Z1 ir nurodyta Q4, kišenė bus išfrezuota per 6 eigas (Z–3, Z–7, Z–11, Z–15, Z–19 ir Z–20 Z lygiais), kiekvieną kartą 4 mm vis giliau, kol bus pasiektas kišenės dugnas, 11.20 pav.). Adresas Q su reikšme turi būti visada nurodomas G150 eilutėje, netgi jei visa užlaida nuimama per vieną įrankio eigą Z ašies kryptimi. Po šio adreso visada turi būti teigiamas skaičius, nors šiuo adresu valdomas judesys bus atliktas neigiamąja Z ašies kryptimi. Adresu P nurodomas paprogramės su kišenės kontūro XY plokštumoje koordinatėmis pavadinimas (tai yra atskira, turinti savo vardą O... programa, saugoma valdymo įrenginio atmintyje, kaip ir kitos programos). Į paprogramę sistema kreipsis siekiant nustatyti kišenės ribas, įrankių eigų kraštinių padėčių koordinatėms nustatyti. D adresas nurodo spindulio kompensacijų lentelės eilutės numerį, kur saugomas naudojamos pirštinės frezos skersmuo arba spindulys (kodas G150 pritaiko spindulio kompensaciją, tam reikia nurodyti vieną iš kodų G41/G42). Adresu S nurodomi suklio sukiai; jei jie nenurodomi, bus naudojami paskutiniai užprogramuoti. F adresu programuojama kišenės frezavimo pastūma (reikšmė naudojama ne tik XY plokštumoje, taip pat ir įsigilinimo judesiams Z ašies kryptimi), vnt./min (priklausomai nuo pasirinktų vienetų), kai ji nenurodoma, imama paskutinė užprogramuota reikšmė.

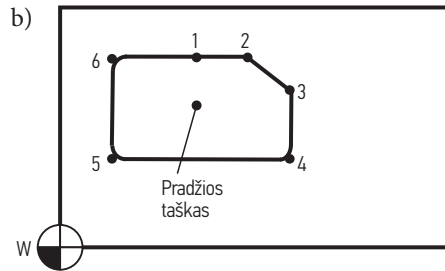
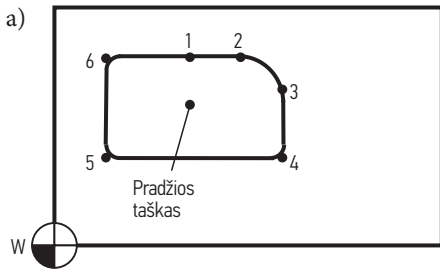


11.20 pav. Kišenių frezavimo ciklo G150 parametrai ir įrankio judesiai: a – frezuojama eigomis, lygiagrečiai su Y ašimi (nurodytas adresas I); b – frezuojama eigomis, lygiagrečiai su X ašimi (nurodytas adresas J)

Iš 11.20 pav. matoma, kad jeigu G150 eilutėje nurodytas adresas I su reikšme, kišenė bus frezuojama eigomis Y ašies kryptimi, nurodžius adresą J – eigos bus atliekamos X ašies kryptimi. Norint išvengti neapdirbtų ruožų kišenėje po adreso I arba J turi būti nurodyta reikšmė, neviršijanti frezos skersmens. Kuo mažesnis bus šis skaičius, tuo glotniau bus apdirbtas kišenės dugnas, tačiau apdirbti bus sugaištama daugiau laiko.

Vykdamt ciklą įrankis bus greitai pozicionuojamas pradiniam taške XY plokštumoje (arba nebus, jei nenurodyti adresai X ir Y), toliau iš pradinės Z pozicijos bus pagreitintai nuleidžiamas į R poziciją (priklausomai nuo to, koks kodas – G90 arba G91 – aktyvus, adreso R reikšmė bus interpretuojama absoliučiosiomis koordinatėmis arba prieaugiais nuo pradinės Z pozicijos). Toliau įrankis pastūmos F greičiu bus perstumtas žemyn atstumu Q nuo R plokštumos, paskui įrankis atliks išilginius arba skersinius (priklausomai nuo to, kas nurodyta – I arba J) pastūmos judesius, kol neišvalys kišenės vidaus. Kontūro taškų koordinatės (prie X ir Y šių koordinačių bus automatiškai pridėta arba atimta užlaida glotniajam frezavimui, jeigu ji nurodyta adresu K) bus nustatytos iš paprogramės (adresas P). Išfrezavus vidų įrankis apeis išfrezuotą kišenę pagal perimetrą, kad kišenės sienelėse neliktų apdirbimo žymių, atsiradusių dėl išilginių ar skersinių įrankio judesių. Atlikus šiuos veiksmus įrankis bus grąžintas į pradinį tašką XY plokštumoje, darbinės pastūmos greičiu bus įgilinamas vėl Z ašies kryptimi atstumu Q ir vėl pradės valyti kišenės vidų. Pasiekus užprogramuotą Z gylį jis dar kartą apeis kišenės kontūrą XY plokštumoje nuimant užlaidą, nurodytą adresu K. Paskutinė pakopa bus atlikta tik tuo atveju, jeigu G150 eilutėje nurodytas adresas K.

Paprogramėje nurodomos kontūro taškų koordinatės (11.21 pav.). Ji sudaroma taip, lyg būtų tik apeinama frezuojama kišenė, neįvertinant judesių, reikalingų medžiagai išimti iš kišenės vidaus. Paprogramėje nepakanka nurodyti tik kontūro taškų koordinačių, būtina turi būti naudojami judesio kodai G01 ir G02/G03, kurie nurodo kišenės kontūro atkarpu formą. Pavyzdžiui, aprašant kišenės kontūrą, pavaizduoto 11.21 pav., a, geometriją, teisingai būtų nurodyti apskritiminės interpoliacijos kodą



O...
 (paprogramė kišenei frezuoti);
 G01 Y.. (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 1 iš pradžios taško);
 X... (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 2 iš taško 1);
 G02 X... Y... R... (apskritiminės interpoliacijos judesys į tašką 3 iš taško 2);
 G01 Y... (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 4 iš taško 3);
 X... (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 5 iš taško 4);
 Y... (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 6 iš taško 5);
 X... (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 1 iš taško 6, uždaromas kontūras);
 M99 (grįžimas į pagrindinę programą);

O...
 (paprogramė kišenei frezuoti);
 G01 Y.. (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 1 iš pradžios taško);
 X... (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 2 iš taško 1);
 X... Y... (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 3 iš taško 2);
 Y... (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 4 iš taško 3);
 X... (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 5 iš taško 4);
 Y... (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 6 iš taško 5);
 X... (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 1 iš taško 6, uždaromas kontūras);
 M99 (grįžimas į pagrindinę programą);

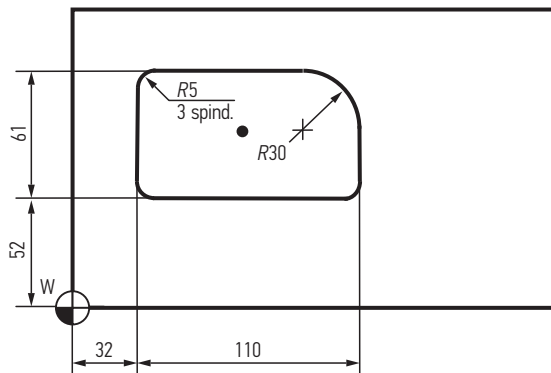
11.21 pav. Apdirbama detalė ir paprogramės, kuriose nurodoma kišenės geometrija ciklui G150: a – kišenės kampas išfrezuotas apskritiminės interpoliacijos judesiu; b – tiesinės interpoliacijos judesiu

G02 atkarpai 2–3 aprašyti. Nurodžius vietoje G02 G01 kodą, bus išfrezuota kišenė, pateikta 11.21 pav., b. Frezos trajektorija būtinai turi būti uždara. Apėjus kontūrą į pradinį tašką grąžinti įrankio nebereikia. Jis bus grąžintas ten automatiškai ir vėl įsigilins dydžiu Q (arba ne, jeigu pasiektas galutinis Z gylis). Ciklui atlikti galima naudoti paprogrames, kuriose užprogramuota ne daugiau kaip 40 frezos judesiu.

Išfrezavus kišenę įrankis bus pakeltas į pradinę Z poziciją, iš kurios gali būti pakeltas aukščiau atskirai kodu G00 arba G01. Kodai G98/G99 naudojami su modaliniais vidiniais ciklais ir grąžinantys įrankį į pradinę (G98) arba atitraukimo poziciją (G99), taip pat nenaudojami su G150. Atšaukti ciklo G150 veikimo kodu G80 nereikia, nes jis yra nedomalinis.

Toliau pateikiami keli ciklo G150 naudojimo pavyzdžiai.

1-asis pavyzdys. Reikia išfrezuoti 11.21 pav., a parodytą kišenę. Detalės eskizas pateiktas 11.22 pav., kišenės gylis – 15 mm. Frezuosime 10 mm skersmens pirštine freza, todėl kampų suapvalinimo spinduliai bus 5 mm, išskyrus viršutinį dešinįjį kampą, kuris bus suapvalintas didesniu spinduliu, apskritiminės interpoliacijos judesiu. Prieš frezuojant pradiniam taške išgręžiama skylė, kurios skersmuo yra didesnis už frezos skersmenį. Šios skylės centre frezai bus suteikiama vertikaloji (įgilinimo) pastūma. Pradinį tašką parinksime kišenės viduryje, t. y. jo koordinatės bus X87 Y83. Frezuosime pagal pastūmą, todėl skirtingai nuo paprogramės po 11.21 pav., a, kišenės geometriją paprogramėje aprašysime tokia seka: taškas 1–6–5–4–3–2–1. Frezuojant kišenės sienelės spindulio kompensacija turi būti pritaikyta kontūro kairėje, todėl naudosisime G41.



11.22 pav. Detalės su frezuojama kišene eskizas

Programa ir paprogramė atrodys taip:

001501

(kišenės 11.22 pav. frezavimo programa);

G17 G54 G90 (plokštuma XY, koordinatė sistema G54, absoliučiosios koordinatės);

T01 M06 (įrankis Nr. 1 – 12 mm skersmens spiralinis grąžtas iš dėtuvės įstatomas į suklij);

S1600 M03 (suklys paleidžiamas sukty pagal laikrodžio rodyklę, sūkiai – 1600 sūk./min);

G00 X87.0 Y83.0 (suklio (ir grąžto) ašis pagreitintai sutapdinama su pradiniu ciklo tašku);

G43 Z2.0 H01 M08 (grąžtas pagreitintai nuleidžiamas 2 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės, į pjovimo zoną pradedamas tiekti TAS);

G98 G83 R1.0 Z-14.8 Q6.0 P1.0 F150.0 (gręžimo ir kapojimo ciklas taške X87 Y83 su 150 mm/min pastūma (skylė gręžiama tam, kad galėtų įsipjauti necentrinio pjovimo pirštine freza));

G80 M09 (gręžimo ciklo atšaukimas, TAS tiekimo nutraukimas);

G28 Z2.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį);

T02 M06 (įrankis Nr. 2 – 10 mm skersmens pirštine freza iš dėtuvės įstatoma į suklij);

G00 X87.0 Y83.0 (frezos ašis pagreitintai pozicionuojama XY plokštumoje virš išgręžtos skylės centro pradiniame taške);

S1000 M03 (frezai suteikiamas sukimo judesys apie ašį pagal laikrodžio rodyklę 1000 sūk./min greičiu);

G43 H02 Z2.0 M08 (freza pagreitintai nuleidžiama 3 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant ilgio kompensaciją iš 2-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės, pradedama tiekti TAS);

G150 Z-15.0 Q5.0 J8.0 R0.5 K0.5 P01256 G41 D02 F120.0 (kišenės frezavimas per 4 eigas Z ašies kryptimi ($5 + 5 + 5 + 0,5 = 15,5 = Z + R$), paskutinei eigai paliekama tik 0,5 mm užlaida Z ašies kryptimi, taip sudaromos sąlygos glotniai frezuoti kišenės dugną. Frezuojama išilginėmis eigomis, žingsnis – 8 mm, paliekama 0,5 mm užlaida kišenės sienelėse glotniajam frezavimui. Kišenės kontūras aprašytas paprogramėje O01256. Frezuojant bus taikoma spindulio kompensacija kontūro kairėje (G41), spindulio kompensacijos reikšmė imama iš 2-os spindulio kompensacijų lentelės eilutės (D02));

G40 G01 X87.0 Y83.0 M09 (freza pozicionuojama pradiniame taške, atšaukiama spindulio kompensacija, nutraukiamas TAS tiekimas);

G28 Z2.0 (suklio galvutė gražinama į staklių nulį pagal Z ašį iš įrankio taško Z2);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

O01256

(paprogramė kišenės 11.22 pav. kontūrai aprašyti, tai atskira programa, saugoma atmintyje);

G01 Y113.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 1 iš pradžios taško, žr. 11.21 pav., a);

X32.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 6 tašką);

Y52.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 5 tašką);

X142.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 4 tašką);

Y83.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 3 tašką);

G03 X112.0 Y113.0 R30.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys prieš laikrodžio rodyklę į 2 tašką);

G01 X87.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 1 tašką, kontūras užsidaro);

M99 (grįžimas į pagrindinę programą. Jeigu nurodytas Z lygis nepasiektas, įrankis perstumiamas neigiamąja Z ašies kryptimi atstumu Q, ir paprogramė bus kartojama iš naujo. Jei nurodytas Z lygis pasiektas, pagrindinė programa bus vykdoma nuo kitos eilutės, esančios po tos, kurioje buvo kviečiama paprogramė, t. y. nuo eilutės, esančios po G150 eilutės);

Paprogramė O01256 parengta absoliučiosiose koordinatėse. Prieaugiais ji atrodytų taip:

O01256

(paprogramė kišenės 11.22 pav. kontūrai aprašyti, tai atskira programa, saugoma atmintyje);

G91 G01 Y30.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 1 iš pradžios taško, žr. 11.21 pav., a);

X-55.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 6 tašką);

Y-61.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 5 tašką);

X110.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 4 tašką);

Y31.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 3 tašką);

G03 X-30.0 Y30.0 R30.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys prieš laikrodžio rodyklę į 2 tašką);

G01 X-25.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 1 tašką, kontūras užsidaro);

G90 (absoliučiuju koordinacių režimas);

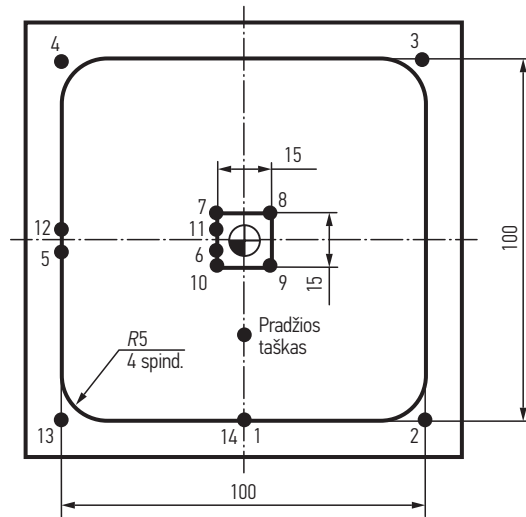
M99 (grįžimas į pagrindinę programą. Jeigu nurodytas Z lygis nepasiektas, įrankis perstumiamas neigiamąja Z ašies kryptimi atstumu Q ir paprogramė bus kartojama iš naujo. Jei nurodytas Z lygis pasiektas, pagrindinė programa bus vykdoma nuo kitos eilutės, esančios po tos, kurioje buvo kviečiama paprogramė, t. y. nuo eilutės, esančios po G150 eilutės);

Paprogramės būtinai turi baigtis kodu M99, o ne M30, nes M99 grąžina programos vykdymą iš paprogramės į pagrindinę programą, į kitą eilutę nuo išskvietimo vietos. Paprogramės paprastai iškviečiamos kodu M98 (žr. 12 skyrių), tačiau kodas G150 šiuo atveju atlieka tą patį.

Mūsų programoje įrankio spindulio kompensacija bus pritaikyta kontūro kairėje, nes eilutėje G150 nurodytas kodas G41. Iki galo atlikus kišenės frezavimo ciklą, įrankis bus patrauktas į pradinę poziciją X87 Y83 XY plokštumoje tik tuo atveju, jeigu atliktas glotnūs frezavimas, t. y. eilutėje nurodytas K adresas. Atliekant šį judesį bus automatiškai atšaukta spindulio kompensacija be kodo G40. Jeigu glotnūs frezavimas nepageidaujamas ir adresas K nenurodomas, įrankis nebus atitrauktas į pradinę poziciją XY plokštumoje. Jis pasiliks kontūro baigiamajame taške (mūsų atveju paskutinis užprogramuotas taškas paprogramėje X87 Y113) ir bus tik pakeltas į pradinę Z poziciją. Spindulio kompensavimo režimas liks aktyvus, todėl gera programavimo praktika laikoma išjungti jį kitoje eilutėje, esančioje po eilutės su G150, judesio į pradinį tašką plokštumoje XY metu. Štai kodėl kitoje, esančioje po eilutės su kodu G150, programos eilutėje nurodėme G40 G01 X87.0 Y83.0. Nepaisant to, kad cikle G150 atliekamas glotnūs kišenės šonų frezavimas (nurodyta K0.5), kompensacija bus atšaukta automatiškai, įrankis grįš į pradinę poziciją XY plokštumoje ir ši eilutė nebus vykdoma, ji nesukels klaidos programoje. Pašalinus iš G150 kodą K0.5, eilutė jau taps reikalinga programoje, be jos pasirodys klaidos pranešimas dėl bandymo užbaigti programą neatšaukus spindulio kompensacijos.

Jau minėta, kad paprogramėje apibrėžtas kontūras turi būti būtinai uždaras. Paprogramėje pirmojo ir paskutinio judesių pabaigos taškų koordinatės būtinai turi būti tos pačios. Taip ir yra mūsų paprogramėje. Pirmoje jos eilutėje įrankiui nurodoma judėti į tašką X87 Y113, paskutinėje atliekamas judesys į tą patį tašką X87 Y113 detalės koordinacių sistemoje. Neįvykdžius šio reikalavimo (jei paskutinė eilutė atrodytų taip: G01 X86.5 arba G01 X88.0) programa bus priverstinai sustabdyta, pasirodys klaidos pranešimas.

2-asis pavyzdys. Parašysime programą kišenei, pavaizduotai 11.23 pav., apdirbti. Čia nereikia nuimti visos medžiagos iš kišenės, kaip buvo daroma prieš tai, reikia viduje palikti kvadratinę iškyšą, kurios matmenys yra 15×15 mm. Frezuosime ta pačia 10 mm skersmens freza, išgręšime skylę frezai įsigilinti pradiniam taške, kurio koordinatės yra X0 Y-25 detalės koordinacių sistemoje. Sakykime, kišenės gylis sudaro tik 5 mm, todėl pakaks vienos įrankio eigos Z ašies kryptimi.



11.23 pav. Frezuojama kišenė su kvadratine iškyša viduje

Pagrindinis uždavinys, rašant šią programą, yra taip aprašyti kontūrą paprogramėje, kad nebūtų nufrezuota iškyša. To galima išvengti, jei aprašysime įrankio judesių trajektoriją tokia tvarka: taškas 1–2–3–4–5–6–7–8–9–10–11–12–13–14(1). Tokiu atveju kišenės viduryje liks nepalietas kvadratas, kurio matmenys – 15×15 mm. Taškų porų 5, 6 ir 11, 12 Y koordinatės perdengiamos ne veltui. Tai padaryta sąmoningai, nes atliekant judesį taikoma spindulio kompensacija profilio kairėje. Apeinant kontūrą judant iš 4 į 5 tašką sistema pastums įrankio ašį į kairę atkarpos 5–6 atžvilgiu, tai bus atlikta ir judant iš taško 10 į tašką 11, todėl jeigu visos minėtos taškų poros turėtų vienodas Y koordinatės sienelėse liktų neapdoroti ruožai, parodyti 11.24 pav. Perdengimo dydis neturi būti mažesnis už frezos skersmenį.

001502

(programa kišenei su kvadrato formos iškyša (11.23 pav.) frezuoti);

G17 G54 G90 (plokštuma XY, koordinacių sistema G54, absoliučiosios koordinatės);

T01 M06 (įrankis Nr. 1 – 12 mm skersmens spiralinis grąžtas iš dėtuvės įstatomas į sukli);

G00 X0.0 Y-25.0 (suklio (ir grąžto) ašis pagreitintai sutapdinama su pradiniu ciklo tašku);

S1000 M03 (suklys paleidžiamas sukty pagal laikrodžio rodyklę 1000 sūk./min greičiu);

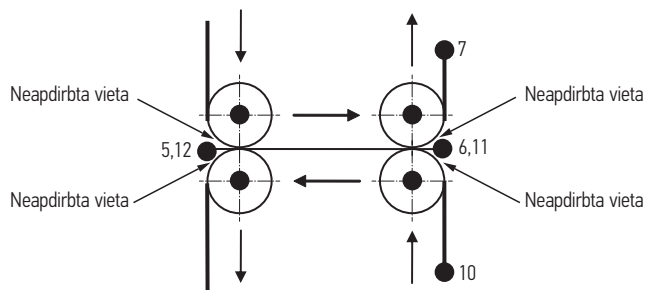
G43 Z2.0 H01 M08 (grąžtas pagreitintai nuleidžiamas 2 mm aukščiau detalės Z nulio, pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės, pradedamas tiekti TAS į pjovimo zoną);

G98 G81 R1.0 Z-4.8 F150.0 (gręžimo ciklas taške X0 Y-25 su 150 mm/min pastūma (skylė gręžiama tam, kad galima būtų įgilinti necentrinio pjovimo pirštine freza));

G80 M09 (gręžimo ciklo atšaukimas, TAS tiekimo nutraukimas);

G28 Z2.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį);

T02 M06 (įrankis Nr. 2 – 10 mm skersmens pirštine freza iš dėtuvės įstatoma į sukli);



11.24 pav. Frezos ašies trajektorija, kai taškų 5, 6 ir 11, 12 Y koordinatės neperdengtos

G00 X0.0 Y-25.0 (freza pagreitintai pozicionuojama virš išgręžtos skylės centro, nors ji ir taip yra ten);

S1250 M03 (frezai suteikiamas sukimo judesys apie ašį pagal laikrodžio rodyklę 1250 suk./min greičiu);

G43 H02 Z3.0 M08 (freza pagreitintai nuleidžiama 3 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant ilgio kompensaciją iš 2-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės, pradedama tiekti TAS);

G150 Z-5.0 Q5.2 J6.0 R0.2 K0.3 P01257 G41 D02 F120.0 (kišenės frezavimas per 1 eigą Z ašies kryptimi ($Q = 5,2 = Z + R$), išilginėmis eigomis (lygiagrečiai su X ašimi), šonuose paliekant 0,3 mm užlaidą glotniajam frezavimui. Kišenės kontūras aprašytas paprogramėje 001257. Frezuojant bus taikoma spindulio kompensacija kontūro kairėje (G41), kompensacijos reikšmė imama iš 2-os spindulių kompensacijų lentelės eilutės);

G40 G01 X0.0 Y-25.0 M09 (freza pozicionuojama pradiniame taške, atšaukiama spindulio kompensacija, nutraukiamas TAS tiekimas);

G28 Z3.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį Z ašies kryptimi iš įrankio buvimo taško);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžių);

001257

(paprogramė kišenės (11.23 pav.) kontūrai aprašyti);

G01 Y-50.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 1 tašką, 11.23 pav.);

X50.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 2 tašką);

Y50.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 3 tašką);

X-50.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 4 tašką);

Y-5.5 (tiesinės interpoliacijos judesys į 5 tašką);

X-7.5 (tiesinės interpoliacijos judesys į 6 tašką);

Y7.5 (tiesinės interpoliacijos judesys į 7 tašką);

X7.5 (tiesinės interpoliacijos judesys į 8 tašką);

Y-7.5 (tiesinės interpoliacijos judesys į 9 tašką);

X-7.5 (tiesinės interpoliacijos judesys į 10 tašką);

Y5.5 (tiesinės interpoliacijos judesys į 11 tašką);

X-50.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 12 tašką);

Y-50.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 13 tašką);

X0.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 14 (1) tašką, kontūras uždaromas);

M99 (grįžimas į pagrindinę programą. Ji bus vykdoma nuo kitos eilutės, esančios po tos, kurioje buvo kviečiama paprogramė (G150));

3-iasis pavyzdys. Kišenės matmenis paliksime tokius pat, kaip prieš tai pateiktame pavyzdyje, tačiau kišenės viduje paliksime apvalią, o ne kvadratinę iškyšą, kurios skersmuo lygus kvadrato kraštinės ilgiui – 15 mm (11.25 pav.). Šiuo atveju norint palikti 15 mm skersmens iškyšą, reiktų apeiti kontūrą taip: taškas 1–2–3–4–5–6–6–7–8–9–10–11(1). Norint perdengti koordinates reikėjo sugrįžti atgal viso kvadranto apskritimo ilgiu (ruožas 6–7). Tai yra nelabai racionalu ciklo trukmės požiūriu, tačiau racionalu programavimo požiūriu. Priešingu atveju reiktų papildomai skaičiuoti taško, priklausančio II apskritimo kvadrantui (tarp taškų 6–7, pvz., 6') koordinates. Pagrindinė programa O01502 tokiu atveju nepasikeis, o paprogramė O01257 atrodys taip:

O01257

(paprogramė kišenės kontūrai (11.25 pav.) aprašyti);

G01 Y-50.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 1 tašką, 11.25 pav.);

X50.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 2 tašką);

Y50.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 3 tašką);

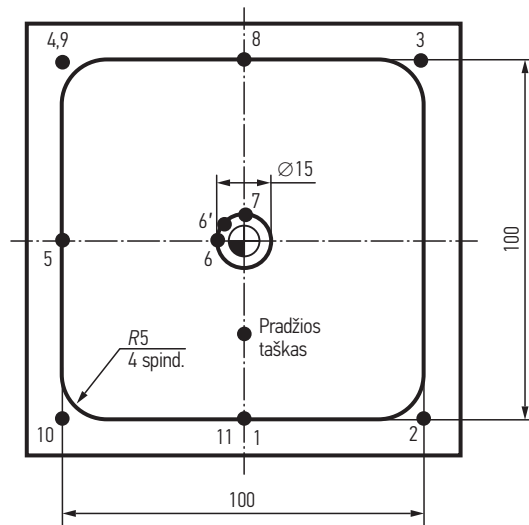
X-50.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 4 tašką);

Y0.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 5 tašką);

X-7.5 (tiesinės interpoliacijos judesys į 6 tašką);

G02 I7.5 (apskritiminės interpoliacijos judesys pagal laikrodžio rodyklę į 6 tašką (visas apskritimas));

X0.0 Y7.5 R7.5 (apskritiminės interpoliacijos judesys pagal laikrodžio rodyklę į 7 tašką 7,5 mm spinduliu);



11.25 pav. Frezuojama kišenė su apvalia iškyša viduje

G01 Y50.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 8 tašką);
 X-50.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 9 (4) tašką);
 Y-50.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 10 tašką);
 X0.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 11 (1) tašką, kontūras uždaramas);
 M99 (grįžimas į pagrindinę programą. Ji bus vykdoma toliau nuo kitos eilutės, esančios po tos, kurioje buvo kviečiama paprogramė (G150));

5-ių ašių staklių vidiniai ciklai

Našus gręžimo ir kapojimo ciklas naudojant 5-ias ašis G153

Šis ciklas labai panašus į G73 ciklą. Jis naudojamas 5-ių arba 4-ių ašių apdirbimo centruose (I dalis, 4 sk.), t. y. šiuo ciklu galima apdirbti skylės, kurių ašys nėra statmenos stalo plokštumai, o sudaro su juo tam tikrą kampą. Ciklo G153 formatas taip pat yra panašus į G73 ciklo formatą, būtent:

G153 X... Y... Z... A... B... E... Q... (arba I... J... K...) P... L... F...;

Po adresų X, Y, Z, A ir B nurodomos gręžimo ciklo pradžios koordinatės, į šią poziciją bus nukreiptas grąžtas prieš pradėdant ciklą. Po adreso E nurodomas atstumas nuo pradinės grąžto pozicijos iki skylės dugno (išmatuotas trumpiausiu atstumu, o ne pagal vieną ašį), adresai I, J, K, Q, P, L ir F turi tokią pat prasmę kaip ir ciklo G83.

Skirtingai nuo ciklo G73 cikle G153 Z adresu nurodoma pradinė ciklo Z pozicija, nuo kurios bus gręžiama skylė, o ne skylės dugno Z koordinatė. Nurodyti ją būtų sunku dėl skylės ašies posvyrio. Žinoma, kad apdirbimo centruose su pasukama sukliu galvute skylė, priklausomai nuo jos ašies posvyrio, gręžiama suteikiant įrankiui kombinuotą pastūmą pagal kelias ašis vienu metu. Todėl skylės gylis nustatomas adresu E (šis adresas naudojamas beveik visuose 5-ių ašių cikluose), jis turi būti būtinai nurodytas, kitaip ciklas nebus vykdomas. Cikle G153 (kaip ir kituose penkių ašių cikluose) nenaudojamas atitraukimo pozicijos adresas R. Grąžtas atlikus ciklą grįžta į pradinę poziciją. Vykdamas ciklą tarp gręžimo eigių grąžtas pasikelia tarpelio dydžiu, nurodytu nustatymu 22.

Gręžimo ir kapojimo ciklas naudojant 5-ias ašis G163

Šis ciklas panašus į G153 ciklą (kuris yra G73 ciklo analogas 5-ių ašių staklėse) ir yra G83 ciklo analogas 5-ių ašių staklėse. Skirtumas tarp jo ir G153 yra tik tas, kad atliekant G163 įrankis tarp gręžimo eigių grįžta į pradinę poziciją, o nebeatitraukiamas nedideliu atstumu, nurodytu 22-uoju nustatymu. Ciklo formatas yra visiškai toks pat kaip ir ciklo G153. Pradinę poziciją galima priartinti arčiau detalės nustatymu 52.

Dešinio (G164) ir kairinio (G155) sriegio sriegimo sriegikliais ciklai

Šie ciklai naudojami tik su kompensaciniais sriegiklių laikikliais (I dalis, 6.3.6 skirsnis). Šių ciklų veikimas panašus į G84/G74 kodus, tačiau jie naudoja tokius pat adresus kaip ir G153, tai yra:

G164 (G155) X... Y... Z... A... B... E... F... L... S...;

čia S – suklio sūkiai, kurie gali būti ir nenurodomi, tokiu atveju bus naudojami paskutiniai užprogramuoti sūkiai. Visi kiti adresai yra analogiški ciklui G153. Adresais X, Y, Z, A ir B naudojami ciklo pradinei pozicijai užprogramuoti, E nurodo atstumą nuo pradinės pozicijos iki skylės apačios, F programuojama pastūma (vnt./min), kuri turi būti suderinta su suklio sūkiais (žr. ciklą G84/G74 aprašymus). Adresas L naudojamas ciklą atlikimų skaičiui užprogramuoti, kai aktyvus prieaugių režimas G91.

Kodas G164 naudojamas dešininiais sriegikliais dešininiais sriegiams pjauti, kodas G155 – kairiniais sriegikliais pjauti kairiniams sriegiams. Ciklai bus atliekami panašiai kaip ir ciklai G84/G74. Sriegiklis bus pozicionuojamas pradinėje pozicijoje X, Y, Z, A, B, toliau jam bus suteiktas sukimosi judesys pagal (G164) arba prieš (G155) laikrodžio rodyklę ir suteikiama F pastūma tol, kol bus nueitas atstumas E. Toliau sriegiklis sustos, jo sukimosi kryptis keičiama į priešingą ir jis ištraukiamas iš skylės pastūmos greičiu. Suklio kodų M03/M04 nurodyti nereikia, sistema pati paleis sukli suktais į reikiamą pusę, priklausomai nuo pasirinkto ciklo G164/G155.

Gręžimo ciklai G161 ir G162

Šie ciklai yra ciklą G81 (gręžimas) ir G82 (gręžimas su pauze) modifikacijos 5-ių ašių centrams. Juos vykdant įrankis bus pagreitintai pozicionuotas adresais X, Y, Z, A, B nurodytame taške, po to jam suteikiama pastūma atstumu, nurodytu adresu E. Toliau, jeigu naudojamas G162, bus išlaikyta adresu P nurodytos trukmės pauzė. Po to įrankis bus pagreitintai ištrauktas iš skylės į pradinę poziciją. Jeigu naudojamas G161, pauzė nebus padaryta ir įrankis bus ištrauktas iš karto. Ciklą formatas yra toks:

G161 X... Y... Z... A... B... E... F... L...;
G162 X... Y... Z... A... B... P... E... F... L...;

Ištekinimo ciklai G165, G166 ir G169

Šie ciklai yra ciklą G85, G86 ir G89 analogai apdirbant 5-ių ašių apdirbimo centrais. Jie naudojami pasvirusioms skylėms ištekinti ir skiriasi tarpusavyje tik pauze (G169 leidžia pauzę), taip pat tuo, kaip iš skylės bus ištraukiama ištekinimo galvutė atlikus ciklą (G165, G169 – pastūmos greičiu, G166 pagreitintai), panašiai kaip ir trijų ašių apdirbimo cikluose G85, G86, G89. Ciklą formatas yra toks:

G165 X... Y... Z... A... B... E... F... L...;
G166 X... Y... Z... A... B... E... F... L...;
G169 X... Y... Z... A... B... E... P... F... L...;

Visi nagrinėti 5-ių ašių ciklai yra modaliniai, todėl visos koordinatės, nurodytos po eilutės su ciklu, bus traktuojamos kaip kitų taškų, kuriuose reikia atlikti ciklą, koordinatės. Jei to nereikia, ciklą veikimą reikia atšaukti kodu G80 arba vienu iš judesio kodų G00, G01, G02/G03.

11.3. Vidiniai tekinimo staklių ciklai

11.3.1. Bendrosios žinios

Panašiai kaip ir frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose, tekinimo staklėse ir centruose taip pat yra savo vidiniai ciklai, tiksliai šių ciklų pritaikymo sritis, skirtingai nuo frezavimo staklių ciklų, neapsiriboja vien skylių apdirbimu. Naudojant šiuos ciklus išilgai ir skersai ruošinio ašies jis tekinamas iki nustatytos ciklo formos, tekinami grioveliai, sriegiama peiliu ir pan. Pavyzdžiui, „Fanuc“ firmos sistemose naudojami vidiniai ciklai pateikti 11.4 lentelėje. Kaip matyti iš lentelės, šie ciklai dažniausia yra nemodaliniai (grupė 00), modaliniai yra tik trys paskutiniai.

Dėl atliekamų operacijų įvairovės tekinimo ciklams vargu ar pavyks nustatyti bendrą formatą, kaip tai buvo padaryta frezavimo staklių vidiniams ciklams, todėl jie turėtų būti nagrinėjami atskirai.

11.4 lentelė. Vidiniai ciklai, naudojami tekinimo staklėse su „Fanuc“ firmos valdymo sistemomis

Kodas	Aprašas	Grupė
G70	Glotniojo fasoninio tekinimo vidinis ciklas	00
G71	Rupiojo fasoninio tekinimo/ištekinimo Z ašies kryptimi vidinis ciklas	00
G72	Rupiojo fasoninio tekinimo X ašies kryptimi vidinis ciklas	00
G73	Rupiojo kopijojamojo fasoninio tekinimo ciklas	00
G74	Pertraukiamo įrankio judesio Z ašies kryptimi ciklas G74	00
G75	Pertraukiamo įrankio judesio X ašies kryptimi ciklas G75	00
G76	Sriegimo peiliu vidinis ciklas	00
G90	Išilginio tekinimo/ištekinimo ciklas	01
G92	Pagrindinis sriegimo peiliu ciklas	01
G94	Galo tekinimo ciklas	01

11.3.2. „Fanuc“ firmos valdymo sistemose naudojami vidiniai ciklai

Išilginio tekinimo/ištekinimo ciklas G90

Tekinimo staklių valdymo sistemos kodas G90 dažniausiai reiškia išilginio tekinimo/ištekinimo vidinį ciklą, o ne absoliučiąjį koordinacijų režimą, kaip frezavimo staklėse (paminėtina, kad taip yra tik „Fanuc“ firmos sistemoms, naudojančioms A tipo G kodų grupę, kuri yra labiausiai paplitusi. B tipo G kodų grupę naudojančiose „Fanuc“ firmos sistemose G90/G91 kodai naudojami perjungti absoliučiąjį koordinacijų ir prieaugių režimus kaip ir frezavimo staklėse. Tokios tekinimo staklių sistemos knygoje nenagrinėjamos). Žinoma, kad tekinimo staklėmis taip pat galima dirbti prieaugių režimu, vietoje X ir Z adresu nurodant U ir W adresus, kuriuos valdymo sistema

traktuos kaip prieaugių adresus. Programuojant koordinates adresais X ir Z, jos bus suprantamos kaip absoliučiosios ir atskaitomos nuo detalės nulio.

Taigi kodas G90 tekinimo staklėse naudojamas išilginiam tekinimui arba ištekimui ir generuoja peilio judesį išilgai Z ašies arba detalės ašies taip nupjaunant medžiagos sluoksnį, esantį tarp nurodyto pradinio ciklo taško 1 ir galinio ciklo taško 3 (11.26 pav.). Ciklo formatas atrodo taip:

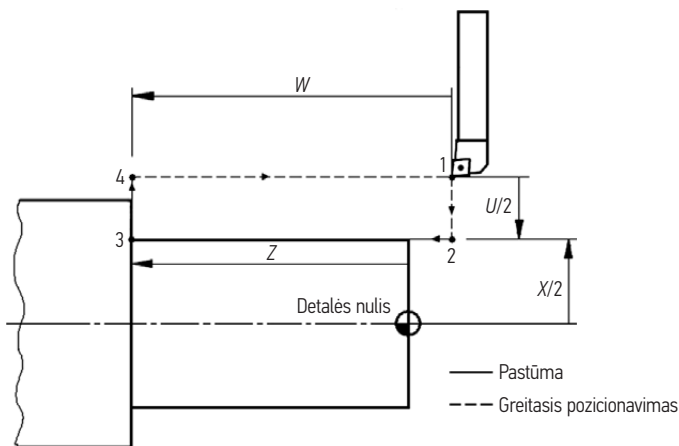
G90 X... Z... F...;

arba prieaugiais:

G90 U... W... F...;

čia: X – galinė peilio viršūnės pozicija pagal X ašį absoliučiosiomis koordinatėmis (kitais tariant, galutinis detalės skersmuo), mm arba coliais, priklausomai nuo pasirinktos vienetų sistemos; Z – galinė peilio viršūnės pozicija pagal Z ašį (arba taško 3 (11.26 pav.) Z koordinatė), mm arba coliais, priklausomai nuo pasirinktos sistemos; F – pastūma, mm/sūk. arba colių/sūk., priklausomai nuo pasirinktos vienetų sistemos; U – X ašies prieaugis nuo pradinio taško iki galinio (kitais tariant – pjovimo gylis) kai dirbama prieaugiais, mm arba coliais, priklausomai nuo pasirinktos vienetų sistemos; W – Z ašies prieaugis nuo pradinio taško (1, 11.26 pav.) iki galinio (3, 11.26 pav.), kai dirbama prieaugiais, mm arba coliais, priklausomai nuo pasirinktos vienetų sistemos.

Peilis (jo viršūnė), esantis pradiniam ciklo taške 1 (11.26 pav.), vykdant ciklo eilutę bus greitai pozicionuojamas taške X..., kurio X koordinatė nurodyta po šio adreso (taškas 2) absoliučiosiomis koordinatėmis (arba prieaugiais po adreso U), toliau jis pajudės pastūmos F... tiesiniu judesiu į tašką 3, kurio padėtis apibrėžta adresu Z... (arba atstumu W... prieaugiais) nupjaunant tam tikro storio medžiagos sluoksnį ir tekinant ruošinį iki reikiamo skersmens. Toliau peilis pastūmos judesiu bus perkeltas



11.26 pav. Ciklo G90 parametrai ir įrankio judesiai

į tašką 4 (jo X koordinatė yra tokia pat kaip ir pradinio taško 1) ir bus pagreitintai atitrauktas Z ašies kryptimi į pradinį tašką 1, kuriame jis buvo prieš pradėdant ciklą. Programuotojas, prieš programuodamas ciklą G90, turi pradžioje nukreipti peilį į pasirinktą pradinį tašką 1 ir užtikrinti saugų tarpelį pagal Z ašį peiliui įsigilinti (judesiui į tašką 2 atlikti). Aišku, kad taško 1 X koordinatė taip pat turi būti parinkta taip, kad judesio į tašką 2 ilgis būtų kuo trumpesnis. Nereikėtų pamiršti, kad tekimo staklėse X koordinatės dažniausiai dvigubinamos, tai ir parodyta 11.26 pav.

Ciklas G90 „moka“ dirbti ne tik su išilgine, bet ir su kombinuota pastūma išilgai dviejų ašių vienu metu, t. y. ciklą galima naudoti ne tik cilindrinėms, bet ir kūginėms detalėms tekinti. Tokiu atveju ciklui naudojamas papildomas adresas I arba R (11.27 pav.). Kodo formatas tampa toks:

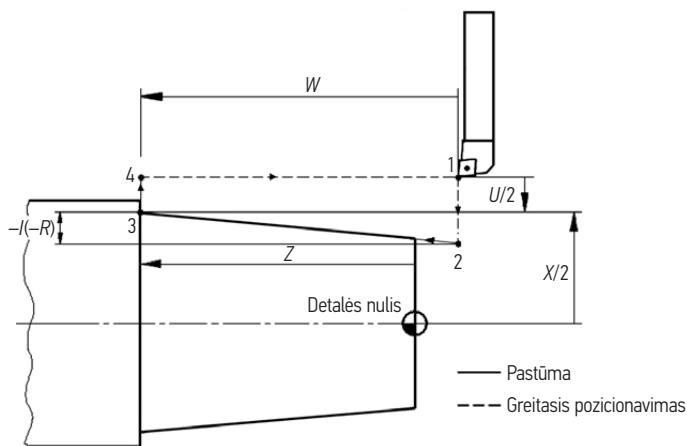
G90 X(U)... Z(W)... I... F...;

arba

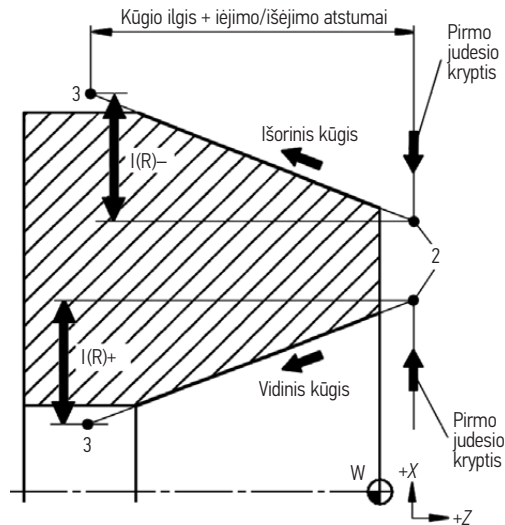
G90 X(U)... Z(W)... R... F...;

čia: I (arba R) – adresas, kuriuo nustatoma kūgio kryptis (ženklų prie reikšmės) ir kūgiškumas (adreso reikšme), reikšmė imama spinduliui.

Po adreso I (R) nurodoma reikšmė, kuri lygi pusei tekiamo kūgio didžiojo ir mažojo skersmenų skirtumo. Ženklas prie reikšmės nurodo kūgio kryptį (jeigu išorinio kūgio skersmuo didėja kryptimi nuo arkliuko iki griebtuvo I reikšmė yra neigiama (11.27, 11.28 pav., viršuje), kai tekiamo vidinio kūgio skersmuo mažėja kryptimi nuo arkliuko iki griebtuvo – I reikšmė yra teigiama (11.28 pav., apačioje). Jeigu tekiamas atbulinis išorinis kūgis, t. y. jo skerspjūvio skersmuo mažėja kryptimi nuo arkliuko iki griebtuvo, nurodoma teigiama adreso I (R) reikšmė. Toks atvejis pasitaiko gana retai, atliekant tokius darbus reikia būti labai atsargiems, teisingai parinkti peilį, kad jo pagalbinis užpakalinis paviršius neliestų apdirbto paviršiaus.



11.27 pav. Ciklo G90 taikymas kūgiams tekinti – ciklo parametrai ir įrankio judesiai



11.28 pav. Adreso I reikšmės ženklo nustatymas tekinant išorinį ir vidinį kūgius (Smid 2003)

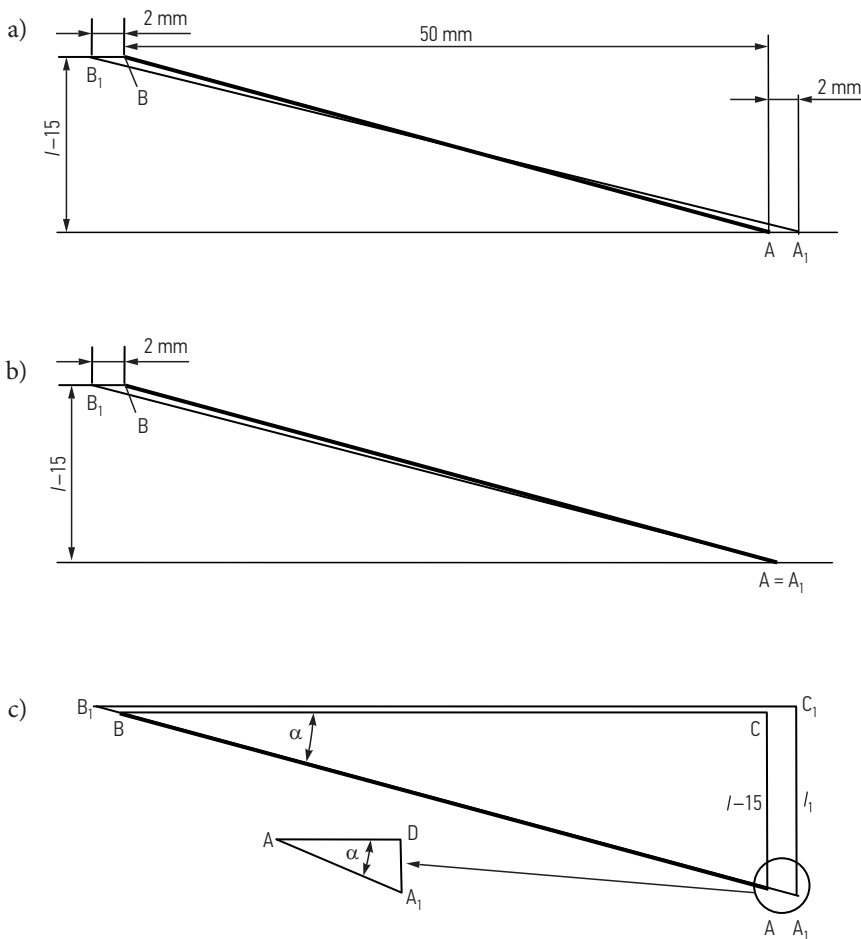
Valdymo sistema pridės atstumą I prie nurodytos ciklo eilutėje galinio taško 3 (11.26, 11.27 pav.) X koordinatės. Tokiu būdu peilio viršūnė, prasidėjus ciklui, atsidurs taške 2 (jo koordinatė $X + 2I$), toliau judės iš taško 2 į tašką 3, kurio X ir Z koordinatės nurodytos ciklo eilutėje. Nurodžius I_0 arba visai nenurodžius adreso I , bus tekinama išilgai Z ašies, kaip parodyta 11.26 pav.

R adresas yra identiškas adresui I , tačiau naudojamas tik naujesnėse „Fanuc“ firmos valdymo sistemose.

Skaičiuojant adreso I (R) reikšmę susiduriama su viena rimta problema, kurios neįvertinus tekinant kūgį su G90 jo tikrieji matmenys gali nesutapti su nurodytais brėžinyje. Taip yra todėl, kad tarp pradinio ciklo taško ir detalės galinio paviršiaus Z ašies kryptimi dažniausiai paliekamas saugumo tarpelis (11.28 pav.), kad įrankis neatsitrenktų į ruošinį judėdamas pagreitinant. Tarpelis paliekamas ir kūgio gale, kad neliktų nenupjauto metalo (11.28 pav.). Dėl to, skaičiuojant I (R) reikšmę tik padalijus kūgio skersmenų skirtumą pusiau, galima padaryti klaidą, tai parodyta 11.29 pav., a. Sakykime, reikia ištekinti kūgį, kurio skersmenys yra lygūs 90 ir 60 mm, o ilgis – 50 mm. Tokiu būdu atstumas I sudaro $(90 - 60)/2 = 15$ mm. Tačiau tai yra teisinga tik tada, kai įrankio judesio pradžios taškas yra $X60 Z0$, tai yra taškas A (11.29 pav., a). Prieš pradėdant apdirbimą įrankis dažniausiai pagreitinant pozicionuojamas pradiniam ciklo taške 1 (11.26, 11.27 pav.), kuris tam tikru atstumu nutolęs nuo detalės galo (mūsų atveju 2 mm nuo galo tai yra $X... Z2$, 11.29 pav.). Tarpelį tarp įrankio ir detalės galo palikti būtina, nes vykdant ciklą įrankis pagreitinant judės X ašies kryptimi (11.27 pav., į tašką 2). Jeigu galas yra nelygus, įrankis gali atsitrenkti į jį ir sulūžti. Be to, reikia vietos pritaikyti spindulio kompensaciją. Paliksime 2 mm

tarpelį ir kūgio gale peiliui išėiti. Tokiu atveju nurodžius eilutėje I-15 ir koordinatę X90, mažas ir didelis kūgio skersmenys neatitiks brėžinio, kaip tai ir parodyta 11.29 pav., a, nes tikroji įrankio trajektorija bus ne AB, o A_1B_1 . Paklaidą turėsime netgi jei nepaliksime tarpelio kūgio pradžioje, o tik pabaigoje, t. y. jei taškai A ir A_1 sutaps (11.29 pav., b). Pagaliau teisingą trajektoriją gausime atveju, pavaizduotu 11.29 pav., c. Tačiau tam reikia teisingai apskaičiuoti taško 2 (11.27 pav.) X koordinatę ir tikrąjį atstumą I .

Teisingai apskaičiuoti koordinatės galima taikant trikampių panašumo teoriją, pagal kurią panašių trikampių kraštinių ilgių yra proporcingi, o kampai lygūs.



11.29 pav. Judesio galinio taško X koordinatės nustatymas tekinant išorinį kūgį ciklu G90: a – programuojamos ir tikrosios trajektorijų nesutapimas, kai judesio gale ir pradžioje paliktas saugumo tarpelis; b – trajektorijų nesutapimas, kai judesio gale paliktas saugumo tarpelis; c – trajektorijos sutampa

Panašūs trikampiai mūsų atveju yra ACB ir $A_1C_1B_1$ (11.29 pav., c). Nustačius iš trikampio ACB atstumą $I = AC$ kaip pusę kūgio skersmenų skirtumo mūsų atvejui galima užrašyti:

$$\frac{I_1}{C_1B_1} = \frac{I}{CB}, \text{ arba } \frac{I_1}{54} = \frac{15}{50}.$$

Iš šios išraiškos galima nesunkiai nustatyti programuojamą reikšmę I_1 .

Kitas metodas – programuojamą reikšmę nustatyti žinant pusės kūgio kampo tangentą:

$$\tan \alpha = \frac{AC}{BC} = \frac{15}{50}.$$

Trikampiai ACB ir $A_1C_1B_1$ yra panašūs, todėl $\angle ABC = \angle A_1B_1C_1$, tad galima užrašyti:

$$\tan \alpha = \frac{A_1C_1}{B_1C_1} = \frac{I_1}{54} \Rightarrow I_1 = 54 \tan \alpha = 54 \frac{15}{50}.$$

Gausime tą pačią reikšmę.

Nustačius programuojamą atstumą I_1 duomenų nepakaks ciklui užprogramuoti, nes nėra žinoma taško B_1 (11.29 pav., c) X koordinatė, t. y. koks yra kūgio skersmuo, įvertinant tai, kad peilis yra nutolęs tarpelio atstumu nuo galinio detalės paviršiaus, ir tai, kad paliktas tarpelis eigos gale. Neįvertinę X koordinatės pasikeitimų vėl pagaminsime niekalą, abu kūgio skersmenys bus didesni už nominaliuosius. Iš trikampio A_1DA (11.29 pav., c) galima nustatyti:

$$A_1D = AD \tan \alpha.$$

Dabar atėmus dvigubą gautą reikšmę iš mažojo kūgio skersmens (60 mm) gaunama taško A_1 X koordinatė. Pridėjus prie jos dvigubą atstumą I_1 bus gauta taško B_1 X koordinatė.

Ciklu G90 negalima užprogramuoti, pavyzdžiui, suapvalinimus arba nuožulnas, pereinant nuo vieno laiptelio iki kito. Tuo ribojamas jo naudojimas, tačiau detalėms be minėtų elementų, taip pat rupiai tekinant (paliekant užlaidą glotniajam tekinimui) jis dažnai naudojamas.

Ciklas G90 yra modalinis, todėl kiekviena koordinatė X arba Z , nurodyta po eilutės su kodu G90, bus suprantama kaip kitas ciklo taškas. Ciklas bus kartojamas su naujai nurodytu parametru. Tekinimo staklėse nėra ciklo atšaukimo kodo G80, todėl čia jis gali būti atšauktas bet kuria judesio komanda – G00, G01 arba G02/G03 (taip galima atšaukti vidinį ciklą ir frezavimo staklėse, tačiau ten galima padaryti ir kodu G80).

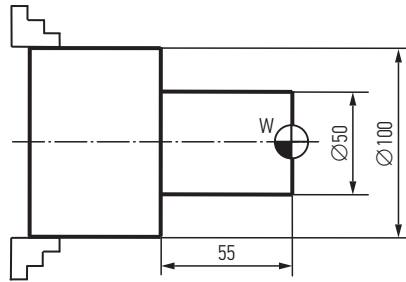
Ciklas G90 gali būti naudojamas ir skylėms gręžti, tačiau šiuo atveju pradinio I ir galinio 3 (11.26 pav.) taškų X koordinatės turi būti tos pačios ($X0$ ašinėms skylėms gręžti).

Toliau nagrinėjami keli pavyzdžiai.

1-asis pavyzdys. Parašysime valdymo programą 11.30 pav. pavaizduotos detalės Ø50 laipteliui apdirbti naudojant ciklą G90. Laiptelis tekinamas iš cilindrinio ruošinio, kurio skersmuo – 100 mm. Parengsime programą absoliučiosiomis koordinatėmis ir prieaugių režimu.

Žinoma, kad pradinis ruošinio (strypo) skersmuo – 100 mm, o tekinto laiptelio skersmuo turi būti tik 50 mm. Apdirbimo užlaida sudaro $100 - 50 = 50$ mm skersmeniui, o spinduliui – $(100 - 50)/2 = 25$ mm (bendras pjovimo gylis). Akivaizdu, kad tokia užlaida negali būti nupjauta viena peilio eiga, todėl reikia suskaidyti užlaidą X ašies kryptimi į tam tikrą dalių skaičių ir nupjauti jas paeiliui, kiekvieną kartą stumiant peilį vis arčiau detalės ašies. Sakykime, kad kiekvienos eigos pjovimo gylis lygus 5 mm spinduliui (arba 10 mm skersmeniui). Tad visa 50 mm užlaida bus nupjauta penkiomis peilio eigomis. Taigi lieka tik pateikti programas.

<p>025631 (Programa 11.30 pav. pavaizduotai detalei apdirbti, absoliučiosios koordinatės); G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį); T0101 (įrankis Nr. 1 – išorinio tekinimo peilis); S2000 M03 (suklys pradeda sukstis į priekį 2000 sūk./min greičiu); G00 X104.0 Z2.0 M08 (greitasis įrankio pozicionavimas pradiniam ciklo taške, nutolusiame 2 mm nuo ruošinio paviršiaus abiejų X ir Z ašių kryptimis, įjungiamas aušinimas); G90 X90.0 Z-55.0 F0.2 (1-oji eiga, kurios metu bus nupjauta 10 mm užlaida skersmeniui arba 5 mm spinduliui, pastūma – 0,2 mm/sūk.); X80.0 (2-oji eiga, per kurią apdirbamo laiptelio skersmuo sumažės iki 80 mm); X70.0 (3-ioji eiga, 70 mm); X60.0 (4-oji eiga, 60 mm); X50.0 (5-oji eiga, bus gautas galutinis skersmuo – 50 mm); G00 X200.0 Z250.0 M09 (greitasis įrankio atitraukimas į keitimo poziciją, kartu bus atšauktas vidinis ciklas G90, išjungiamas aušinimas); M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);</p>	<p>025631 (Programa 11.30 pav. pavaizduotai detalei apdirbti, prieaugiai); G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį); T0101 (įrankis Nr. 1 – išorinio tekinimo peilis); S2000 M03 (suklys pradeda sukstis į priekį 2000 sūk./min greičiu); G00 X104.0 Z2.0 M08 (greitasis įrankio pozicionavimas pradiniam ciklo taške, nutolusiame 2 mm nuo ruošinio paviršiaus abiejų X ir Z ašių kryptimis, įjungiamas aušinimas); G90 U-14.0 W-57.0 F0.2 (1-oji eiga, kurios metu bus nupjauta 10 mm užlaida skersmeniui arba 5 mm spinduliui, pastūma – 0,2 mm/sūk.); U-10.0 (2-oji eiga, per kurią apdirbamo laiptelio skersmuo sumažės iki 80 mm); U-10.0 (3-ioji eiga, 70 mm); U-10.0 (4-oji eiga, 60 mm); U-10.0 (5-oji eiga, bus gautas galutinis skersmuo – 50 mm); G00 X200.0 Z250.0 M09 (greitasis įrankio atitraukimas į keitimo poziciją, kartu bus atšauktas vidinis ciklas G90, išjungiamas aušinimas); M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);</p>
---	--



11.30 pav. Laiduotas velenas, 55 mm ilgio laiptelis tekinamas ciklu G90

2-asis pavyzdys. Parengti programą $\text{Ø}60$ cilindrinei kiaurai skylėi ištekinti (11.31 pav.) naudojant ciklą G90. Pradinis skylės skersmuo – 50 mm. Skylę ištekinsime trimis peilio eigomis, pirmų dviejų eigu metu bus nuimta 8 mm užlaida, po 4 mm kiekvienai eigai, paskutinės eigos metu – 2 mm. Pjovimo gyliai – 2, 2 ir 1 mm atitinkamai.

O25632

(Programa 11.31 pav. pavaizduotai detalei ištekinti);

G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

T0202 (pasirenkamas įrankis Nr. 2 – ištekimo peilis);

S1200 M03 (suklys pradeda sukstis į priekį 1200 suk./min greičiu);

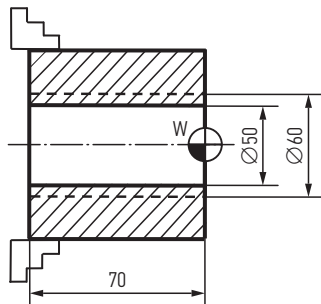
G00 X48.0 (greitasis įrankio pozicionavimas pradiniam ciklo taške pagal X ašį, paliekamas 1 mm tarpas tarp peilio viršūnės ir skylės šoninio paviršiaus);

Z2.0 M08 (greitasis įrankio pozicionavimas pradiniam ciklo taške, nutolusiame 2 mm nuo ruošinio galo Z ašies kryptimi, įjungiamas aušinimas);

G90 X54.0 Z-72.0 F0.12 (1-oji eiga, kurios metu skylė bus ištekinta iki $\text{Ø}54$ skersmens, tai yra nupjaunama 4 mm užlaida skersmeniui arba 2 mm spinduliui, pastūma – 0,12 mm/sūk., eigos gale paliekamas 2 mm tarpas peiliui išeiti);

X58.0 (2-oji eiga, kurios metu skersmuo padidės iki 58 mm);

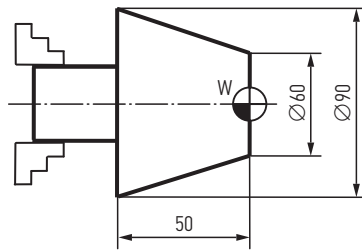
X60.0 (paskutinė eiga, skersmuo – 60 mm);



11.31 pav. Ruošinys, kurio skylė ištekinta ciklu G90

G00 X150.0 M09 (greitasis peilio atitraukimas į tašką X150 Z2 pagal X ašį, kartu bus atšauktas vidinis ciklas G90, išjungiamas TAS siurblys);
 G28 (revolverinė galvutė gražinama į staklių nulį);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

3-iasis pavyzdys. Parengsime programą kūginei detalei tekinti naudodami G90. Detalės eskizas pateiktas 11.32 pav. Kūgis tekinamas iš cilindrinio ruošinio, kurio skersmuo – 90,2 mm, todėl prie mažojo skersmens reikia pjauti labai dideliu pjovimo gyliu – 15,1 mm $((90,2-60)/2)$. Viena eiga gauti kūgio nepavyks, teks atlikti keletą eigių išilgai kūgio sudaromosios. Skirtingai nuo cilindrinės detalės kūgiui tekinti reikia taikyti peilio viršūnės spindulio kompensaciją, mūsų atveju G42 – kontūro dešinėje. Tekinant kūgį apdirbimo skersmuo keičiasi, todėl, kylant peiliui, keisis ir pjovimo greitis. Greičiui stabilizuoti naudosime pastovaus pjovimo greičio funkciją CSS (G96).



11.32 pav. Išorinis kūgis, tekinamas ciklu G90

025633

(Programa kūgiui (11.32 pav.) tekinti);

T0101 (pasirenkamas įrankis Nr. 1 – išorinio tekinimo peilis);

S1500 M03 (suklys pradeda sukstis į priekį 1500 sūk./min greičiu);

G00 X120.0 Z2.0 M08 (greitasis įrankio pozicionavimas pradiniam ciklo taške, nutolusiame 15 ir 2 mm nuo detalės paviršių X ir Z kryptimis atitinkamai, paleidžiamas TAS siurblys);

G96 S150 (palaikomas pastovus 150 m/min pjovimo greitis);

G90 G42 X117.4 Z-52.0 I-16.2 F0.2 (1-oji eiga (11.33 pav., a), pastūma – 0,2 mm/sūk., pritaikoma viršūnės spindulio kompensacija, atstumas I nustatytas pagal anksčiau pateiktą formulę įvertinant 2 mm tarpelius tarp peilio ir detalės galo, taip pat eigos gale);

X107.4 (2-oji eiga (11.33 pav., a));

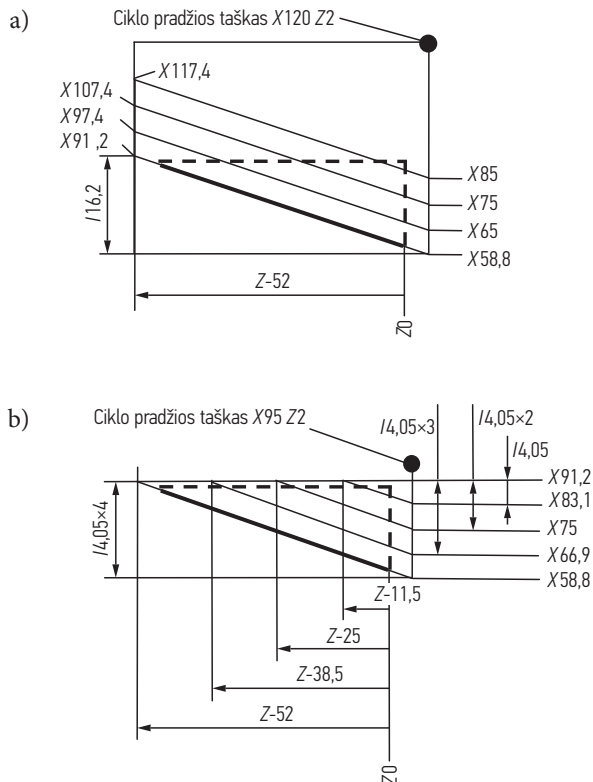
X97.4 (3-oji eiga (11.33 pav., a));

X91.2 (4-oji eiga (11.33 pav., a), paskutinio taško X koordinatė nustatyta pagal anksčiau pateiktą formulę, įvertinant skersmens sumažėjimą dėl 22 mm tarpelio tarp peilio viršūnės ir detalės galo eigos pradžioje);

G00 G40 X200.0 Z250.0 M09 (greitasis peilio atitraukimas į keitimo poziciją, kartu atšaukiamas vidinis ciklas G90, judant į tašką X200 Z250 atšaukiama spindulio kompensacija kodu G40 ir išjungiamas aušinimas);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Ciklo pradžios tašku turėjome parinkti tašką, labai nutolusį nuo ruošinio paviršiaus X ašies kryptimi – aukščiau pirmos eigos galinio taško X koordinatės (11.33 pav., a). Taip buvo daroma dėl to, kad ciklo metu taikoma kompensacija kontūro dešinėje. Parinkus pradinį tašką žemiau (pvz., $X95$), atlikus eigą išilgai kūgio sudaromosios iki taško $Z-52$ įrankis būtų pastūmos greičiu patraukiamas į tašką $X95$, t. y. neigiamą X ašies kryptimi, o ne teigiamą, kaip mūsų atveju. Jeigu nebūtų taikoma viršūnės spindulio kompensacija, viskas įvyktų taip, kaip nurodyta programoje, t. y. įrankio viršūnė iš pradinio taško $X95$ $Z2$ būtų pozicionuojama taške $X85$ $Z2$, toliau būtų atliktas pastūmos judesys iš šio taško į tašką $X117,4$ $Z-52$. Toliau įrankis pastūmos judesiu būtų pozicionuojamas taške $X95$ ir pagreintintai atitrauktas į tašką $X95$ $Z2$. Tai būtų neblogai, tačiau tekinant kūgį dėl nurodytų 9.2.2 skirsnyje priežasčių reikia taikyti viršūnės spindulio kompensaciją. Žinome, kad taikant kompensaciją sistema nuskaitytą kitą eilutę ir perstumia įrankio trajektoriją nurodytu lentelėje spindulio dydžiu į kairę arba į dešinę nuo apdirbamo kontūro. Todėl prieš judant pagal kūgio sudaromąją iš taško $X85$ $Z2$ į tašką $X117,4$ $Z-52$ sistema bandys nustatyti, kur yra kontūro deši-



11.33 pav. Pradinės (a) ir patobulintos (b) programos O25633 įrankio eigu trajektorijos tekinant 11.32 pav. pavaizduotą kūgį, naudojant ciklą G90: punktyru pažymėtas ruošinio profilis

nė pagal kito judesio trajektorijos koordinates. Vargu ar tai pavyks padaryti teisingai įvertinant tai, kad kitas judesys bus atliktas neigiamąja X ašies kryptimi. Kad įrankis judėtų teisinga trajektorija, kitas ciklo judesys turi būti atliktas teigiamąja ašies kryptimi, o tai galima tik tada, kai pradžios taško X koordinatė yra didesnė už ciklo eigos galinio taško X koordinatę. Todėl pabandysime išvengti nereikalingų judesių kitame pavyzdyje šiek tiek kitaip.

4-asis pavyzdys. Tekinant kūgį, parodytą 11.32 pav., pagal programą O25633 bus atlikta daug nereikalingų judesių, kurių trajektorijos pateiktos 11.33 pav., a. Šių judesių metu pastūmos greičiu pjaunamas oras ir veltui gaištamas laikas. Pabandysime sutrumpinti judesių ilgus pakeitę cikle adreso I reikšmę. Taikysime tą pačią trikampių panašumo teoriją. Tam padalinsime I reikšmę į 4 dalis: $16,2/4 = 4,05$ mm. Cikle reikia keisti ir judesių Z koordinates, kad peilis nejudėtų per toli nuo paviršiaus. Padalysime eigos ilgį iš 4: $54/4 = 13,5$ mm. Įvertinant 2 mm tarpelį tarp peilio ir detalės galo atskirų eigų galinių taškų Z koordinatės sudarys atitinkamai $Z-11,5$ ($2 - 13,5$), $Z-25$ ($2 - 2 \times 13,5$), $Z-38,5$ ($2 - 3 \times 13,5$) ir $Z-52$ ($2 - 4 \times 13,5$). Optimizuotos trajektorijos pateiktos 11.33 pav., b. Patobulintos programos O25633 fragmentas atrodo taip:

G00 X95.0 Z2.0 M08;

...;

G90 G42 X91.2 Z-11.5 I-4.05 F0.2 (1-oji eiga (11.33 pav., b), pastūma – 0,2 mm/sūk.);

Z-25.0 I-8.1 (2-oji eiga);

Z-38.5 I-12.15 (3-ioji eiga);

Z-52.0 I-16.2 (4-oji eiga);

...;

5-asis pavyzdys. Išgręžti 11.34 pav. pavaizduotoje detalėje kiaurą skylę. Gręžti naudosisime G90 ciklą. Programa atrodys taip

O25634

(Programa 11.34 pav. pavaizduotoje detalėje 15 mm skersmens skylėi gręžti);

G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

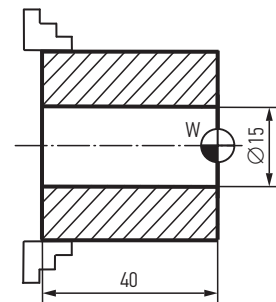
T0202 (pasirenkamas įrankis Nr. 2 – 15 mm skersmens spiralinis grąžtas);

S1000 M03 (suklys pradeda sukstis į priekį 1000 sūk./min greičiu);

G00 Z2.0 (greitasis įrankio pozicionavimas taške, nutolusiame 2 mm nuo ruošinio galo Z ašies kryptimi);

X0.0 M08 (greitasis įrankio pozicionavimas X ašies kryptimi pradiniam ciklo taške X0 (grąžto ašis sutapdinama su detalės ašimi), į pjovimo zoną pradeda tiekėti TAS);

G90 Z-45.0 F0.1 (skylės gręžimas judesiu išilgai Z ašies



11.34 pav. Detalė, kurios skylė gręžiama naudojant G90 ciklą

į tašką Z-45, paliekant 5 mm atstumą grąžtui išeiti, po pastūmos eigos įrankis bus atitrauktas į pradinį ciklo tašką Z2, judesio pagal X ašį neįvyks, nes nenurodyta jo koordinatė);
 G00 X150.0 M09 (greitasis grąžto atitraukimas X ašies kryptimi į tašką X150 Z2, kartu bus atšauktas vidinis ciklas G90, išjungiamas TAS siurblys);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Galo tekimo ciklas G94

Ciklas G94 yra labai panašus į G90, tik naudojamas galiniam paviršiui tekinti, t. y. įrankio pastūmos eigai išilgai X, o ne Z ašies programuoti tarp pradinio ir galinio programoje apibrėžtų taškų (11.35 pav., a). Ciklo formatas yra panašus į G90:

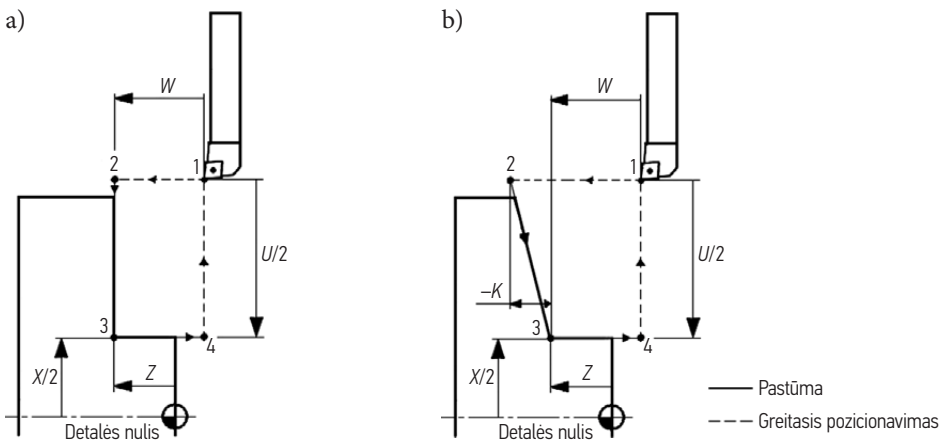
G94 X... Z... F... (absoliučiosios koordinatės);

arba

G94 U... W... F... (prieaugių režimas);

čia: X – galinė peilio viršūnės pozicija pagal X ašį absoliučiosiomis koordinatėmis (kitais tariant, ruošinio laiptelio skersmuo), mm arba coliais, priklausomai nuo pasirinktos vienetų sistemos; Z – galinė peilio viršūnės pozicija pagal Z ašį, mm arba coliais, priklausomai nuo pasirinktos vienetų sistemos; F – pastūma, mm/sūk. arba colių/sūk., priklausomai nuo pasirinktos vienetų sistemos; U – X ašies prieaugis nuo pradinio taško iki galinio, kai programuojama prieaugiais, mm arba coliais, priklausomai nuo pasirinktos vienetų sistemos; W – Z ašies prieaugis nuo pradinio taško iki galinio, kai programuojama prieaugiais, mm arba coliais, priklausomai nuo pasirinktos vienetų sistemos.

Vykdamas ciklą G94 įrankis iš pradinio ciklo taško 1 (11.35 pav., a) pagreitinatai pereis į tašką 2, kurio Z koordinatė nurodoma ciklo eilutėje po adreso Z (arba nurodomas Z



11.35 pav. Ciklo G94 parametrai ir įrankio judesiai: a – tekiant galą; b – formuojant kūgį galiniame paviršiuje

koordinatės prieaugis nuo taško 1 adresu W , kai programuojama prieaugiais). Toliau jis atliks pastūmos (F) judesį X ašies kryptimi į tašką 3, kurio X koordinatė nurodoma po adreso X (arba nurodomas X koordinatės prieaugis nuo pradinio taško 1 adresu U , kai programuojama prieaugiais). Atlikus judesį, įrankis pastūmos greičiu judės pagal Z ašį į tašką 4, iš kurio pagreitintai bus atitrauktas X ašies kryptimi į pradinį tašką 1. Tokiu būdu nuo ruošinio galo bus nupjautas reikalingo storio medžiagos sluoksnis.

Lygiai taip pat, kaip ir $G90$, ciklas $G94$ gali būti naudojamas ir kūgiams tekinti, tik galiniame ruošinio paviršiuje (11.35 pav., b). Vietoje I adreso čia naudojamas adresas K (jis rodo, kas poslinkis bus pagal Z ašį), kurio reikšmė ir ženklas nurodo valdymo sistemai kūgio kryptį ir dydį. Tokio ciklo formatas atrodo taip:

$G94 X... Z... K... F...$ (absoliučiosios koordinatės);

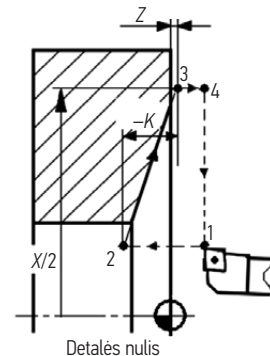
arba

$G94 U... W... K... F...$ (prieaugių režimas);

K reikšmės ženklas nustatomas panašiai kaip ir I reikšmės: jeigu tekinamo kūgio skersmuo didėja kryptimi nuo ruošinio galo, nurodoma neigiamoji adreso K reikšmė, priešingu atveju – teigiamoji. Reikia pasakyti, kad antras atvejis pasitaiko labai retai, čia taip pat reikia atsargumo, kad pagalbinė peilio pjovimo briauna neužkabintų apdirbto paviršiaus. Labiausiai paplitęs yra pirmas atvejis (11.35 pav., b). K reikšmė yra neigiamoji. Ciklas $G94$ tai pat gali būti naudojamas kūginėms skylėms ištekinti, viena iš tokių detalių parodyta 11.36 pav.

Bet kuriuo atveju atstumas K su savo ženklu bus pridėtas prie nurodytos ciklo eilutėje ciklo pabaigos taško 3 Z koordinatės, peilis bus pagreitintai pozicionuojamas taške $Z \pm K$, toliau atliks pastūmos judesį pagal kūgio sudaromąją į tašką 3, kurio X ir Z koordinatės nurodomos ciklo eilutėje. Paskui jis pastūmos greičiu bus atitrauktas į tašką 4, kurio X koordinatė nurodyta ciklo eilutėje, o Z koordinatė yra tokia pati kaip ir pradinio ciklo taško Z koordinatė. Pagaliau įrankis bus pagreitintai atitrauktas į pradinį ciklo tašką 1 pagal X ašį.

Tekinant kūginius paviršius, naudojant $G94$, reikėtų taikyti peilio viršūnės spindulio kompensaciją. Detalės, pavaizduotos 11.35 pav., b, teisingas kodas būtų $G41$ – taikyti spindulio kompensaciją iš kontūro kairės. Detalės, pavaizduotos 11.36 pav., teisingas kodas būtų $G42$. Kaip ir $G90$ ciklo atveju, reikia teisingai nustatyti K reikšmę, įvertinant kontūro pratęsimus ir paliekamus saugumo tarpelius tarp peilio ir detalės paviršių (11.29 pav.).



11.36 pav. Kūginės skylės ištekimas naudojant $G94$

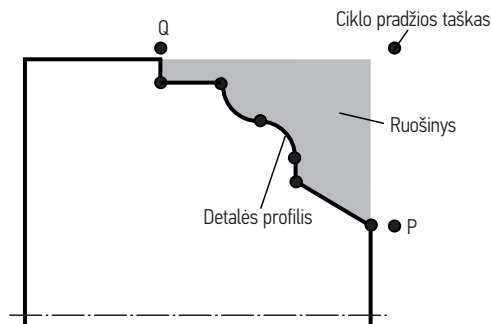
Rupiojo fasoninio tekinimo/ištekinimo Z ašies kryptimi vidinis ciklas G71

Šiuo ciklu išilginėmis peilio eigomis apdirbami įvairūs išoriniai ir vidiniai sudėtingi paviršiai. Sudėtingi reiškia, kad jų profiliai sudaryti ne tik viena tiese, o keliomis tiesėmis ir (arba) kreivėmis. Ciklu G71 galima apdirbti visą detalę, sudarytą iš kelių vienas į kitą pereinančių paviršių, o ne tik vieną paviršių, kaip G90 ciklu. Viena iš tokių detalių pavaizduota 11.37 pav. Žiūrint į jos profilį galima išskirti kelias tieses, lygiagrečias su ašimis X, Z, taip pat sudarančias tam tikrus kampus su minėtomis ašimis. Be to, profilyje galima išskirti ir išgaubtų, ir įgaubtų elementų, kuriuos norint apdirbti peiliui reikia suteikti apskritiminės interpoliacijos judesį pagal laikrodžio rodyklę arba prieš ją. Visi šie elementai bus apdirbti vienu ciklu G71.

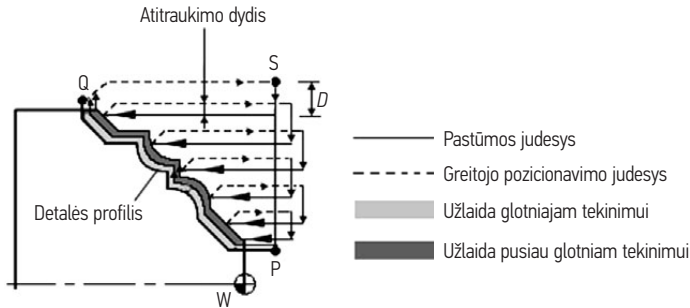
Ciklo G71 skiriamoji savybė yra ta, kad detalė bus apdirbta peilio eigomis, atliktomis išilgai detalės ašies (Z ašies). Tai matyti iš 11.38 pav. Akivaizdu, kad ciklas daugiausia naudojamas fasoninėms detalėms iš strypo arba cilindriniams pavieniams ruošiniams (pilkos spalvos plotelis 11.37 pav. vaizduoja ruošinio profilį) tekinti. Jį naudojant ruošiniams, kurių forma panaši į galutinę detalės formą, bus atlikta daug nereikalingų judesių, jiems bus veltui gaišamas laikas.

Norint pritaikyti kodą G71 jau nepakanka vien tik apibrėžti ciklo pradinio ir galinio taško koordinatų, kaip ciklo G90 atveju. Skirtingai nuo G90, G71 dar reikia apibrėžti detalės profilio taškų koordinatas. Pradiniu ciklo tašku nurodoma, kurioje vietoje prasideda pjovimas ir apribojamos greitosios įrankio eigos, o detalės profilio taškų koordinatės reikalingos įrankio išilginėms pastūmos eigoms apriboti, kaip parodyta 11.38 pav. Ciklo pradžios taškas ir detalės profilio taškai sudaro uždara plotą, kuris ir pašalinamas ciklo G71 metu. 11.37 pav. tai pilkos spalvos plotelis. Taškų skaičius priklauso nuo apdirbamo profilio. Taip tekinant kūgį pakanka apibrėžti tik dviejų taškų koordinatas (11.39 pav., a, taškai 2, 3). Sudėtingesnės geometrinės formos detalei, pavaizduotai 11.39 pav., b, reikėtų nurodyti 11 taškų koordinatas (2–12). Medžiaga bus pašalinama išilginiais pastūmos judesiais, kaip parodyta 11.38 pav.

Taškas S (11.38 pav.) vadinamas ciklo pradžios tašku. Tai yra paskutinis užprogramuotas taškas, prieš programuojant ciklą G71. Jis turi būti išdėstytas kuo arčiau ruošinio



11.37 pav. Ciklu G71 apdirbama detalė



11.38 pav. Ciklo G71 parametrai ir įrankio judesiai: S – ciklo pradžios taškas; P – profilio pradžios taškas; Q – profilio pabaigos taškas; D – pjovimo gylis

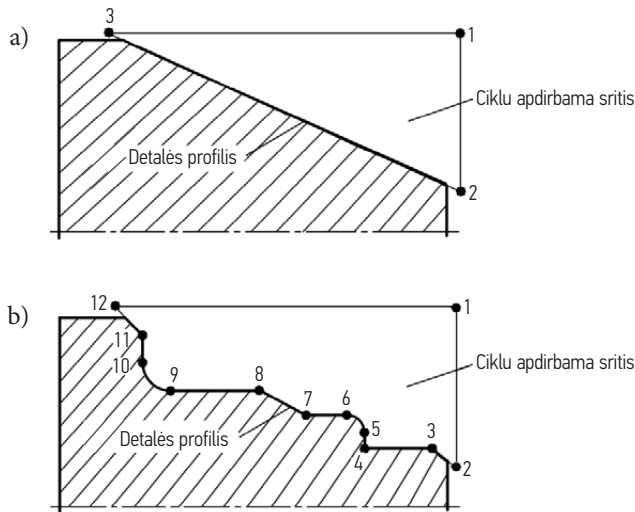
nio profilio kampo, kad peiliu be reikalo nebūtų pjaunamas oras. Jame įrankis pozicionuojamas dažniausiai pagreitintai, todėl saugumo sumetimais tarpeliai tarp įrankio bei ruošinio paliekami ir ašine, ir radialine kryptimis. Taip pavaizduota 11.37–11.39 pav.

Taške S prasideda ciklas. Iš 11.38 pav. galima matyti, kad iš taško S peilis atliks pastūmos judesį ašies X kryptimi nurodytu pjovimo gyliu (D). Toliau įrankis atliks pastūmos judesį išilgai detalės ašies (Z ašies), nupjaunant dalį užlaidos. Paskui peilis bus atitrauktas nuo apdirbto paviršiaus atstumu, nurodomu sistemos nustatymais (atitraukimo dydis, 11.38 pav.) ir grįš į pradinį tašką pagal Z ašį (bet ne pagal X). Toliau vėl išgilins pastūmos greičiu, nurodytu pjovimo gylio D atstumu pagal X ašį ir vėl atliks pastūmos judesį išilgai Z ašies, nupjaunant kitą sluoksnį. Po to atsitrauks ir grįš į pradinį tašką pagal Z ašį. Tokie judesiai bus kartojami tol, kol bus apdirbtas visas plotas, apribotas pradiniu ciklo tašku S ir profilio taškais, įskaitant kraštinius taškus P ir Q, atėmus nurodyto dydžio užlaidą profilio pusiau glotniam tekiniui (11.38 pav. pažymėta tamsiai pilka spalva) ir glotniajam profilio tekiniui (11.38 pav. pažymėta šviesiai pilka spalva). Apdirbus šį plotą peilis dar atliks eigą išilgai gauto profilio, išlygindamas jį ir nuimdamas pėdsakus, paliktus įrankio, atlikusio išilgines eigas. Jeigu cikle nurodyta palikti užlaidą pusiau glotniam tekiniui, bus atlikta papildoma įrankio eiga išilgai profilio, nuimant šį medžiagos sluoksnį, 11.38 pav. pažymėtą tamsiai pilka spalva. Užlaida glotniajam tekiniui gali būti paliekama (nurodyto ciklo eilutėje dydžio užlaida automatiškai bus pridėta prie profilio taškų koordinatčių) arba nepaliekiama (jei nenurodytas jos dydis ciklo eilutėje), tačiau ji neapdirbama ciklu G71, o turi būti papildomai nupjauta glotniojo tekiniavimo ciklu G70.

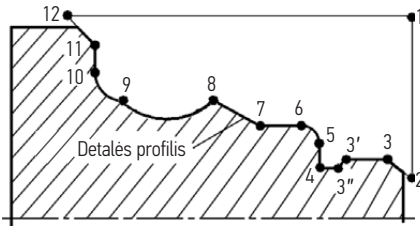
Taškų, kuriais apibrėžiamas detalės profilis, koordinatės programoje dažniausiai nurodomos po eilutės su kodu G71 sunumeruotose adresais N... eilutėse (turi būti sunumeruotos jei ne visos, tai bent pirmo P ir paskutinio Q taškų koordinatčių eilutės). Eilutėje su kodu G71 detalės profilis apibrėžiamas adresais P ir Q (pvz., P1 Q10), po kurių nurodomi pradinį (P) ir galinį (Q) profilio taškus apibrėžiančių programos eilučių numeriai. Tokiu būdu ciklas kreipsis į nurodytas ciklo G71 eilutėje programos eilutes, iš kurių pasiims visas detalės profilio X ir Z koordinatas (11.39 pav., a, pateik-

tam pavyzdžiui turi būti nurodytos 2-ojo ir 3-iojo taškų koordinatės, 11.39 pav., b, parodytai detalei – 2–12 taškų koordinatės). Valdymo sistema, žinodama profilio taškų koordinates, pjovimo gylį ir kitą informaciją, pati sugeneruos įrankio eigą, panašias į parodytąsias 11.38 pav. Profilis programuojamas taip, lyg jis būtų apeinamas peiliu nuo taško P iki Q, t. y. nepakanka nurodyti vien taškų koordinačių, turi būti informacija apie tai, kaip sujungti profilio taškai, kitaip tariant, turi būti nurodyti kodai G01/G02/G03. Pirmo detalės kontūro taško eilutės numeris turi būti originalus, jis neturi kartotis niekur kitur programoje.

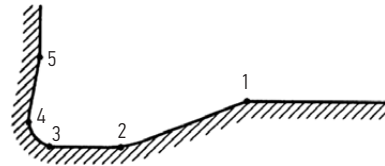
Kalbant apie ciklą G71, reikia išskirti du profilio (įrankio trajektorijos) tipus. Pirmas iš jų palaikomas senesnio tipo valdymo sistemose ir vadinamas tiesiog I tipo profiliu (*I Type*). Programuojant I tipo trajektorijas neleidžiama keisti įrankio trajektorijos krypties X ašies kryptimi. I tipo trajektorijos užprogramuotų įrankio taškų X koordinatės turi tik monotoniškai didėti (tekinant) arba tik mažėti (ištekinant). Trajektorijos taškų Z koordinatės taip pat turi kisti tik viena kryptimi. Tokios kylančios trajektorijos pavyzdžiai pateikti 11.37–11.39 pav. Iš jų matoma, kad įrankiui judant nuo profilio pradžios taško P iki profilio pabaigos taško Q (arba nuo 2 iki 3 ir nuo 2 iki 12 11.39 pav.) tarpinių taškų X koordinatės tik didėja arba nebent nemažėja. Profilių, pateiktą 11.40 pav. staklėmis, palaikančiomis tik I tipo trajektorijas, nebus galima apdirbti, nes ne visų profilio taškų X koordinatės yra didėjančios arba tokios pačios. Yra profilio ruožas (griovelis 3'–3''–4), kuriame jos mažėja. Tokiu atveju paleista programa bus priverstinai sustabdyta, pasirodys klaidos pranešimas. Detalė nebūtų apdirbta ne tik dėl minėto griovelio, bet ir dėl atkarpos 8–9, nepaisant to, kad šios atkarpos pradinio ir galinio taškų X koordinatės yra tas pačios. Pateikta taisyklė galioja visų profilio taškų koordinatėms, o ne tik tų, kuriuose keičiasi trajektorijos kryptis.



11.39 pav. Ciklu G71 apdirbamų detalių profiliai: a – kūginės detalės; b – fasoninės detalės (Smid 2003)



11.40 pav. Detalės profilis, kurio negalima gauti tekimo staklėmis, palaikančiomis tik I tipo trajektorijas



11.41 pav. Detalės profilis, kurio taškų Z koordinatės keičiasi neteisingai

Naujesnėse valdymo sistemose galima programuoti didėjančias ir mažėjančias įrankio X koordinatas G71 cikle. Tokios trajektorijos vadinamos II tipo (*II Type*). Tokiu būdu gali būti apdirbami grioveliai, esantys cilindriniam detalės paviršiuje (11.40 pav.). Z ašies krypties keisti negalima bet kuriuo atveju (ir I, ir II tipo trajektorijoms), bet kuri sistema neįsis apdirbti griovelio, pavaizduoto 11.41 pav. dėl atkarpos 4–5, kurioje Z koordinatė pakeičia kryptį, bus klaida. Tokie grioveliai turėtų būti apdirbami atskirai, po G71 ciklo.

Sužinoti, kokio tipo trajektorijos programuojamos tam tikroje valdymo sistemoje galima tik iš operatoriaus vadovo. Galima teigti, kad jeigu sistemoje programuojamos II tipo trajektorijos, galima programuoti ir I tipo trajektorijas. Tokia sistema atpažins trajektorijos tipą pagal tai, pagal kiek ašių užprogramuotas judesys pirmoje trajektorijos aprašymo eilutėje:

G71 U... R...;

G71 P5 Q... U... W... F... S...;

N5 G00 X... (judesys į pirmą profilio tašką P tik pagal ašį X – I trajektorijos tipas);

G01 ... (judesys į kitą profilio tašką);

... (judesys į kitą profilio tašką);

... (judesys į kitą profilio tašką);

N...(judesys į paskutinį profilio tašką);

...;

G71 U... R...;

G71 P5 Q... U... W... F... S...;

N5 G00 X... Z... (judesys į pirmą profilio tašką P pagal ašis X ir Z – II trajektorijos tipas);

G01 ... (judesys į kitą profilio tašką);

... (judesys į kitą profilio tašką);

... (judesys į kitą profilio tašką);

N...(judesys į paskutinį profilio tašką);

...;

Antrame pavyzdyje judesio į pirmą profilio tašką eilutėje N5 nurodytos dviejų ašių koordinatės. Tokiu būdu sistema leis kiekvienoje iš kitų profilio taškų eilučių kintan-

čios krypties X koordinatės ir nelaikys tokių koordinatinių klaidingomis. Jeigu pirmo profilio taško eilutėje užprogramuotas judesys tik ašies X kryptimi, sistema traktuos visus tolesnius profilio taškus kaip I tipo trajektorijos, t. y. nustačius, kad jos taškų X koordinatės keičia kryptį, programa bus sustabdyta.

Kyla klausimas – ką daryti, jeigu pirmoje eilutėje nereikia judesio Z ašies kryptimi, kaip dažniausiai ir būna? Jeigu trajektorijai aprašyti nereikia judesio pagal Z ašį, galima tiesiog nurodyti $W0.0$ (prieaugiais) arba kartotinai nurodyti pradinio ciklo taško Z koordinatę (absoliučiosiomis koordinatėmis). Tokiu būdu sistema vis tiek supras, kad programuojama II tipo trajektorija, ir leis profiliui kisti X ašies kryptimi. Priešingu atveju bus priimta I tipo trajektorija, kurioje leidžiamas tik profilio taškų X koordinatinių didėjimas (arba mažėjimas). Tokiu atveju detalė, pavaizduota 11.40 pav., nebus apdirbama, nepaisant to, kad sistema leidžia programuoti II tipo trajektorijas.

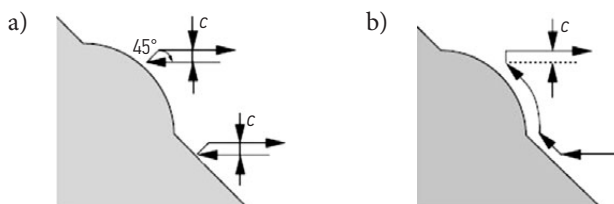
Dirbant su II tipo trajektorijomis reikia atsiminti, kad peilio plokštelė turi pagalbinę pjovimo briauną ir pagalbinį užpakalinį paviršių, kurie gali kabinti ruošinį tekinant griovelį. Todėl reikia labai atidžiai tikrinti koordinatės, įvertinant plokštelės matmenis ir viršūnės kampą.

Trajektorijos tipas taip pat turi įtakos ir tam, kaip bus atitraukiamas įrankis po kiekvienos eigos. Esant I tipo trajektorijai, įrankis juda išilgai Z ašies iki susikirtimo su užprogramuotu detalės profiliu (įvertinant užlaidą pusiau glotniam ir glotniajam tekinimui (11.38 pav. tamsiai ir šviesiai pilkos sritys)). Toliau įrankis atitraukiamas nuo profilio 45° kampu su Z ašimi (11.38 pav., 11.42 pav., a), po to grąžinamas į pradinį ciklo tašką pagal Z ašį. Toliau įrankis perstumiamas neigiamąja X ašies kryptimi ir atlieka kitą eigą. Atlikus visas eigas atliekamas užprogramuoto profilio išvaikščiavimas. II tipo trajektorijos atveju įrankis, atlikęs eigą Z ašies kryptimi, juda išilgai užprogramuoto profilio (įvertinant užlaidą pusiau glotniam ir glotniajam tekinimui) iki taško, kurio X koordinatė buvo galinė prieš tai atliktoje eigoje. Eigos pabaigoje įrankis atsitraukia X ašies kryptimi, o ne 45° kampu su Z ašimi. Tai parodyta 11.42 pav., b.

Priklausomai nuo valdymo sistemos ciklo G71 formatas gali šiek tiek skirtis. Tai visų pirma liečia ciklo eilučių skaičių, kurių gali būti viena arba dvi.

„Fanuc“ firmos sistemose 10T/11T/15T ciklo G71 formatas yra toks:

G71 P... Q... I... K... U... W... D... F... S... T...;



11.42 pav. Įrankio atitraukimo judesiai apdirbant pagal I (a) ir II (b) tipo trajektorijas

čia: P – adresas, po kurio nurodomas eilutės, kurioje užprogramuotas judesys į pradinį apdirbamo profilio tašką, numeris; Q – adresas, po kurio nurodomas eilutės, kurioje užprogramuotas judesys į paskutinį apdirbamo profilio tašką, numeris; I – adresas, po kurio nurodomas medžiagos sluoksnio storis, kurį reikia palikti ant paviršiaus X ašies kryptimi pusiau glotniam tekiniui, atliekamam po rupiojo tekimo išilginiais judesiais ir išvaikščiojimo, šis sluoksnis pažymėtas 11.38 pav. tamsiai pilka spalva (reikšmė nurodoma detalės spinduliui); K – adresas, po kurio nurodomas medžiagos sluoksnio storis, kurį reikia palikti ant paviršiaus Z ašies kryptimi pusiau glotniam tekiniui, atliekamam po rupiojo tekimo išilginiais judesiais ir išvaikščiojimo, sluoksnis pažymėtas 11.38 pav. tamsiai pilka spalva; U – užlaida glotniajam tekiniui (nurodoma ruošinio skersmeniui) pagal X ašį; W – užlaida glotniajam tekiniui pagal Z ašį; D – kiekvienos peilio eigos pjovimo gylis (11.38 pav.), visada teigiamasis dydis, nurodomas spinduliui; F – pastūma, mm/sūk. arba coliais/sūk., kuri naudojama rupiajam tekiniui (išilginiais judesiais) ir pusiau glotniam (jeigu nurodyti adresai I ir K); S – pjovimo greitis, m/min arba pėdomis/min, naudojamas pjauti, jeigu netinka paskutinis užprogramuotas; T – įrankio adresas, kuris naudojamas tik tada, kai reikia pakeisti įrankio dilimo kompensacijos eilutę.

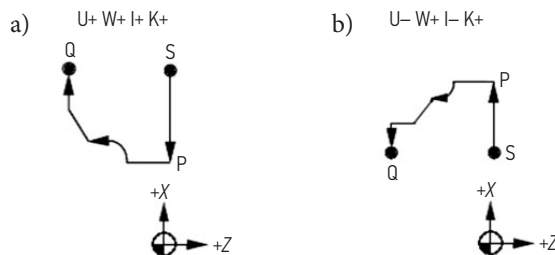
Jeigu nurodyti nenuliniai adresai I ir K, reiškia, kad atlikus visas rupiojo tekimo eigas (Z ašies kryptimi, kaip parodyta 11.38 pav.) ir išvaikščiojimą išilgai sudaryto profilio, bus atlikta dar viena įrankio eiga išilgai profilio, apibrėžto eilutėse P–Q, nupjauti paliktą užlaidą, kuri 11.38 pav. pažymėta tamsiai pilka spalva. Ši eiga atliekama ne išilgai Z ašies, o išilgai profilio, tačiau kai valdymo sistema skaičiuos rupiojo tekimo eigų Z koordinates, atstumai I ir K bus pridėti prie profilio taškų atitinkamų koordinatėjų X ir Z . Užlaida gali būti palikta arba teigiamąja arba neigiamąja ašies kryptimi, tam adresų I ir K reikšmės turi savo ženklą, priklausomai nuo jo atstumas bus arba pridėtas, arba atimtas iš atitinkamos Z arba X koordinatės. Atveju, pavaizduotu 11.38 pav., I ir K reikšmės turi būti teigiamosios. Ištekinant skylę, kaip pavaizduota 11.44 pav., I reikšmė turi būti neigiamoji, K – teigiamoji. Pusiau glotnus tekimas naudojamas norint gauti geresnę apdirbto paviršiaus kokybę dažniausiai tada, kai norima apsieiti be glotniojo tekimo ciklo G70. Adresus I ir K supranta ne visos valdymo sistemos. Jeigu jie nenurodomi, peilio eiga nebus vykdoma, ciklas susidės tik iš rupiojo tekimo eigų Z ašies kryptimi ir išvaikščiojimo. Pažymėtina, kad, nenorint palikti užlaidos pusiau glotniam tekiniui, nereikia naudotis nuliniiais adresais I0.0, K0.0. Tokiu atveju bus atliktas nereikalingas judesys, dar kartą po išvaikščiojimo apeinama peiliu išilgai profilio su 0 mm pjovimo gyliu.

Adresai U ir W (nenuliniai) nurodo, kiek reikia palikti medžiagos glotniajam tekiniui (ciklui G70) išilgai detalės profilio. Ši užlaida 11.38 pav. išskirta šviesiai pilka spalva. Ji bus nuimama vienu peilio judesiu išilgai profilio panašiai kaip ir užlaida pusiau glotniam tekiniui I ir K , tik ne cikle G71, o G70. Čia kyla klausimas – kam reikia to glotniojo tekimo, jeigu galima nurodyti nenulinius adresus I ir K ir tekinti glotniai jau cikle G71? Atsakymas paprastas – ciklas G71 atliekamas vienu peiliu ir neleidžia jo

keisti vykdant ciklą. Tai reiškia, kad ir rupiojo tekinimo eigos išilgai Z ašies, ir pusiau glotnus tekinimas bus atlikti vienu peiliu, pasirinktu prieš ciklą G71. Žinoma, kad rupiajam tekinimui dažniausia naudojamos plokštelės su mažu viršūnės suapvalinimo spinduliu ir neigiamu priekiniu kampu, kurios leidžia didelės pastūmas ir pjovimo gylius, ko ir reikia našiai apdirbti detalę. Tokios plokštelės paprastai nelabai tinka glotniajam tekinimui, kai naudojamos plokštelės su teigiamu priekiniu kampu ir didesniu viršūnės suapvalinimo spinduliu. Šios plokštelės ne tokios stiprios, bet naudojant jas galima gauti geresnę paviršiaus kokybę. Be to, kartais rupiojo tekinimo peiliu neiš-eina apdirbti profilio dėl didelio plokštelės viršūnės kampo, o peiliais su smailomis plokštelėmis negalima tekinti rupiai dėl nepakankamo pjovimo dalies stiprumo. Todėl kartais reikia pakeisti peilį prieš tekinant glotniai. Galiausiai ciklas G71 neleidžia keisti pastūmos ir pjovimo greičio, t. y. visos eigos – ir rupiojo tekinimo išilgai Z ašies, ir pusiau glotnaus tekinimo – bus atliktos su ta pačia pastūma F . Tekinant rupiai, norima pasiekti didesnę našumą, pastūma paprastai didinama iki leistinos. Tekinant glotniai, norint pasiekti mažesnę paviršiaus šiurkštumą, pastūma mažinama mažinant našumą, o greitis, atvirkščiai, didinamas. Šie teiginiai prieštarauja vienas kitam, todėl jeigu nurodytume G71 cikle glotniojo tekinimo pastūmą, apdirbimas užtruks neleistinai ilgai, o jeigu nurodytume rupiojo tekinimo pastūmą – negausime paviršiaus kokybės. Įvertinant tai, taip pat ir tai, kad ne visos valdymo sistemos naudoja adresus I ir K , kartais gali būti reikalingas ir atskiras glotniojo tekinimo ciklas, kuriam užlaida nurodoma adresais U ir W . Adresai U ir W (kaip ir I ir K) nurodo ne tik nuimamos medžiagos sluoksnio storį (skirtingai nuo adreso I , U nurodomas skersmeniui), bet ir kryptį. Akivaizdu, kad tekinant detalę iš išorės (11.38 pav.) reikia palikti užlaidą teigiamąja X ašies kryptimi nuo detalės paviršiaus. Tuo atveju naudojamos teigiamosios U ir W reikšmės, t. y. $U\dots$ ir $W\dots$. Ištekiant skylę (11.44 pav.), adreso U reikšmės ženklas keičiasi į priešingą, tai yra $U-\dots$, W lieka toks pat. Tai parodyta 11.43 pav.

Jeigu glotniojo tekinimo ciklo neplanuojama naudoti programoje, adresai U ir W tiesiog nenurodomi, nulinių reikšmių geriau nenaudoti.

Adresas D naudojamas kiekvienos rupiojo tekinimo eigos Z ašies kryptimi pjovimo gyliui nurodyti (11.38 pav.). Tokiu būdu su kiekviena eiga peilio viršūnė artės



11.43 pav. Adresų U , I , W , K ženklai, tekinant (a) ir ištekiant (b): S – ciklo pradžios taškas; P – profilio pradžios taškas; Q – profilio pabaigos taškas

prie ruošinio ašies (tekinant išorinį profilį, ištekinant skylę – atvirksčiai) atstumu D , kuris programuojamas spinduliui ir yra visada teigiamas. Artėjant prie ašies (arba tolstant nuo jos ištekinant) peilis jokiū būdu neperžengs mažiausio (didžiausio) profilio skersmens (pridėjus atstumus I ir U , jei nurodyti), netgi jeigu nepavyks padaryti paskutinės eigos nurodytu pjovimo gyliu. Valdymo sistema pati sumažins paskutinės eigos pjovimo gylį. Atlikus eigą peilis, prieš grįždamas į pradinį ciklo tašką pagal Z ašį, kad įsigilintų, atsitrauks nuo jau apdirbto paviršiaus atstumu, valdomu sistemos nustatymais (c , 11.42 pav.).

„Fanuc“ firmos valdymo sistemos 0T/16T/18T/20T/21T yra žemesnio lygio ir joms, programuojant ciklą G71, reikia nurodyti jau dvi eilutes:

G71 U... R...;

G71 P... Q... U... W... F... S... I... T... K...;

čia: U – rupiojo tekinimo pjovimo gylis, panašiai kaip D prieš tai nagrinėtose valdymo sistemose 10T/11T/15T; R – įrankio atitraukimo dydis po kiekvienos įrankio eigos Z ašies kryptimi (11.42 pav., atstumas c). Antroje eilutėje pateikti adresai yra analogiški tokiems pat prieš tai nagrinėtose valdymo sistemose 10T/11T/15T.

Adresus I ir K , kuriais antroje eilutėje nurodoma užlaida pusiau glotniam tekiniui, galima naudoti ne visose valdymo sistemose.

Ciklas G71 yra nemodalinis, todėl jo veikimo nereikia atšaukti.

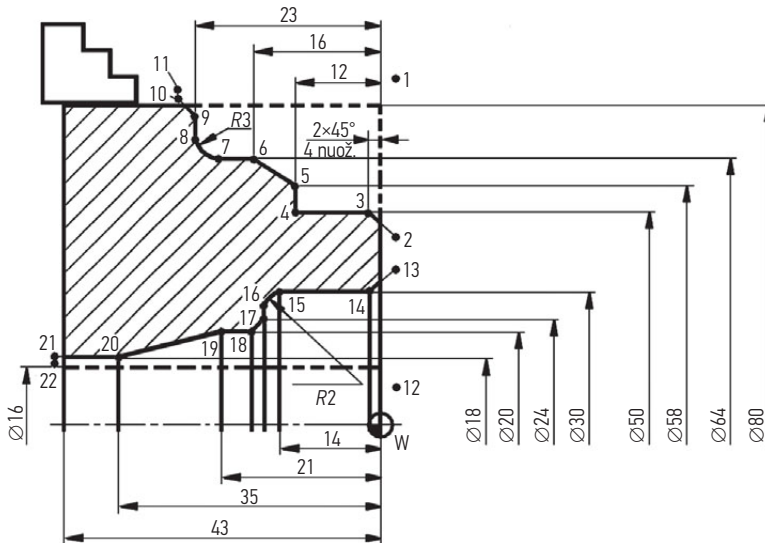
Spindulio kompensacija ciklo metu automatiškai nepritaikoma, ją reikia pritaikyti aprašant profilį (judesio į profilio pradžios tašką P , 11.38 pav., metu) arba prieš judesį į ciklo pradinį tašką S . Pirmas metodas dažniausiai taikomas, kai po G71 atliekamas glotniojo tekinimo ciklas G70, antras – kai nenaudojamas. Bet kuriuo atveju reikia nepamiršti atšaukti spindulio kompensaciją profilio aprašymo paskutinėje eilutėje arba atitraukimo judesio metu, programuojamo po profilį aprašančių eilučių.

Detalės profilį apibrėžiančios eilutės N...–N..., kurių numeriai nurodomi adresais P... ir Q... ciklo eilutėje, bus naudojamos tik šiam ciklui (dar dažnai naudojamos glotniojo tekinimo ciklui G70). Tai reiškia, kad atlikus ciklą ir vykstant programai toliau nuo kitos, esančios po G71 eilutės, jos valdymo sistemos bus praleistos.

Ne visose sistemose leidžiamas taškas adreso D reikšmėje. Pavyzdžiui, pjovimo gylis 1,5 mm kai kuriose sistemose turi būti nurodomas taip: D1500, o ne D1.5. Gylis 0,5 mm gali būti nurodomas kaip D0500 arba D500.

Programų pavyzdžiai

I-asis pavyzdys. Parašysime programą detalei, pavaizduotai 11.44 pav., apdirbti, naudojant ciklą G71. Programoje ciklas G71 naudojamas du kartus. Vieną kartą jis naudojamas išoriniam profiliui tekinti iš 80 mm skersmens cilindrinio ruošinio, antrą kartą naudojamas vidiniam profiliui ištekinti, turint omenyje, kad ruošinyje jau išgręžta (arba gauta kitu metodu, pvz., liejant) 16 mm skersmens skylė. Paliksime dar 0,6 mm užlaidą X ašies kryptimi ir 0,3 mm užlaidą Z ašies kryptimi glotniajam tekiniui.



11.44 pav. Detalė, kurios vidinis ir išorinis profiliai apdirbami ciklu G71 (punkturu parodytas ruošinys): 1, 12 – pradiniai ciklų G71 taškai; 2–11 ir 13–22 – išorinio ir vidinio profilio taškai

Tai reiškia, kad pirmas nuo galo detalės laiptelis ciklu G71 nebus apdirbtas iki 50 mm skersmens, o bus tik iki 50,6 mm. Apdirbę negausime jo matmens, lygaus 12 mm, kaip brėžinyje, o gausime $12 + 0,3 = 12,3$ mm. Visos šios užlaidos bus paliktos automatiškai, nepaisant to, kad programoje nurodytos galutinės kontūro taškų koordinatės. Tai atliks pati valdymo sistema, o likusi medžiaga gali būti nupjauta glotniojo tekinimo ciklu G70. Mes prirašysime G70 kodus vėliau, kol kas jo vietoje paliksim daugtaškius.

Programa atrodys taip:

O00711

(Programa išoriniam ir vidiniam profiliams tekinti naudojant G71 ciklą);

G28 (revolverinė galvutė nukreipiama į staklių nulį);

T0101 (peilis Nr. 1 – išorinio tekinimo peilis nustatomas į darbinę poziciją);

G97 S1200 M03 (suklys paleidžiamas suktais 1200 suk./min greičiu į priekį);

G00 Z2.0 (peilis greitai pozicionuojamas pagal Z ašį);

X84.0 (peilis greitai pozicionuojamas pagal X ašį pradinėje ciklo pozicijoje – taške 1 (11.44 pav.));

G96 S180 M08 (pritaikomas pastovaus pjovimo greičio režimas, greitis – 180 m/min, įjungiamas TAS siurblys);

G71 P1 Q2 U0.6 W0.3 D2.0 F0.15 (išorinio tekinimo vidinis ciklas, paliekant 0,6 mm užlaidą X ašies kryptimi (skersmeniui) ir 0,3 mm Z ašies kryptimi, eigos pjovimo gylis – 2 mm, pastūma – 0,15 mm/sūk., profilio taškų koordinatės imamos tarp programos eilučių N1–N2); N1 G42 G00 X42.0 (greitojo pozicionavimo judesys į pradinį profilio tašką 2 (11.44 pav.), pakeliui į jį taikoma viršūnės spindulio kompensacija profilio dešinėje, judesio pabaigos taško

Z koordinatė nenurodoma, todėl ciklas bus traktuojamas kaip I tipo – X koordinačių krypties kitimas neleidžiamas);

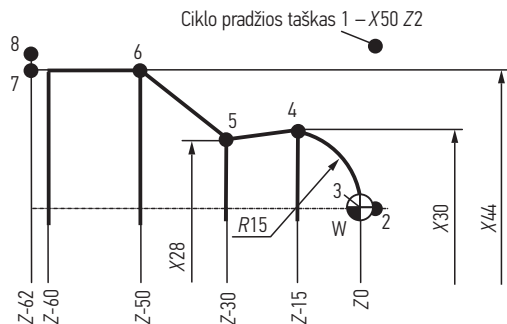
G01 X50.0 Z-2.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į kitą profilio tašką 3);
 Z-12.0 (taškas 4);
 X58.0 (taškas 5);
 X64.0 Z-16.0 (taškas 6);
 Z-20.0 (taškas 7);
 G02 X70.0 Z-23.0 R3.0 (taškas 8);
 G01 X76.0 (taškas 9);
 X82.0 Z-26.0 (taškas 10);
 N2 G40 X83.0 (paskutinis taškas 11, atšaukiama spindulio kompensacija);
 G97 S800 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys pradeda sukstis į priekį 800 sūk./min greičiu);
 G00 X100.0 Z150.0 M09 (greitasis įrankio atitraukimas į keitimo poziciją, išjungiamas TAS siurblys);
 T0303 (pasirenkamas įrankis Nr. 3 – glotniojo tekinimo peilis);
 G00 X84.0 Z2.0 (peilis pozicionuojamas pradinėje ciklo pozicijoje);
 G96 S300 M08 (pritaikomas 300 m/min pastovaus pjovimo greičio režimas, įjungiamas TAS siurblys);
 ... (glotniojo tekinimo ciklas G70);
 G97 S800 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys pradeda sukstis 800 sūk./min greičiu);
 G00 X100.0 Z150.0 M09 (greitasis įrankio atitraukimas į keitimo poziciją, išjungiamas TAS siurblys);
 T0202 (pasirenkamas peilis Nr. 2 – ištekinimo peilis);
 G00 X14.0 Z2.0 M08 (peilis greitai pozicionuojamas pradiniam ciklo taške 12 (11.44 pav.), įjungiamas TAS siurblys);
 G96 S150 (pritaikomas 150 m/min pastovaus pjovimo greičio režimas);
 G71 P3 Q12 U-0.6 W0.3 D1.5 F0.1 (ištekinimo ciklas, paliekant 0,6 mm užlaidą X ašies kryptimi (skersmeniui) ir 0,3 mm Z ašies kryptimi, pjovimo gylis – 1,5 mm, pastūma – 0,1 mm/sūk., profilio taškų koordinatės imamos tarp programos eilučių N3–N12);
 N3 G00 G41 X38.0 (greitojo pozicionavimo judesys į vidinio profilio pradžios tašką 13, pakeliui į jį taikoma viršūnės spindulio kompensacija profilio kairėje, judesio pabaigos taško Z koordinatė nenurodoma, todėl ciklas bus traktuojamas kaip I tipo – X koordinačių krypties kitimas neleidžiamas);
 N4 G01 X30.0 Z-2.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į profilio tašką 14);
 N5 Z-14.0 (taškas 15);
 N6 G03 X26.0 Z-16.0 R2.0 (taškas 16);
 N7 G01 X24.0 (taškas 17);
 N8 X20.0 Z-18.0 (taškas 18);
 N9 Z-21.0 (taškas 19);
 N10 X18.0 Z-35.0 (taškas 20);
 N11 Z-44.0 (taškas 21);

N12 G40 X15.0 (taškas 21, atšaukiama spindulio kompensacija);
 ... (glotniojo ištekimo ciklas G70 bus atliktas tuo pačiu įrankiu T02, tačiau su mažesne pastūma ir didesniu pjovimo greičiu. Ciklas prasidės ir pasibaigs tame pačiame taške kaip ir G71 – X14 Z2, kuriame peilis atsiduria po ciklo G71);
 G00 X180.0 M09 (pagreiktintas įrankio atitraukimas pagal X ašį, išjungiamas TAS siurblys);
 G28 (revolverinė galvutė nukreipiama į staklių nulį);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

2-asis pavyzdys. Parengsime programą 11.45 pav. pavaizduotai detalei apdirbti naudojant ciklą G71. Šiuo atveju nepaliksime užlaidos glotniajam tekinimui, o pasi-naudosime galimybe atlikti cikle G71 pusiau glotnaus tekinimo pakopą, paliekant tam užlaidą adresais I ir K.

000712

(programa 11.45 pav. parodytai detalei apdirbti iš strypo naudojant G71 ciklą);
 G50 S2500 (apribojami didžiausieji suklio sūkiai iki 2500 sūk./min);
 G28 (revolverinė galvutė nukreipiama į staklių nulį);
 T0202 (peilis Nr. 2 – išorinio tekinimo peilis nustatomas į darbo poziciją);
 S1500 M03 (suklys pradeda sukintis į priekį 1500 sūk./min greičiu);
 G42 G00 Z2.0 X50.0 (greitojo pozicionavimo judesys į pradinį ciklo tašką 1 (11.45 pav.) pagal Z ir X ašis, judesio metu bus pritaikyta spindulio kompensacija profilio dešinėje);
 G96 S150 M08 (pritaikomas 150 m/min pastovaus pjovimo greičio režimas, pradeda tiekti TAS);
 G71 D3. I1. K1. P1 Q2 F0.15 (tekinimo ciklas, paliekant 1 mm užlaidą X ašies kryptimi (spinduliui) ir 1 mm Z ašies kryptimi, eigos pjovimo gylis – 3 mm, pastūma – 0,15 mm/sūk., profilio geometrija apibrėžta tarp programos eilučių N1–N2);
 N1 G00 X0.0 Z2.0 (greitasis judesys į pradinį profilio tašką 2, pirmoje kontūro apibrėžimo eilutėje nurodomos taško 2 X ir Z koordinatės, todėl galimas profilio X koordinatinių krypties kitimas);
 G01 Z0.0 (tiesinis pastūmos judesys į profilio tašką 3 – detalės nulį);



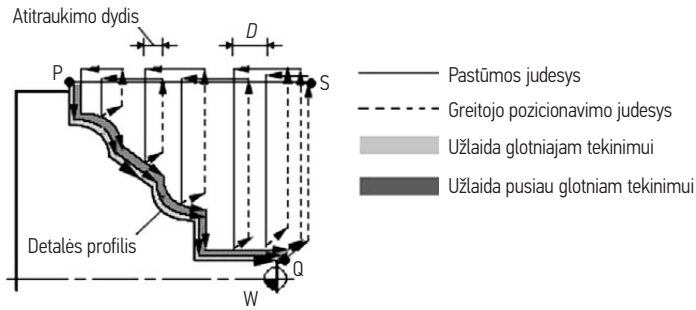
11.45 pav. Detalė apdirbama ciklu G71

G03 Z-15.0 X30.0 R15.0 (pastūmos apskritiminės interpoliacijos judesys prieš laikrodžio rodyklę pagal apskritimo lanką R15 į profilio tašką 4);
 G01 X28.0 Z-30.0 (tiesinis pastūmos judesys į profilio tašką 5);
 Z-50. X44.0 (tiesinis pastūmos judesys į profilio tašką 6);
 Z-62.0 (tiesinis pastūmos judesys į profilio tašką 7);
 N2 G40 X49.0 (pastūmos judesys į tašką 8 atšaukiant spindulio kompensaciją);
 G97 S1500 M09 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys pradeda sukėti 1500 sūk./min greičiu, nutraukiamas TAS tiekimas);
 G28 (revolverinė galvutė nukreipiama į staklių nulį);
 T0808 (atpjovimo peilis (pjovimo briaunos ilgis – 4 mm) 8-ajame galvutės lizde nustatomas į darbo poziciją);
 G00 Z-64.0 (peilis pozicionuojamas atpjovimo pozicijoje pagal Z ašį);
 X50.0 (peilis pozicionuojamas atpjovimo pozicijoje pagal X ašį);
 G96 S120 M08 (pritaikomas 120 m/min pastovaus pjovimo greičio režimas, pradeda tiesti TAS);
 G01 X-0.5 F0.1 (nupjovimas su 0,1 mm/sūk. pastūma);
 G00 X50.0 M09 (greitasis atpjovimo peilio atitraukimas, TAS tiekimo nutraukimas)
 G97 S1500 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys pradeda sukėti 1500 sūk./min greičiu);
 G28 (revolverinė galvutė nukreipiama į staklių nulį);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Rupiojo fasoninio tekinimo X ašies kryptimi vidinis ciklas G72

Šis ciklas yra labai panašus į G71 ciklą, tačiau medžiaga nuimama nuo ruošinio ne išilginėmis peilio eigomis, o skersinėmis, t. y. išilgai X ašies, neigiamąja X ašies kryptimi prie centrų linijos tekinant (11.46 pav.) arba teigiamąja X ašies kryptimi nuo centrų linijos ištekinant. Antras atvejis pasitaiko kur kas rečiau, ištekinti dažniausiai naudojamas G71, o išoriniam tekinimui, kai ruošiniui apdirbti reikia ilgesnių įrankio eigių X ašies kryptimi negu Z ašies kryptimi, patogiau naudoti G72 ciklą. Ciklo parametrai parodyti 11.46 pav. Jie yra labai panašūs į ciklo G71 parametrus, išskyrus tai, kad įrankio darbinės ir atitraukimo eigos atliekamos skersai ruošinio ašies.

Lygiai taip pat kaip ir G71, priklausomai nuo valdymo sistemos ir nuo ciklo programavimo metodo, cikle G72 galimi abu įrankių trajektorijų tipai, t. y. I ir II tipai arba tik I tipas. Šių trajektorijų ypatumai apžvelgti ciklo G71 apraše. Visi pateikti dėsningumai taip pat galioja ir ciklui G72, tik ciklo G72 atveju trajektorijos taškų koordinatinių kitimas iš didėjančių į mažėjančius ir atvirkščiai leidžiamas arba neleidžiamas pagal Z ašį, o ne X , kaip cikle G71. X koordinatinių krypties keisti neleidžiama jokiū būdu, panašiai kaip Z koordinatinių krypties ciklo G71 atveju. Valdymo sistema atpažįsta (jeigu galimos II tipo trajektorijos) I ir II tipo trajektorijas panašiai kaip ir G71 atveju – priklausomai nuo to, pagal kiek ašių užprogramuotas judesys į pirmąjį profilio tašką P (11.46 pav.). Jeigu pirmoje profilio aprašymo eilutėje užprogramuotas judesys tik Z ašies kryptimi (panašiai kaip X ašies kryptimi G71 cikle), sistema visus toliau nurodytus profilio taškus laikys kaip priklausančius I tipo trajektorijai,



11.46 pav. Ciklo G72 parametrai ir įrankio judesiai

t. y. nustačius, kad Z koordinatės keičia kryptį, programa bus sustabdyta. Jeigu nurodytas judesys pagal abi ašis (pagal X nors ir nulinio ilgio), sistema traktuos visus tolesnius profilio taškus kaip priklausančius II tipo trajektorijai ir leis naudoti kintamos krypties Z koordinatės.

Panašiai kaip ir ciklas G71, ciklas G72 priklausomai nuo valdymo sistemos modelio gali būti programuojamas viena arba dviem eilutėmis. Formatas yra labai panašus. Taip „Fanuc“ firmos sistemų 10T/11T/15T ciklo G72 formatas yra toks:

G72 P... Q... I... K... U... W... D... F... S... T...;

čia visi adresai yra visiškai identiški tokiems pat ciklo G71 adresams, tik adresas D nurodo kiekvienos eigos pjovimo gylį Z ašies kryptimi. Taip pat, kaip ir G71 atveju, kai kurios sistemos gali nepripažinti adresų I ir K.

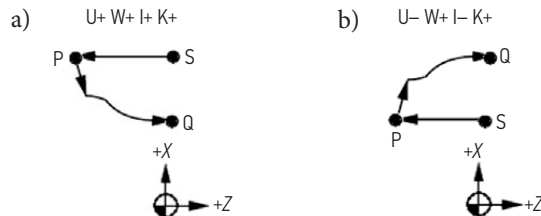
Adresų U, W, I ir K reikšmių ženklams nustatyti galima naudoti 11.47 pav.

Programuojant tekinimo stakles su „Fanuc“ firmos valdymo sistemomis 0T/16T/18T/20T/21T reikia nurodyti dvi eilutes:

G72 W... R...;

G72 P... Q... U... W... F... S... I... K... T...;

Vienintelis skirtumas, palyginti su ciklu G71 – ciklo eilutėse naudojami du adresai W vietoje dviejų adresų U cikle G71. Adresas W pirmoje eilutėje nurodo tą patį, kaip



11.47 pav. Adresų U, I, W, K ženklai, tekinant (a) ir ištekinant (b): S – ciklo pradžios taškas; P – profilio pradžios taškas; Q – profilio pabaigos taškas

ir adresas U pirmoje ciklo G71 eilutėje – kiekvienos peilio eigos pjovimo gylį (Z ašies kryptimi, o ne X, todėl naudojamas adresas W, o ne U). Antros eilutės adresai yra analogiški G71 ciklui.

Ciklas G72 yra nemodalinis, todėl jo veikimas taip pat neturi būti atšauktas. Visi teiginiai, pateikti G71 ciklui, taip pat galioja ir G72 ciklui.

Programos pavyzdys. Parašysime valdymo programą 11.48 pav. pavaizduotai detalei apdirbti. Naudosime ciklą G72, paliksime 0,25 mm užlaidą glotniajam tekimimui (U ir W), cikle G72 dar tekinsime pusiau glotniai, t. y. naudosime adresus I ir K.

000721

(programa su G72 ciklu detalei 11.48 pav. apdirbti);

T0101 (peilis Nr. 1 – išorinio tekimimo peilis nustatomas į darbo poziciją);

G50 S2500 (apribojami suklio sūkliai iki 2500 sūk./min);

S800 M03 (suklys paleidžiamas sukts į priekį 800 sūk./min greičiu);

G00 X97.0 Z3.0 (peilis pagreitintai pozicionuojamas pradinėje ciklo pozicijoje S (11.48 pav.));

G96 S150 M08 (pritaikomas 150 m/min pastovaus pjovimo greičio režimas, įjungiamas TAS siurblys);

G72 P1 Q2 D2.5 I1.0 K1.0 U0.5 W0.25 F0.15 (vidinis ciklas, kurio metu medžiaga bus šalinama skersinėmis peilio eigomis, eigos pjovimo gylis – 2,5 mm, paliekama 1 mm užlaida pusiau glotniam tekimimui X (spinduliui) ir Z ašių kryptimis ir užlaidą glotniajam tekimimui 0,5 ir 0,25 mm X (skersmeniui) ir Z ašių kryptimis atitinkamai. Ciklas atliekamas su peilio 0,15 mm/sūk. pastūma, profilio geometrija apibrėžiama tarp programos eilučių N1 ir N2);

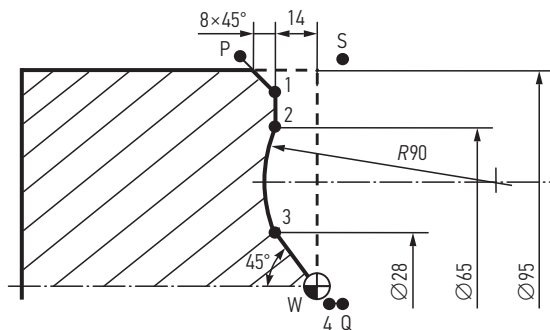
N1 G00 G41 X97.0 Z-23.0 (greitojo pozicionavimo judesys į profilio pradinį tašką P, nurodytos abi šio taško koordinatės X ir Z, todėl leidžiamas Z koordinatinių krypties keitimas (II tipo trajektorija), judant į tašką X97 Z-23 bus pritaikyta viršūnės spindulio kompensacija iš profilio kairės);

G01 X79.0 Z-14.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 1);

X65.0 (taškas 2);

G03 X28.0 R90.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys prieš laikrodžio rodyklę į tašką 3);

G01 X-1.0 Z0.5 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 4);



11.48 pav. Detalės, apdirbamos ciklu G71, išilginis pjūvis

N2 G40 Z3.0 (paskutinis profilio taškas Q, pekeliui į jį atšaukiama spindulio kompensacija);
 G97 S800 M09 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys pradeda sukstis 800 sūk./min greičiu, išjungiamas TAS siurblys);
 G00 X150.0 Z60.0 (greitasis įrankio atitraukimas į keitimo poziciją);
 T0303 (glotniojo tekinimo peilis);
 G00 X97.0 Z3.0 (peilis greitai pozicionuojamas pradinėje ciklo pozicijoje);
 G96 S300 (pritaikomas 300 m/min pastovaus pjovimo greičio režimas, įjungiamas TAS siurblys);
 ... (glotniojo tekinimo ciklas G70);
 G97 S800 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys pradeda sukstis 800 sūk./min greičiu);
 G00 X150.0 M09 (greitasis įrankio atitraukimas, išjungiamas TAS siurblys);
 G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į nulį per paskutinį tašką);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

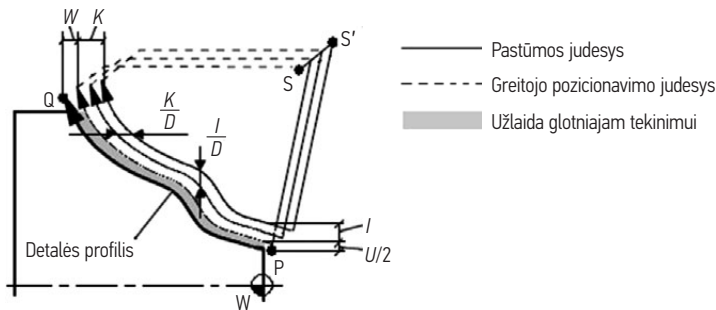
Rupiojo kopijuojamojo fasoninio tekinimo ciklas G73

Šis ciklas naudojamas ruošiniams, kurių forma artima detalės formai, pvz., kaltiniams arba liejiniams apdirbti. Vykdamas šį ciklą peilis, pjaudamas medžiagą, juda ne išilgai Z (kaip G71) arba X (kaip G72) ašies, o išilgai detalės profilio (11.49 pav.), apibrėžto eilutėse, į kurių numerius ciklas kreipiasi adresais P ir Q. Peilio viršūnė artėja prie galutinio profilio vis arčiau ir arčiau su kiekviena eiga. Tekinant detales iš cilindrinų ruošinių ir strypų toks ciklas dažniausiai netinka, nes tokiu būdu apdirbant pjovimo gylis gali labai svyruoti. Tačiau apdirbant formuotus ruošinius G73 ciklas leidžia sutaupyti ciklo laiką, kuris būtų gaištamas orui pjauti, atliekant skersines arba išilgines eigas cikluose G71 ir G72. Tai matome 11.50 pav. Jeigu tokiame ruošiniui (pažymėtas punktyru) apdirbti iki detalės (profilis pažymėtas ištisinėmis linijomis) bus naudojamas ciklas G71, atliekant išilgines eigas pastūmos greičiu nuo ciklo pradžios taško S peilis didžiąją dalį laiko nekontaktuos su ruošiniu. Tokiu atveju padidinti apdirbimo našumą gali G73 ciklas, kurio parametrai ir įrankio judesiai parodyti 11.49 pav.

Ciklo G73 formatas panašus į G71 ir G72 ciklų formatą, tačiau kai kurių adresų prasmė skiriasi. Sistemų 10T/11T/15T G73 formatas yra toks:

G73 P... Q... I... K... U... W... D... F... S... T...;

čia: P – adresas, po jo nurodomas eilutės, kurioje užprogramuotas judesys į pradinį profilio tašką P (11.49 pav.), numeris; Q – adresas, po jo nurodomas eilutės, kurioje užprogramuotas paskutinis judesys į galinį profilio tašką, numeris; I – bendras pjovimo gylis (atstumas tarp ruošinio ir detalės profilių) pagal X ašį (spinduliui); K – bendras pjovimo gylis pagal Z ašį; U – užlaida glotniajam tekinimui (paliekama, jei reikia) X ašies kryptimi (skersmeniui); W – užlaida glotniajam tekinimui (paliekama, jei reikia) Z ašies kryptimi; D – peilio eigų skaičius (teigiamas, visada sveikas skaičius); F – pastūma, mm/sūk. arba coliais/sūk., kuri naudojama tekinti; S – pjovimo greitis, m/min arba pėdomis/min, naudojamas tekinti; T – įrankio adresas, naudojamas tik tada, kai reikia pakeisti įrankio dilimo kompensacijos eilutę.



11.49 pav. Ciklo G73 parametrai ir įrankio judesiai

Cikle G73 adresai I, K ir D turi kitą prasmę negu cikluose G71/G72. Adresai I ir K turi būti nurodomi būtinai ciklo G73 eilutėje, skirtingai nuo G71/G72, kur jie gali būti ir nenurodomi, jei nereikia tekinti pusiau glotniai.

Peilis, vykdant šį ciklą, būdamas ciklo pradžios taške S (11.49 pav.), bus pagreitintai perstumtas toliau nuo detalės ašies atstumu $I+U/2$ pagal X ašį ir atstumu $K+W$ pagal Z ašį į tašką S' . Toliau jis pagreitintai arba pastūmos greičiu (tai priklauso nuo to, koks kodas – G00 arba G01 – naudojamas pirmoje profilio aprašymo eilutėje) bus perstumtas į pirmą profilio tašką P pridėjus prie jo X koordinatės adresų U (0, jeigu nenurodyta) ir I reikšmes, o prie Z koordinatės – W (0, jeigu nenurodyta) ir K reikšmes. Toliau jis atliks pirmą išlyginamąją eigą lygiagrečiai su užprogramuota tarp eilučių P ir Q trajektorija (prie visų taškų koordinatčių bus pridėdami atstumai $U/2+I$ ir $K+W$). Ši eiga reikalinga norint išvengti pjovimo gylio svyravimo atliekant tolesnes eigas, jei operatorius apsiriko ir nurodė mažesnes negu yra bendro pjovimo gylio reikšmes I ir K arba jei ruošinio profilis per daug skiriasi nuo detalės profilio. Toliau įrankis pagreitintai bus atitrauktas į tašką S' , tačiau pasislinkus arčiau ruošinio atstumu I/D pagal X ašį ir K/D pagal Z ašį. Toliau įvyks greitis arba pastūmos judesys į kitos eigos pradžios tašką, peilis vėl atliks pastūmos judesį išilgai profilio, tačiau arčiau tarp eilučių P... ir Q... užprogramuoto profilio atstumais I/D pagal X ašį ir K/D pagal Z ašį. Apėjęs profilį, įrankis atsitrauks į tašką S' , tačiau šiek tiek arčiau detalės. Po to vėl atliks eigą išilgai profilio, bet arčiau jo atstumu $2(I/D)$ pagal X ašį ir $2(K/D)$ pagal Z ašį. Tokiu būdu bus atlikta D eigų (neskaitant pirmos, išlyginimo), kol ruošinys nebus aptekintas iki užprogramuoto (P ir Q) profilio paliekant užlaidą (jeigu ciklo eilutėje nurodyti nenuliniai adresai U ir W) glotniajam tekiniui arba jos nepaliekant.

Ciklas G73 gali būti naudojamas ir ištekinti. Šiuo atveju pradinis ciklo taškas S (11.49 pav., 11.44 pav., taškas 12) turi būti arčiau detalės ašies negu profilio pradžios taškas P (11.44 pav., taškas 13). Adresai I ir K nurodo ne tik bendrą pjovimo gylį, bet ir jo kryptį, todėl gali būti teigiami ir neigiami. Tą patį galima pasakyti apie adresų U ir W reikšmes. Adresų ženklus tekinant ir ištekinant galima nustatyti pagal 11.43 pav., panašiai kaip ciklui G71.

„Fanuc“ firmos valdymo sistemoms 0T/16T/18T/20T/21T ciklas G73 programuojamas dviem eilutėmis:

G73 U... W... R...;

G73 P... Q... U... W... F... S... T...;

kur pirmoje eilutėje adresai U, W ir R yra identiškai adresams I, K ir D vienos eilutės sistemose. Adresai antroje eilutėje pagal žymėjimą ir prasmę visiškai atitinka tokius pat vienos eilutės sistemose.

Ciklas G73 yra neįtrauktas profilio taškų Z ir X koordinačių krypties kitimui.

Programos pavyzdys. Parašyti valdymo programą 11.50 pav. pavaizduotai detalei apdirbti. Ruošinio profilis pažymėtas punktyru. Paliksime užlaidą (0,6 mm pagal X ašį (skersmeniui) ir 0,3 mm pagal Z ašį) glotniajam profilio tekinimui ciklu G70, tačiau kol kas vietoje eilutės su kodu G70 paliksime daugtaškį.

000073

(programa su ciklu G73 detalei 11.50 pav. tekinti);

N1 T0101 (įrankis Nr. 1 – išorinio tekinimo peilis nustatomas į darbo poziciją);

N2 S1600 M03 (suklys paleidžiamas sukty 1600 suk./min greičiu į priekį);

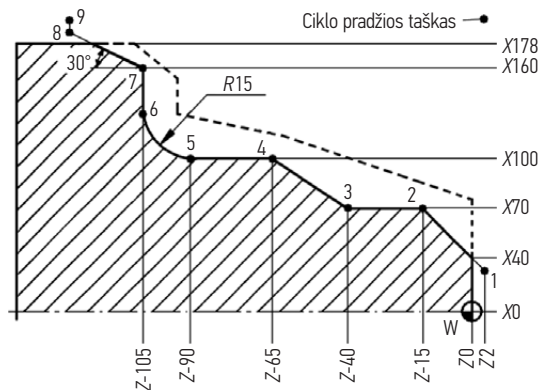
N3 G00 X184.0 Z2.0 (peilis pagreitinamas pozicionuojamas pradinėje ciklo pozicijoje);

N4 G96 S170 M08 (pritaikomas pastovaus 170 m/min pjovimo greičio režimas, įjungiamas TAS siurblys);

N5 G73 P6 Q14 I18.0 K18.0 U0.6 W0.3 D3 F0.15 (vidinis ciklas G73 bus atliktas trimis (D3), neskaitant pirmos (11.51 pav.), eigomis kiekvieną kartą artėjant prie ašies 18/3 mm pagal X ašį ir 18/3 pagal Z ašį);

N6 G42 G00 X36.0 (pagreitintas judesys į profilio pradžios tašką 1, pakeliui į jį pritaikoma spindulio kompensacija iš profilio dešinės);

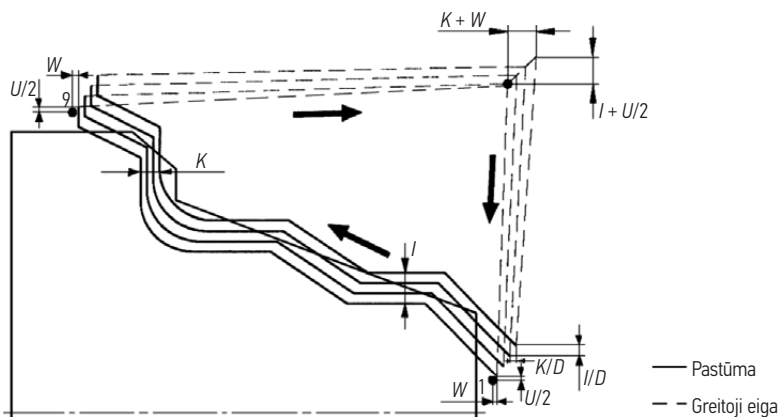
N7 G01 X70.0 Z-15.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 2);



11.50 pav. Ciklu G73 apdirbamos detalės išilginis pjūvis (punktyru parodytas ruošinio profilis)

- N8 Z-40.0 (taškas 3);
 N9 X100.0 Z-65.0 (taškas 4);
 N10 Z-90.0 (taškas 5);
 N11 G02 X130.0 Z-105.0 R15.0 (taškas 6);
 N12 G01 X160.0 (taškas 7);
 N13 X180.0 Z-122.321 (taškas 8);
 N14 G40 X183.0 (taškas 9 – spindulio kompensacijos atšaukimas);
 N15 G97 S800 M09 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys pradeda sukintis 800 sūk./min greičiu, išjungiamas TAS siurblys);
 N16 G00 Z150.0 (įrankis atitraukiamas į įrankiui keisti saugią poziciją);
 N17 T0303 (įrankis Nr. 3 – glotniojo tekinimo peilis nustatomas į darbo poziciją);
 N18 X184.0 Z2.0 (peilis pagreitinatai pozicionuojamas pradinėje ciklo pozicijoje);
 N19 G96 S320 M08 (pritaikomas pastovaus 320 m/min pjovimo greičio režimas, įjungiamas TAS siurblys);
 N20 ... (glotniojo tekinimo ciklas G70);
 N21 G97 S800 M09 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys pradeda sukintis 800 sūk./min greičiu, išjungiamas TAS siurblys);
 N22 G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į nulį per paskutinį tašką X184 Z2, į kurį grįžo įrankis atlikus ciklą G70);
 N23 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Įrankio trajektorijos, atliekant ciklo G73 eigas, parodytos 11.51 pav. Atkreipkite dėmesį, kad įrankis automatiškai pasitraukia iš pradinės ciklo pozicijos atstumais $I + U/2$ pagal X ašį ir $K + W$ pagal Z ašį, toliau artėja prie profilio pradinio taško su kiekviena įrankio eiga atstumais I/D ir K/D pagal ašis X ir Z atitinkamai. Užlaida W ir U pasiliks ant paviršiaus glotniajam tekinimui, jos dydis bus pridėtas prie visų trajektorijų taškų X ir Z koordinatų.



11.51 pav. Peilio viršūnės trajektorijos cikle G73 programoje O00073

Glotniojo fasoninio tekinimo vidinis ciklas G70

Šis ciklas naudojamas tada, kai reikia glotniai tekinti detalės paviršių, jau tekintą rupiai (arba dar ir pusiau glotniai) ciklais G71/G72/G73, t. y. nuimti likusią užlaidą, kuri palikta cikluose G71/G72/G73 adresais U ir W. Tekinama išilgai profilio, panašiai kaip taip daroma G73 cikle (11.49 pav.), tik atliekama viena įrankio eiga (11.50 pav. pavaizduotam atvejui nuo taško 1 iki 9). Tai reiškia, kad vykdant G70 įrankis iš pradinio ciklo taško pagreitinai (arba pastūmos judesiu, priklausomai nuo to, kaip nurodyta profilio aprašymo programos fragmento pirmoje eilutėje) judės iš karto į pradinį profilio tašką 1, toliau pastūmos judesiu nuosekliai į taškus 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 ir pagreitinai grįš į pradinį tašką. Ciklas G70 dažniausiai taikomas tam pačiam, jau apibrėžtam rupiojo tekinimo cikle G71/G72/G73 adresais P ir Q profiliui, todėl šių adresų reikšmės paprastai sutampa su rupiojo tekinimo ciklų atitinkamomis reikšmėmis, nors apdirbamas profilis gali ir skirtis (pavyzdžiui, jei galima tekinti ruošinį viena eiga išilgai profilio be rupiojo tekinimo ciklo), adresų sutapimo sąlyga nėra būtina.

Ciklo formatas visose „Fanuc“ firmos valdymo sistemose yra toks:

G70 P... Q... F... S... T...;

čia: P – adresas, kuris nurodo judesio į apdirbamo profilio pradžios tašką aprašančios eilutės numerį programoje; Q – adresas, kuris nurodo judesio į apdirbamo profilio galinį tašką aprašančios eilutės numerį programoje.

Adresai F ir S yra identiški adresams F ir S cikluose G71/G72/G73. Jie nurodo pastūmą, pjovimo greitį, kurių reikšmės bus naudojamos glotniajam tekinimui. Jeigu nieko nebus nurodyta, ciklas bus atliktas naudojant paskutinę programoje nurodytą pastūmos arba greičio reikšmę. Adresas T naudojamas, jeigu reikia pakeisti arba parinkti dilimo kompensacijos eilutę, jeigu ji nebuvo parinkta anksčiau (įrankis pakeistas nebus, bus naudojamas tas, kuris pasirinktas programoje prieš ciklą G70). Pastūma ir greitis glotniojo tekinimo ciklui gali būti nurodomi dvejopai – ciklo G70 eilutėje arba tarp eilučių P... ir Q... Panagrinėsime abu atvejus. Pateiksime programos O00073 papildytą fragmentą dar kartą.

...;

N5 G73 P6 Q14 I18.0 K18.0 U0.6 W0.3 D3 F0.15 (vidinis ciklas G73 bus atliktas trimis eigomis (D3), neskaitant pirmos (11.51 pav.), kiekvieną kartą artėjant prie ašies 18/3 mm pagal X ašį ir 18/3 pagal Z ašį);

N6 G42 G00 X36.0 (pagreitinatas judesys į profilio pradžios tašką 1, pakeliui į jį pritaikoma spindulio kompensacija iš profilio dešinės);

N7 G01 X70.0 Z-15.0 F0.05 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 2 su 0,05 mm/sūk. pastūma);

N8 Z-40.0 (taškas 3);

N9 X100.0 Z-65.0 (taškas 4);

N10 Z-90.0 (taškas 5);

N11 G02 X130.0 Z-105.0 R15.0 (taškas 6);

N12 G01 X160.0 (taškas 7);

N13 X180.0 Z-122.321 (taškas 8);

N14 G40 X183.0 (taškas 9 – spindulio kompensacijos atšaukimas);

N15 G97 S800 M09 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys pradeda sukty 800 sūk./min greičiu, išjungiamas TAS siurblys);

N16 G00 Z150.0 (įrankis pagreitintai atitraukiamas į įrankiui keisti saugią poziciją);

N17 T0303 (įrankis Nr. 3 – glotniojo tekinimo peilis nustatomas į darbo poziciją);

N18 X184.0 Z2.0 (peilis pagreitintai pozicionuojamas pradinėje ciklo pozicijoje);

N19 G96 S320 M08 (pritaikomas 320 m/min pastovaus pjovimo greičio režimas, įjungiamas TAS siurblys);

N20 G70 P6 Q14 (glotniojo tekinimo ciklas G70, pastūma – 0,05 mm/sūk., pjovimo greitis – 320 m/min);

N21 G97 S800 M09 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys pradeda sukty 800 sūk./min greičiu, išjungiamas TAS siurblys);

N22 G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį per paskutinį užprogramuotą įrankio tašką X184 Z2, į kurį grįžo įrankis atlikus ciklą);

N23 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Eilutėje N7 nurodyta nauja pastūmos reikšmė – 0,05 mm/sūk., ši reikšmė bus ignoruojama ciklu G73 (panašiai ir G71/G72), tačiau ciklas G70 bus vykdomas su šia pastūma, nors ir G73, ir G70 ciklai skirti tam pačiam profiliui (N6–N14). Ciklas G73 bus atliktas su 0,15 mm/sūk. pastūma, kuri nurodyta N5 eilutėje (arba bus imama paskutinė prieš ciklą G73 užprogramuota pastūma, jei jokia pastūmos reikšmė nenurodyta eilutėje N5), o ciklas G70 – su 0,05 mm/sūk. Jeigu ciklo G70 eilutėje būtų nurodyta kita pastūma, o profilio apibrėžimo programos eilutės liktų be pakeitimų, pvz., tos pačios programos O00073 eilutė N20 atrodytų taip:

N20 G70 P6 Q14 F0.08;

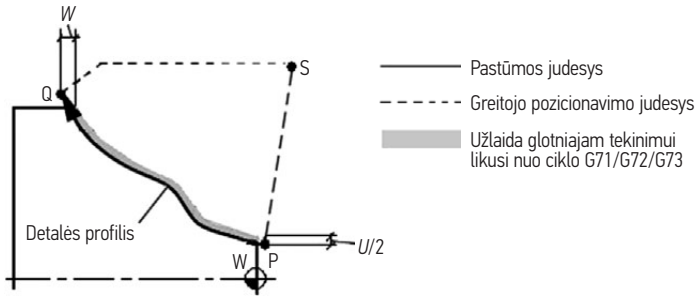
galima teigti, kad 0,08 mm/sūk. pastūma nurodyta šioje eilutėje veltui. Ji nebus naudojama cikle G70, o bus naudojama 0,05 mm/sūk. pastūma, nurodyta profilio apibrėžimo eilutėse N6–N14. Pastūma 0,08 mm/sūk. G70 cikle būtų naudojama tik tada, kai eilutėse N6–N14 nebūtų jokios pastūmos. Tas pats įvyktų, jeigu 0,08 mm/sūk. pastūma būtų nurodyta kur nors prieš eilutę N20, pavyzdžiui, eilutėje N18:

N18 X184.0 Z2.0 F0.08;

o eilutėse N6–N14 nebūtų nurodyta jokia.

Saugumo sumetimais ciklo G70 pradžios taškas S (11.52 pav.) dažniausiai (nors ir ne visada) pasirenkamas toks pat, kaip ir rupiojo tekinimo ciklą G71/G72/G73.

Ciklas G70 gali būti atliktas tuo pačiu įrankiu (sumažinus tik pastūmą ir padidinus pjovimo greitį) kaip ir rupiojo tekinimo ciklas G71/G72/G73, tačiau dažniausiai prieš šį ciklą rupiojo tekinimo peilis keičiamas glotniojo tekinimo peiliu, kaip taip buvo daroma programose O00711, O00721 ir O00073.



11.52 pav. Ciklo G70 parametrai ir įrankio judesiai

Ciklas G70 (kaip ir G71, G72 ir G73) automatiškai nepritaiko spindulio kompensacijos. Tai turi būti padaryta anksčiau, judesio į pradinį ciklo tašką S (11.52 pav.) metu arba pirmoje profilio aprašymo eilutėje, kurioje užprogramuotas judesys į profilio pradžios tašką P. Įvertinant tai, kad profilio pradžios ir pabaigos taškai, esant ciklams G71, G72, G73 ir G70, dažnai sutampa, pritaikyti kompensaciją patogiau pirmoje profilio aprašymo eilutėje, o atšaukti – paskutinėje. Tokiu atveju, kai ciklas G71 (arba G72 ir G73) ir ciklas G70 kreipiasi į tas pačias eilutes, nereikės du kartus taikyti kompensacijos kodu G42 arba G41 prieš kiekvieną ciklą. Taip buvo daroma mūsų nagrinėjamame programos O00073 fragmente, pateiktame pirmiau. Priešingu atveju reikėtų pritaikyti kompensaciją prieš G70, judesio į ciklo G70 pradžios tašką metu. Programos O00073 fragmentas atrodytų taip:

...;

N3 G42 G00 X184.0 Z2.0 (peilis pagreitintai pozicionuojamas pradinėje ciklo pozicijoje, pakeliui pritaikoma spindulio kompensacija profilio dešinėje);

N4 G96 S170 M08 (pritaikomas 170 m/min pastovaus pjovimo greičio režimas, įjungiamas TAS siurblys);

N5 G73 P6 Q14 I18.0 K18.0 U0.6 W0.3 D3 F0.15 (vidinis ciklas G73 bus atliktas trimis eigomis (D3), neskaitant pirmos (11.51 pav.) kiekvieną kartą artėjant prie galutinio profilio 18/3 mm pagal X ašį ir 18/3 pagal Z ašį);

N6 G00 X36.0 (greitojo pozicionavimo judesys į profilio pradžios tašką 1);

N7 G01 X70.0 Z-15.0 F0.05 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką 2);

N8 Z-40.0 (taškas 3);

N9 X100.0 Z-65.0 (taškas 4);

N10 Z-90.0 (taškas 5);

N11 G02 X130.0 Z-105.0 R15.0 (taškas 6);

N12 G01 X160.0 (taškas 7);

N13 X180.0 Z-122.321 (taškas 8);

N14 G40 X183.0 (taškas 9 – spindulio kompensacijos atšaukimas);

N15 G97 S800 M09 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys pradeda sukintis 800 sūk./min greičiu, išjungiamas TAS siurblys);

N16 G00 Z150.0 (įrankis pagreitintai atitraukiamas į įrankiui keisti saugią poziciją);

N17 T0303 (įrankis Nr. 3 – glotniojo tekinimo peilis nustatomas į darbo poziciją);
 N18 G42 X184.0 Z2.0 (peilis pagreitintai pozicionuojamas pradinėje ciklo pozicijoje, pakeliui pritaikoma spindulio kompensacija profilio dešinėje);
 N19 G96 S320 M08 (pritaikomas 320 m/min pastovaus pjovimo greičio režimas, įjungiamas TAS siurblys);
 N20 G70 P6 Q14 (glotniojo tekinimo ciklas G70, pastūma – 0,05 mm/sūk., pjovimo greitis – 320 m/min);
 N21 G97 S800 M09 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys pradeda sukty 800 sūk./min greičiu, išjungiamas TAS siurblys);
 N22 G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį iš paskutinės įrankio pozicijos X184 Z2, į kurią jis grįžo atlikus ciklą);
 N23 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Programų pavyzdžiai. Užbaigsime programas O00711 ir O00721 (programoje O00712 nepalikome užlaidos glotniajam tekinimui, todėl joje ciklą G70 naudoti nėra jokios prasmės). Tam įrašysime G70 ciklų eilutes vietoje daugtaškių:

O00711

(Programa išoriniam ir vidiniam profiliams (11.44 pav.) tekinti su G71 ciklu);

...;

...;

T0303 (pasirenkamas įrankis Nr. 3 – glotniojo tekinimo peilis);

G00 X84.0 Z2.0 (peilis pagreitintai pozicionuojamas pradinėje ciklo pozicijoje);

G96 S300 M08 (pritaikomas 300 m/min pastovaus pjovimo greičio režimas, įjungiamas TAS siurblys);

G70 P1 Q2 F0.07 (glotniojo tekinimo ciklas G70 su 0,07 mm/sūk. pastūma, pjovimo greitis – 300 m/min, profilis apašytas tarp programos eilučių N1–N2)

G97 S800 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys pradeda sukty 800 sūk./min greičiu);

...;

...;

...;

N12 G40 X15.0 (taškas 21, atšaukiant spindulio kompensaciją);

G70 P3 Q12 F0.05 S250 (glotniojo ištekinimo ciklas G70 bus atliktas tuo pačiu įrankiu T02, tačiau su mažesne 0,05 mm/sūk. pastūma ir didesniu pjovimo greičiu (250 m/min). Ciklas prasidės ir baigsis tame pačiame taške kaip ir G71 – X14 Z2, kuriame peilis atsiduria po ciklo G71);

G00 X180.0 M09 (pagreitintas įrankio atitraukimas pagal X ašį, išjungiamas TAS siurblys);

G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė nukreipiama į staklių nulį);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

O00721

(programa su G72 ciklu detalei 11.48 pav. apdirbti);

...;

...;

G00 X150.0 Z60.0 (greitasis įrankio atitraukimas į keitimo poziciją);
 T0303 (glotniojo tekinimo peilis nustatomas į darbo poziciją);
 G00 X97.0 Z3.0 (peilio viršūnė pagreitinai pozicionuojama pradinėje ciklo pozicijoje);
 G96 S300 (pritaikomas 300 m/min pastovaus pjovimo greičio režimas, įjungiamas TAS siurblys);
 G70 P1 Q2 F0.06 (glotniojo tekinimo ciklas G70, atliekamas su 0,06 mm/sūk. pastūma, greitis – 300 m/min, profilis aprašytas tarp eilučių N1–N2);
 G97 S800 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys pradeda sukstis 800 sūk./min greičiu);
 G00 X150.0 M09 (pagreitintas įrankio atitraukimas į keitimo poziciją, išjungiamas TAS siurblys);
 G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė nukreipiama į staklių nulį);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Pertraukiamo įrankio judesio Z ašies kryptimi ciklas G74

Šis ciklas panašus į frezavimo staklių ciklą G83 arba G73 (gręžimo ir kapojimo ciklas), tačiau tekinimo staklėse jis negali būti taip pavadintas, nes, be gręžimo, jis gali būti naudojamas dar ir kitiems darbams. Pavyzdžiui, giliems grioveliams galiniame ruošinio paviršiuje tekinti griovelių peiliais, taip pat pertraukiamam tekinimui arba ištekinimui (pertraukti pjovimo procesą gali prireikti papildomai įrankiui aušinti pjaunant sunkiai apdirbamą medžiagą, drožlei laužyti ir pan.). Vykdamas šį ciklą bus atliktas įrankio (grąžto, griovelių peilio, tekinimo/ištekinimo peilio) pertraukiamas judesys (-iai) išilgai Z ašies (detalės ašies), kaip parodyta 11.53 pav. „Fanuc“ firmos valdymo sistemose 10T/11T/15T šio ciklo formatais yra toks:

G74 X... (U...) Z... (W...) I... K... D... F... S...;

čia: X – paskutinio griovelio krašto (arba skylės centro) padėtis X ašies atžvilgiu (11.53 pav.); U – tas pats, tik programuojant prieaugiais (nurodomas atstumas nuo pradinio ciklo taško S iki griovelio krašto (11.53 pav.)); Z – skylės (griovelio) dugno pozicija Z ašies kryptimi, absoliučiosiomis koordinatėmis; W – tas pats, tik programuojant prieaugiais (nurodomas atstumas nuo pradinio ciklo taško iki griovelio dugno); I – atstumas tarp griovelių (arba skylių centrų) pagal X ašį (be ženklų, nurodomas spinduliui), jeigu reikia ištekinti ne vieną griovelį (išgręžti ne vieną skylę); K – eigos išilgai Z ašies dydis (be ženklų); D – radialinis tarpelis tarp įrankio ir apdirbto paviršiaus, kai įrankis grįžta į pradinę padėtį atlikus eigą (eigas) Z ašies kryptimi (be ženklų, išreikšiamas skersmeniui); F – pastūma Z ašies kryptimi, kuria bus atliktas ciklas, mm/sūk. arba colių/sūk.; S – pjovimo greitis, kuriuo bus atliktas ciklas, m/min arba pėdos/min.

„Fanuc“ firmos 01T/16T/18T/20T/21T valdymo sistemose ciklas programuojamas dviem eilutėmis:

G74 R...;

G74 X... (U...) Z... (W...) P... Q... R... F... S...;

čia pirmoje eilutėje: R – atitraukimo po kiekvienos eigos pagal Z ašį tarpelis (be ženklų), sistemose, kurioms G74 programuojamas viena eilute jo dydis nurodomas sis-

prieaugiais (U)). Jeigu tarp priešpaskutinio ir galinio taškų netilps užprogramuotas adresu I žingsnis, jis bus sumažintas, užprogramuota galinė X (U) koordinatė nebus peržengta. Tas pats galioja ir adresui K. Jeigu iki užprogramuoto Z (W) adresu skylės arba griovelio dugno netilps sveikas eigu dydžio K skaičius, paskutinė eiga bus sumažinta, koordinatė Z (W) turi prioritetą. Jeigu G74 eilutėje nurodyta koordinatė X (U) skiriasi nuo pradinės įrankio pozicijos X koordinatės, o adresas I nenurodytas, ciklas bus atliktas du kartus – pirmą kartą pradinėje pozicijoje, kitą kartą – nurodytoje X (U) adresu.

Operuojant adresais I (P) ir X (U) ir jų reikšmėmis ciklu G74 galima tekinti griovelius, išdėstytus tam tikru žingsniu galiniame detalių paviršiuje, galima tekinti platesnius už peilio pjovimo briaunos ilgį griovelius, kai grioveliui tekinti nepakanka atlikti vienos peilio eigos. Galima gręžti skylės, kurių ašys išdėstytos tam tikru atstumu X ašies kryptimi viena nuo kitos (staklėmis su įrankių pavara). Ciklą galima taip pat naudoti rupiajam daugiapakopiam tekinimui Z ašies kryptimi, panašiai kaip G90, kai reikia pertraukti eigas Z ašies kryptimi (pvz., ištisinėms drožlėms laužyti).

Jeigu ciklo eilutėje nenurodyti adresai X (U) ir I (P), ciklas atliekamas išilgai Z ašies, pradinėje pozicijoje. Tokiu būdu ciklas G74 virsta gręžimo ir kapojimo ciklu ir gali būti naudojamas pavienėms skylėms, kurių ašys sutampa su detalės ašimi arba yra lygiagrečios (tik staklėmis su įrankių pavara) su detalės ašimi, gręžti. Taip pat tinka pavieniams grioveliams, kurie gali būti ištekinti vien tik išilginiu judesiu (pertraukiamu arba ne) Z ašies kryptimi (kai peilio pjovimo briaunos ilgis lygus griovelio ilgiui) galiniame detalės paviršiuje. Ciklas G74 gali būti naudojamas ir išoriniam tekinimui išilgai Z ašies, jeigu nenurodytas adresas K arba jo reikšmė yra didesnė už tekinto paviršiaus ilgį. Nenurodžius adreso K, įrankio judesys išilgai Z ašies bus atliktas be pertraukimų.

Ciklas G74 yra nemodalinis (grupė 00), todėl atšaukti jo veikimo nereikia. Atlikus ciklą įrankis lieka pradinėje pozicijoje tik pagal Z ašį, pagal X ašį jis liks paskutinės atliktos eigos pozicijoje.

Programų pavyzdžiai

1-asis pavyzdys. Reikia parengti programą 60 mm ilgio skylėi detalėje (11.54 pav.) gręžti naudojant ciklą G74. Programa atrodo taip:

000741

(gręžimas ir kapojimas tekinimo staklėmis ciklu G74);

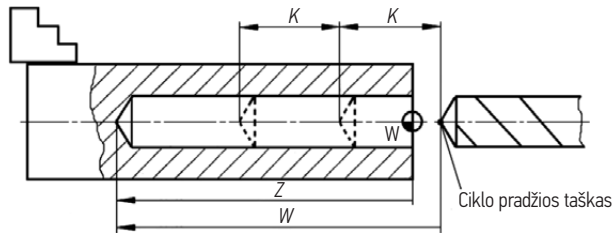
N1 G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė gražinama į staklių nulį);

N2 T0303 (parenkamas įrankis lizde Nr. 3 – 12 mm skersmens spiralinis grąžtas);

N3 G97 S1200 M03 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys paleidžiamas suktis į priekį 1200 sūk./min greičiu);

N4 G00 Z2.0 (įrankis greitai pozicionuojamas pagal Z ašį);

N5 X0.0 M08 (įrankis greitai pozicionuojamas pradiniam ciklo taške X0 Z2 pagal X ašį, įjungiamas TAS siurblys);



11.54 pav. Pagal programą O00741 apdirbama detalė ir įrankis pradinėje ciklo G74 pozicijoje

N6 G74 Z-60.0 K16.0 F0.15 (ciklas 60 mm gylio skylei gręžti 16 mm ilgio eigomis išilgai Z ašies nuo taško Z2, pastūma – 0,15 mm/sūk.);

N7 G00 X100.0 Z50.0 M09 (įrankio pagreitintas atitraukimas saugiu atstumu nuo paviršiaus, nutraukiamas TAS tiekimas);

N8 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

2-asis pavyzdys. Reikia ištekinti 20 mm gylio ir 4 mm pločio griovelį galiniame detalės paviršiuje (11.55 pav.). Programoje naudosime ciklą G74. Apdirbti naudosime galinių griovelinių peilį (ašinė orientacija revolverinėje galvutėje), kurio pjovimo briaunos ilgis – 4 mm, t. y. lygus griovelio pločiui. Todėl grioveliui tekinti pakanka atlikti tik vieną eigą Z ašies kryptimi. Užprogramuosime pertraukiamą eigą išilgai Z ašies, t. y. naudosime nenulinį adresą K.

O00742

(pertraukiamas galinio griovelio tekinimas tekinimo staklėmis naudojant G74 ciklą);

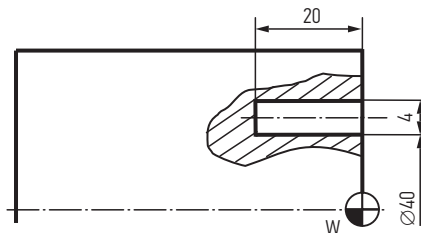
G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį per paskutinį įrankio tašką);

T0101 (parenkamas įrankis Nr. 1 – galvute išilgai Z ašies nustatytas griovelinių peilis, pjovimo briaunos ilgis – 4 mm);

G97 S950 M03 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, jei aktyvuotas anksčiau, suklys paleidžiamas suktytis į priekį 950 sūk./min greičiu);

G00 Z3.0 (įrankis greitai pozicionuojamas pradinėje ciklo pozicijoje Z ašies kryptimi);

X40.0 M08 (įrankis greitai pozicionuojamas pradinėje ciklo pozicijoje X40 Z3 pagal X ašį, įjungiamas TAS siurblys);



11.55 pav. Pagal programą O00742 apdirbama detalė

G74 Z-20.0 K8.0 F0.2 (ciklas grioveliui tekinti 8 mm ilgio eigomis išilgai Z ašies, bus atliktos 3 eigos 23 mm atstumui įveikti (20 mm griovelio gylis + 3 mm atsarga iki pradinio ciklo taško));
 G00 X100.0 M09 (įrankio atitraukimas į saugią poziciją pagal X ašį, nutraukiamas TAS tiekimas);
 G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė gražinama į staklių nulį per paskutinį įrankio tašką);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

3-iasis pavyzdys. Reikia ištekinti 6 mm pločio griovelį (11.56 pav.) galiniame detalės paviršiuje naudojant tą patį peilį, kaip ir 2-ame pavyzdyje. Šiuo atveju viena eiga Z ašies kryptimi griovelis negali būti ištekintas, nes peilio pjovimo briaunos ilgis sudaro tik 4 mm, ciklas turi būti atliktas du kartus, peiliui esant skirtingose X pozicijose. Pozicijos turi būti parinktos taip, kad peilio eigos persidengtų reikiamoje vietoje pagal griovelio plotį ir arba pjovimo briaunos ilgį.

O00743

(platesnio už peilio pjovimo briaunos ilgį griovelio pertraukiamas tekinimas tekinimo staklėmis naudojant G74 ciklą);

G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė gražinama į staklių nulį per paskutinį įrankio tašką);

T0101 (parenkamas įrankis Nr. 1 – galvutė išilgai Z ašies nustatytas griovelių peilis, pjovimo briaunos ilgis – 4 mm);

G97 S950 M03 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, jei buvo aktyvuotas anksčiau, suklys paleidžiamas suktis į priekį 950 suk./min greičiu);

G00 Z3.0 (įrankis pagreitintai pozicionuojamas pradinėje ciklo pozicijoje Z ašies kryptimi);

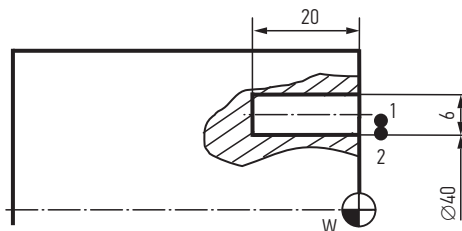
X44.0 M08 (įrankis pagreitintai pozicionuojamas į pradinėje ciklo pozicijoje X44 Z3 (taškas 1, 11.56 pav.) pagal X ašį, įjungiamas TAS siurblys. Pozicija parinkta taip, kad pirmiausia būtų ištekintas 4 mm pločio griovelis taške X44. Įvertinant pjovimo briaunos ilgį 4 mm, bus gauta viršutinė griovelio dalis X44–X52 (11.56 pav.);

G74 Z-20.0 X40.0 K8.0 F0.2 (ciklas grioveliui tekinti 8 mm ilgio eigomis išilgai Z ašies. Bus atliktos 3 eigos norint įveikti 23 mm atstumą (20 mm griovelio gylis + 3 mm atsarga iki pradinio ciklo taško). Ciklas bus taip pat pakartotas taške X40 (2, 11.56 pav.), nes nurodyta X koordinatė, kuri skiriasi nuo pradinės ciklo pozicijos X44. Tokiu būdu bus ištekinta apatinė griovelio dalis X40–X44);

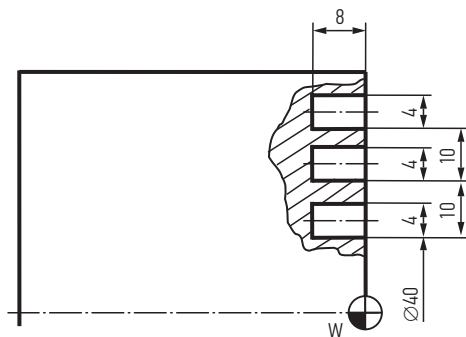
G00 X100.0 M09 (įrankio pagreitintas atitraukimas į saugią poziciją pagal X ašį, nutraukiamas TAS tiekimas);

G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė gražinama į staklių nulį per paskutinį įrankio tašką);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);



11.56 pav. Pagal programą O00743 apdirbama detalė



11.57 pav. Pagal programą O00744 apdirbama detalė

4-asis pavyzdys. Reikia ištekinti tris 8 mm gylio griovelius galiniame detalės paviršiuje (11.57 pav.). Griovelių žingsnis – 10 mm, griovelio plotis – 4 mm. Apdirbti naudosime tą patį 4 mm pjovimo briaunos ilgio peilį, kaip ir 2-ame ir 3-iaame pavyzdžiuose. Griovelį galima ištekinti viena įrankio eiga išilgai Z ašies, tačiau reikia ištekinti tris griovelius, išdėstytus vienodu žingsniu vienas nuo kito pagal X ašį, todėl ciklo G74 eilutėje naudosime adresą I.

O00744

(trijų griovelių tekinimas naudojant ciklą G74);

N1 G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį per paskutinį įrankio tašką);

N2 T0101 (parenkamas įrankis Nr. 1 – galvute išilgai Z ašies nustatytas griovelių peilis, kurio pjovimo briaunos ilgis – 4 mm);

N3 G97 S1200 M03 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys paleidžiamas suktis į priekį 1200 sūk./min greičiu);

N4 G00 X80.0 Z2.0 M08 (įrankis pagreitintai pozicionuojamas pradinėje ciklo pozicijoje, įjungiamas TAS siurblys);

N5 G74 X40.0 Z-8.0 I10.0 F0.15 (ciklas grioveliams tekinti išilgai Z ašies, žingsnis – 10 mm, pastūma – 0,15 mm/sūk., ciklas kartojamas tol, kol bus pasiekta 40 mm X koordinatė);

N6 M09 (nutraukiamas TAS tiekimas);

N7 G00 X120.0 Z50.0 (peilis pagreitintai atitraukiamas nuo detalės paviršiaus);

N8 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

5-asis pavyzdys. Reikia ištekinti 8 mm gylio ir 24 mm pločio griovelį galiniame detalės paviršiuje nuo X40 iki X88 (11.57 pav.) turint 4 mm pjovimo briaunos ilgio peilį. Tokiu atveju peilio eigos turi būti perdengiamos X ašies kryptimi, kaip 3-iaame pavyzdyje. Apdirbti nepakaks dviejų eigų, todėl nepakaks nurodyti tik pradinio ir galinio taškų X koordinatė, turime naudoti adresą I. Jo reikšmė turi būti parinkta taip, kad būtų užtikrintas kuo mažesnis peilio eigų persidengimas per pjovimo briaunos ilgį. Akivaizdu, kad žingsnis neturi viršyti pjovimo briaunos ilgio – 4 mm, kitaip bus tekinami grioveliai, atskirti metalo sienelėmis, o ne vienas platus griovelis. Panaudo-

sime tą pačią programą O00744, tačiau jos eilutė N5 dabar atrodys taip:

N5 G74 X40.0 Z-8.0 I3.5 F0.15 (ciklas grioveliams tekinti išilgai Z ašies, žingsnis – 3,5 mm, pastūma – 0,15 mm/sūk., ciklas kartojamas tol, kol bus pasiekta 40 mm X koordinatė);

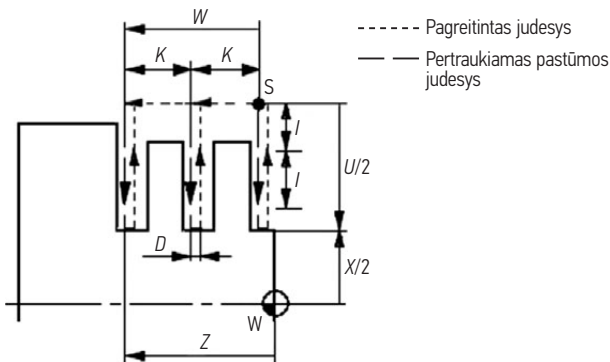
Pertraukiamo įrankio judesio X ašies kryptimi ciklas G75

Šis ciklas panašus į G74 ciklą, tik pertraukiami įrankio judesiai atliekami išilgai X ašies, o ne Z. Taikant šį ciklą galima tekinti griovelį (griovelius) išoriniame ir vidiniame detalės sukimosi paviršiuje, galima gręžti radialine kryptimi išdėstytas skylės staklėmis su įrankių pavara. Ciklą galima naudoti ir galui tekinti su pertraukiamu arba ne judesiu išilgai X ašies.

Ciklas G75, kaip ir ciklas G74, priklausomai nuo valdymo sistemos, gali būti programuojamas viena arba dviem eilutėmis. „Fanuc“ firmos sistemose 10T/11T/15T ciklo formatas yra toks:

G75 X... (U...) Z... (W...) I... K... D... F... S...;

čia: X – vidinis griovelio (-ių) skersmuo; U – tas pat, tik programuojant prieaugiais (atstumas nuo pradinio ciklo taško iki griovelio dugno pagal X ašį (11.58 pav.)); Z – paskutinės įrankio eigos X ašies kryptimi (paskutinio griovelio krašto) Z koordinatė, naudojama tik tada, kai reikia ištekinti ne vieną griovelį, o kelis, išdėstytus tam tikru žingsniu (11.58 pav.); W – tas pat, tik programuojant prieaugiais (atstumas nuo pradinio ciklo taško iki paskutinio griovelio krašto pagal Z ašį), naudojamas tik tada, kai reikia ištekinti ne vieną griovelį, o kelis, išdėstytus tam tikru žingsniu; I – įrankio eigos dydis išilgai X ašies (be ženklo, programuojamas spinduliui); K – griovelių žingsnis (be ženklo, 11.58 pav.), naudojamas tik tada, kai tekinami keli grioveliai; D – įrankio atitraukimo dydis pagal Z ašį (be ženklo); šis adresas neturi būti naudojamas arba jo reikšmė turi būti lygi nuliui, kai tekinami grioveliai, atskirti medžiagos sluoksniu vienas nuo kito arba gręžiamos radialinės skylės, priešingu atveju įrankis bus sulaužytas; F – pastūma, kuri suteikiama įrankiui X ašies kryptimi, mm/sūk. arba



11.58 pav. Ciklo G75 parametrai ir įrankio judesiai

coliai/sūk.; S – ciklui naudojamas pjovimo greitis, m/min arba pėdos/min (dažniausiai programuojamas pjovimo greitis, o ne sūkiai, nes prieš šį ciklą, kurį vykdančią kintančią įrankio atraminio taško X koordinatės, aktyvuojamas pastovaus pjovimo greičio režimas G96).

Jeigu Z arba W adresai naudojami ciklo eilutėje ir jų reikšmės nesutampa su pradine ciklo Z pozicija (šioje pozicijoje S (11.58 pav.) įrankis turi būti pozicionuotas prieš eilutę su G75), o adresas K nenurodytas, vykstant ciklui bus ištekinti mažiausiai du grioveliai – vienas pradinėje pozicijoje, kitas – nurodytoje Z (W) adresu. Jeigu nurodytas adresas Z (W) (su reikšme, skirtinga nei pradinė įrankio pozicija) ir adresas K , Z koordinatė skirtumas tarp pradinės įrankio pozicijos ir nurodytos Z (W) adresu bus suskaidytas į lygias dalis, kurių ilgis nurodytas K adresu. Šiuose taškuose bus atliktos įrankio skersinės eigos (11.58 pav.), paskutinė eiga bus atlikta pozicijoje, nurodytoje eilutėje Z (W) adresu. Jeigu lygiai suskaidyti atstumo nepavyks, nurodyta adresu Z (W) koordinatė jokiū būdu nebus viršyta, tai reiškia, kad paskutinio griovelio žingsnis K nebus išlaikytas ir jis bus mažesnis. Jeigu adresai Z (W) ir K nenurodomi, įrankio eiga bus atlikta iš pradinės Z pozicijos išilgai X ašies, bus ištekintas tik vienas griovelis (išgręžta viena skylė).

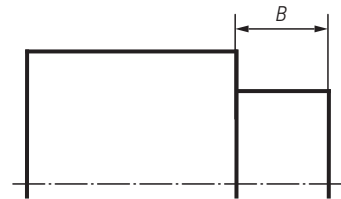
Adresas I gali būti nurodomas (nenulinis) arba ne. Pirmuoju atveju bus atlikti pertraukiami judesiai (įrankiui atsitraukiant tarpelio dydžiu, kuris nurodomas sistemos nustatymais) X ašies kryptimi atstumais I tol, kol įrankis pasieks nurodytą adresu X (U) koordinatę. Antruoju atveju bus atlikta viena pastūmos eiga iki taško, kurio X koordinatė nurodyta ciklo eilutėje. Bet kuriuo atveju X koordinatė turi prioritetą prieš adresą I , todėl jeigu atstumo tarp pradinio ciklo taško S ir galinio, apibrėžto X (U) koordinate, nepavyks suskaidyti į lygias atkarpas I , nurodyta X koordinatė nebus viršyta. Tiesiog paskutinė eiga bus trumpesnė už nurodytą adresu I .

Adresas D gali būti naudingas, kai ciklas G75 naudojamas galui arba platiems, atviriems iš ruošinio galo grioveliams (laipteliams, 11.59 pav.) tekinti. Tokiu atveju peilis, po darbinės eigos X ašies kryptimi atitraukiamas atgal Z ašies kryptimi atstumu D (11.58 pav.), atlieka jau apdirbtą paviršiaus išvaikščiojimą. Kai tekinami keli grioveliai, išdėstyti tam tikru žingsniu vienas nuo kito (taip, kaip parodyta 11.58 pav.), adresas D jokiū būdu neturi būti naudojamas. Adresas D naudojamas tik tuo atveju, jeigu užprogramuoti keli judesiai X ašies kryptimi, mažiausiai du, t. y. eilutėje G75 turi būti nurodytas adresas Z (W), po kurio esanti koordinatė skiriasi nuo ciklo pradžios taško S Z koordinatės.

„Fanuc“ firmos 01T/16T/18T/20T/21T valdymo sistemose ciklas programuojamas dviem eilutėmis:

G75 R...;

G75 X... (U...) Z... (W...) P... Q... R... F... S...;



11.59 pav. Detalė, kurios kairinis laiptelis gautas ciklu G75

čia pirmoje eilutėje adresu R nurodomas atitraukimo po kiekvienos eigos pagal X ašį tarpelis (be ženklų), jo dydis sistemose, kuriose G75 programuojamas viena eilutė, nurodomas sistemos nustatymais; antroje eilutėje adresai X (U), Z (W), E, S pagal pavadinimus ir prasmę sutampa su tokiais pat adresais vienos eilutės sistemoje; adresai P, Q ir R pagal prasmę atitinka adresus I, K ir D vienos eilutės sistemoje.

Ciklas G75, kaip ir G74, yra nemodalinis (grupė 00), todėl atšaukti jo veikimo nereikia. Atlikus ciklą įrankis lieka pradinėje pozicijoje tik pagal X ašį, pagal ašį Z jis liks paskutinės atliktos eigos pozicijoje.

Ciklas G75 gali būti naudojamas ir vidiniams grioveliams tekinti, tačiau tokiu atveju ciklo pradžios taško X koordinatė turi būti mažesnė negu griovelio dugno X koordinatė, nurodoma G75 eilutėje.

Programų pavyzdžiai

1-asis pavyzdys. Reikia parašyti programą 3 mm pločio grioveliui išoriniame detalės (11.60 pav.) paviršiuje tekinti naudojant ciklą G75. Griovelį tekinsime peiliu, kurio pjovimo briaunos ilgis lygus griovelio pločiui, todėl pakaks atlikti tik vieną eigą X ašies kryptimi. Programą pateiksime taip:

000751

(griovelio (11.60 pav.) tekinimas ciklu G75);

N1 G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

N2 T0101 (pasirenkamas įrankis Nr. 1 – radialiaja kryptimi nustatytas 3 mm pjovimo briaunos ilgio griovelių peilis);

N3 G97 S1200 M03 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys paleidžiamas suktis į priekį 1200 sūk./min greičiu);

N4 G00 X33.0 Z-15.0 M08 (greitasis peilio pozicionavimas pradinėje ciklo pozicijoje virš griovelio, paliekamas 1,5 mm saugumo tarpelis tarp detalės paviršiaus ir peilio, pradedama tiekti TAS į pjovimo zoną);

N5 G96 S200 (įjungiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, palaikomas 200 m/min pjovimo greitis);

N6 G75 X18.0 I3.0 F0.15 (ciklas grioveliui tekinti, ciklas atliekamas pradinėje Z pozicijoje Z–15 3 mm ilgio peilio eigomis išilgai X ašies su 0,15 mm/sūk. pastūma);

N7 G00 X50.0 M09 (greitasis įrankio atitraukimas pagal X ašį, nutraukiamas TAS tiekimas);

N8 G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį iš paskutinio taško);

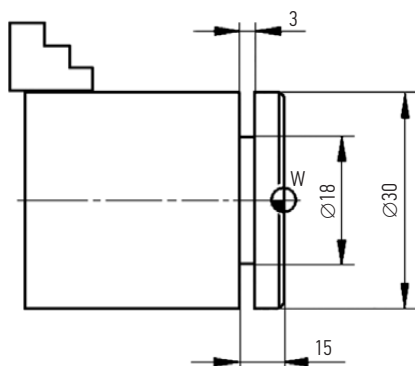
N9 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

2-asis pavyzdys. Reikia parašyti programą trims 4 mm pločio grioveliams detalės (11.61 pav.) išoriniame paviršiuje tekinti naudojant ciklą G75. Apdirbimui nauduosime 4 mm pjovimo briaunos ilgio peilį.

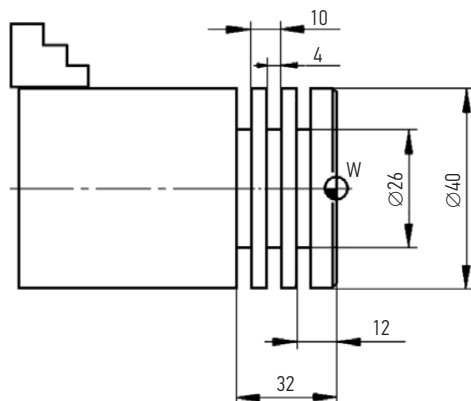
000752

(griovelių tekinimas ciklu G75);

N1 G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);



11.60 pav. Detalė, kurios griovelis apdirbamas G75 ciklu pagal programą O00751



11.61 pav. Detalė, kurios grioveliai apdirbami G75 ciklu pagal programą O00752

N2 T0303 (pasirenkamas įrankis Nr. 3 – radialiaja kryptimi nustatytas 4 mm pjovimo briaunos ilgio griovelių peilis);

N3 G97 S1200 M03 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys paleidžiamas suktis į priekį 1200 suk./min greičiu);

N4 G00 X42.0 Z-12.0 (greitasis peilio pozicionavimas pradinėje pozicijoje virš pirmojo griovelio krašto paliekant 1 mm saugumo tarpelį tarp įrankio ir detalės paviršiaus);

N5 G96 S150 M08 (įjungiamas 150 m/min pastovaus pjovimo greičio režimas, pradeda tiekti TAS į pjovimo zoną);

N6 G75 X26.0 Z-32.0 I4.0 K10.0 F0.15 (ciklas grioveliams tekinti, ciklas atliekamas pradinėje Z pozicijoje Z-12 4 mm ilgio peilio eigomis išilgai X ašies su 0,15 mm/sūk. pastūma, toliau kartojamas du kartus su žingsniu 10 mm, t. y. atliekamas pozicijose Z-22 ir Z-32);

N7 G00 X80.0 M09 (greitasis įrankio atitraukimas pagal X ašį, nutraukiamas TAS tiekimas);

N8 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

3-iasis pavyzdys. Reikia paruošti programą detalei, panašiai į pavaizduotą 11.61 pav., apdirbti, tačiau reikia ištekinti vieną platų (platesnį už peilio pjovimo briaunos ilgį) griovelį, pvz., 24 mm pločio (11.62 pav.), kai turime 4 mm pjovimo briaunos ilgio peilį. Tegul visi kiti griovelio parametrai lieka tie patys, kaip ir 2-ame pavyzdyje. Programa atrodys taip:

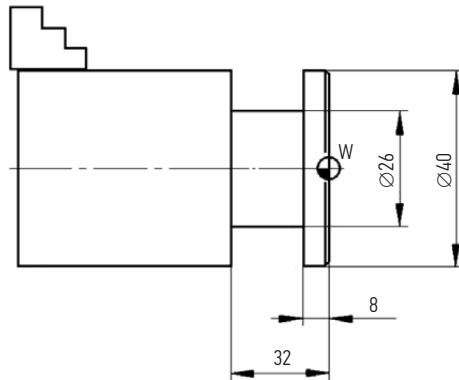
O00753

(plataus griovelio (11.62 pav.) tekimas ciklu G75);

N1 G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

N2 T0303 (pasirenkamas įrankis Nr. 3 – radialiaja kryptimi nustatytas 4 mm pjovimo briaunos ilgio griovelių peilis);

N3 G97 S1200 M03 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklys paleidžiamas suktis į priekį 1200 suk./min greičiu);



11.62 pav. Detalė, kurios griovelis apdirbamas G75 ciklu pagal programą O00753

N4 G00 X42.0 Z-12.0 M08 (greitasis peilio pozicionavimas pradinėje ciklo pozicijoje virš griovelio, paliekamas 1 mm saugumo tarpelis tarp detalės paviršiaus ir peilio, į pjovimo zoną pradedama tiekti TAS);

N5 G96 S200 (įjungiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, palaikomas 200 m/min pjovimo greitis);

N6 G75 X26.0 Z-32.0 I4.0 K3.5 F0.15 (ciklas grioveliui tekinti, ciklas atliekamas pradinėje Z pozicijoje Z-12 4 mm ilgio peilio eigomis išilgai X ašies su 0,15 mm/sūk. pastūma, toliau jis bus kartojamas 3,5 mm žingsniu tol, kol pasieks galutinę Z koordinatę -32);

N7 G00 X100.0 M09 (greitasis įrankio atitraukimas pagal X ašį, nutraukiamas TAS tiekimas);

N8 G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį iš paskutinio taško);

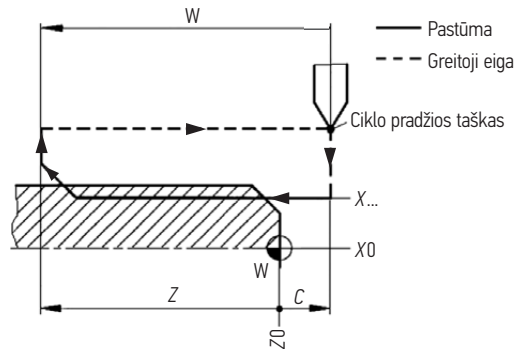
N9 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Pagrindinis sriegimo peiliu ciklas G92

Šis ciklas yra paprasčiausias ciklas, naudojamas sriegti sriegimo peiliais. Jį vykdant įrankis (sriegimo peilis) iš pradinės ciklo pozicijos pagreitintai įsigilina X ašies kryptimi ir juda pastūmos greičiu išilgai detalės ašies ciklo eilutėje nurodytu atstumu (eigos gale peiliu gali dar galima nupjauti nuožulną (11.63 pav.), kurios dydis nurodomas vidiniais nustatymais). Po to peilis sugražinamas į pradinę poziciją. Sriegis įpjaunamas keliomis įrankio eigomis, todėl darbinės eigos metu nuimama ne visa užlaida (sriegio profilio aukštis), o tik jos dalis. Norint įpjauti viso profilio sriegį, turi būti atliktos kelios eigos išilgai Z (detailės) ašies, kiekvieną kartą peilio viršūnei artėjant link detalės ašies. Dėl to pjaunant sriegį peiliu nepakanka nurodyti tik vienos eilutės su kodu G92. Ciklą reikia pakartoti kitose eilutėse tiek kartų, per kiek eigų planuojama įpjauti sriegį. Ciklas G92 yra modalinis, todėl norint pakartoti jį kitame skersmenyje, kitoje po G92 eilutėje reikia nurodyti tik kitą X koordinatę.

Ciklo G92 formatas yra toks:

G92 X... (U...) Z... (W...) F...;



11.63 pav. Sriegimo ciklo G92 parametrai ir peilio judesiai (Smid 2003)

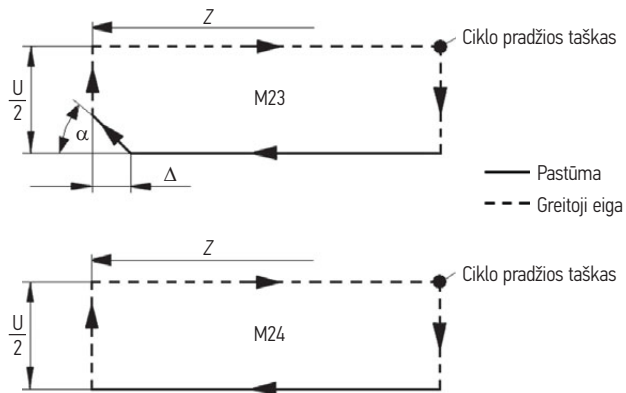
čia: X – skersmuo, kuriame atliekama sriegimo eiga (absoliučiosios koordinatės); U – tas pats, tik prieaugiais – atstumas pagal X ašį nuo pradinio ciklo taško iki taško, kuriame bus atliekama sriegimo peilio eiga (X koordinatės prieaugis, su ženklų); Z – sriegio pabaigos pozicija (absoliučiosios koordinatės); W – tas pats, tik prieaugiais – atstumas pagal Z ašį nuo ciklo pradinio taško iki sriegio pabaigos taško (Z koordinatės prieaugis, su ženklų); F – pastūma, mm/sūk. (sriegio žingsnis) arba coliais/sūk. (1/vijų skaičius viename colyje).

Nuožulnos peilio eigos gale dydis Δ (11.64 pav.) ir kampas α (dažniausiai 45° arba panašus) nurodomas, kaip jau minėjome, vidiniais sistemos nustatymais. Nuožulnos dydis Δ nustatymuose nurodomas kaip sriegio vijų skaičius, kuris vėliau bus dauginamas iš sriegio žingsnio (F), tokiu būdu bus nustatytas nuožulnos dydis ilgio vienetais. Jeigu nuožulna eigos gale nereikalinga, ji gali būti nepjaunama, kur nors anksčiau prieš ciklą nurodant kodą M24 (nepjauti nuožulnos). Kodo M24 veikimą atšaukia kodas M23 (pjauti nuožulną). Tai parodyta 11.64 pav. Jeigu prieš eilutę su G92 kodu nenurodytas joks kodas M23/M24, pagal nustatytuosius parametrus aktyvus yra M23 (pjauti).

Ciklas G92 gali būti taikomas ir vidiniam sriegiui pjauti (šiuo atveju ciklo pradžios taško X koordinatė turi būti mažesnė už pirmos sriegimo eigos X koordinatę). Be to, šiuo ciklu gali būti įpjautas ir kūginis sriegis (išorinis arba vidinis). Kūginiam sriegiui pjauti ciklas G92 programuojamas taip:

G92 X... (U...) Z... (W...) I... F...;

čia: X – vidinis sriegio skersmuo įsriegtos dalies arba Z eigos gale, absoliučiosiomis koordinatėmis; U – tas pats, programuojant prieaugiais; I – skirtumas tarp sriegio skersmenų eigos pradžioje ir pabaigoje, taip pat nurodantis ir kūgiškumo kryptį (spinduliui, su ženklų); kiti adresai identiški kaip ir cilindriniam sriegiui pjauti.



11.64 pav. Kodų M23/M24 veikimas

Tekinant išorinį kūginį sriegį, kai mažesnio skersmens detalės galas yra arčiau arkliuko, I adreso reikšmės ženklas yra neigiamas. Tekinant vidinį sriegį, kai didesnio skersmens skylės galas yra arčiau arkliuko – teigiamas. Tai parodyta 11.28 pav.

Ciklo G92 veikimas atšaukiamas bet kokia iš judesio komandų (pavyzdžiui, G00) kaip ir kitų *modalinių* tekinimo staklių ciklą.

Programų pavyzdžiai

1-asis pavyzdys. Įpjauti išorinį cilindrinį metrinį sriegį M18×2 (žr. taip pat 10.2.8 skirsnį), naudojant ciklą G92. Sriegio ilgis – 25 mm (10.35 pav.). Sriegį įpjausime 5 peilio eigomis Z ašies kryptimi.

O00921

(cilindrinis sriegis M18×2 tekinamas ciklu G92);

G28 U0.0 W0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

T0101 (įrankis revolverinės galvutės Nr. 1 lizde – sriegimo peilis nustatomas į darbo poziciją);

G97 S550 M03 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklio sūkiai – 550 sūk./min, suklys pradeda sukstis į priekį);

G00 X20.0 Z5.0 M08 (greitasis peilio pozicionavimas pradinėje pozicijoje už detalės galo, įjungiamas TAS siurblys);

M23 (pjauti nuožulną (11.64 pav.));

G92 X17.4 Z-25.0 F2.0 (pirmoji eiga, kurios metu įpjauamas 17,4 mm skersmens sriegis, pastūma – 2 mm/sūk.);

X17.0 (antroji eiga, kurios metu įpjauamas 17,0 mm skersmens sriegis);

X16.7 (trečioji eiga, kurios metu įpjauamas 16,7 mm skersmens sriegis);

X16.6 (ketvirtoji eiga, kurios metu įpjauamas 16,6 mm skersmens sriegis);

X16.584 (paskutinė eiga, kurios metu galutinai įpjauamas visas sriegio profilis);

G00 X50.0 M09 (ciklo atšaukimas, įrankio pagreitintas atitraukimas nuo paviršiaus, TAS siurblio išjungimas);

X100.0 Z80.0 (įrankio pagreitintas atitraukimas į keitimo poziciją);
M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

2-asis pavyzdys. Įpjauti dviejų pradžių sriegį pagal 1-ojo pavyzdžio duomenis.

000922

(dvipradžio cilindrinio sriegio M18×2 tekinimas ciklu G92);

G28 U0.0 W0.0 (ašys gražinamos į staklių nulį per įrankio buvimo tašką);

T0101 (įrankis revolverinės galvutės Nr. 1 lizde – sriegimo peilis nustatomas į darbo poziciją);

G97 S550 M03 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklio sūkiai – 550 sūk./min, suklys pradeda sukintis į priekį);

G00 X20.0 Z5.0 M08 (greitasis peilio pozicionavimas pradinėje pozicijoje už detalės galo, įjungiamas TAS siurblys);

(pirmosios pradžios tekinimas);

G92 X17.4 Z-25.0 F4.0 (pirmoji eiga, kurios metu įpjaunamas 17,4 mm skersmens sriegis);

X17.0 (antroji eiga, kurios metu įpjaunamas 17,0 mm skersmens sriegis);

X16.7 (trečioji eiga, kurios metu įpjaunamas 16,7 mm skersmens sriegis);

X16.6 (ketvirtoji eiga, kurios metu įpjaunamas 16,6 mm skersmens sriegis);

X16.584 (paskutinė eiga, kurios metu galutinai įpjaunamas visas sriegio profilis);

G00 X20.0 Z7.0 (greitasis judesys į ciklo pradžios tašką, tačiau patraukiant peilį pagal Z ašį žingsnio atstumu – 2 mm);

(antrosios pradžios tekinimas);

G92 X17.4 Z-25.0 (pirmoji eiga, kurios metu įpjaunamas 17,4 mm skersmens sriegis);

X17.0 (antroji eiga, kurios metu įpjaunamas 17,0 mm skersmens sriegis);

X16.7 (trečioji eiga, kurios metu įpjaunamas 16,7 mm skersmens sriegis);

X16.6 (ketvirtoji eiga, kurios metu įpjaunamas 16,6 mm skersmens sriegis);

X16.584 (paskutinė eiga, kurios metu galutinai įpjaunamas visas sriegio profilis);

G00 X100.0 Z80.0 M09 (ciklo atšaukimas, pagreitintas įrankio atitraukimas nuo paviršiaus į keitimo poziciją, TAS siurblio išjungimas);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Sriegimo peiliu vidinis ciklas G76

Sriegimo ciklas G76 naudojamas išoriniam ir vidiniam cilindriniam ir kūginiam sriegiui sriegti peiliu, t. y. kaip ir G92. Išskyla klausimas – kodėl sriegti naudojami du ciklai ir dar kodas G32, kodėl nepakanka vieno? Viskas yra gana paprasta – ciklai G92, G76 ir kodas G32 yra skirtingų programinio valdymo sistemų vystymosi etapų produktai. Iš pradžių sriegti buvo naudojamas paprasčiausias būdas – kodas G32 (žr. 10.2.8 skirsnį). Didėjant valdymo sistemų (lygiagrečiai su kita procesorine technika) galimybėms, atsirado ciklas G92, kuris po eigos Z ašies kryptimi gražindavo įrankį į pradinę poziciją prieš kitą eigą, kitą eigą reikėjo programuoti kitoje eilutėje. Tobulėjant CNC valdymo sistemoms, didėjant laisvosios kreipties atminties talpai ir procesorių galiai, toliau tapo įmanoma dar sutrumpinti programą ir visą sriegimo ciklą programuoti viena eilute – G76 ... Nurodžius eilutėje vidinį sriegio skersmenį ir eigos

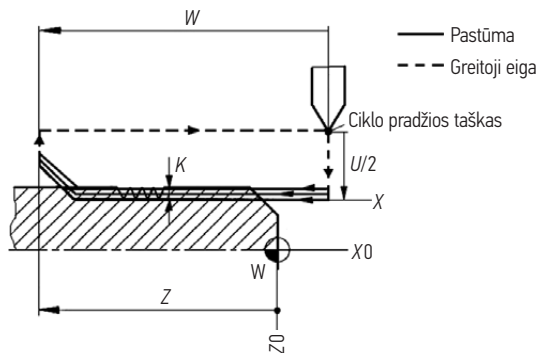
pjovimo gylį, žinant pradinio ciklo taško koordinatas valdymo sistema pati nustato reikalingą eigų skaičių ir atlieka ciklą. Programuoti sriegimo pakopas tapo kur kas paprasčiau, o ciklas G76 suteikia ir papildomų galimybių, o tai leidžia gauti geresnę sriegio kokybę. Todėl šiam ciklui dažniausiai atiduoda pirmenybę šiuolaikinis CNC tekinimo staklių programuotojas arba operatorius.

Nepaisant to, kas pasakyta pirmiau, šiuolaikinių CNC valdymo sistemų („Fanuc“, „HAAS“ firmų ir pan.) gamintojai palieka visus tris metodus (G32/G92/G76) – nuo seno iki naujo. Taip yra dėl to, kad daug operatorių, dirbusių su senomis sistemomis, sunkiai pripranta prie naujų. Be to, tai daroma tam, kad naujose staklėse galima būtų paleisti senas programas (konvertuotus į ASCII kodus, pavyzdžiui, iš perforuotų juostų, specialiais konverteriais) be peržiūros ir taisymų.

Ciklo G76 formatas priklauso nuo valdymo sistemos tipo, „Fanuc“ firmos sistemoms 10T/11T/15T jis yra toks:

G76 X... (U...) Z... (W...) I... K... D... F... A... P...;

čia: X – paskutinės peilio eigos X koordinatė, programuojant absoliučiosiomis koordinatėmis, 11.65 pav.; U – tas pat, programuojant prieaugiais, tai yra atstumas nuo pradinio ciklo taško iki labiausiai nutolusio galutinio sriegio profilio taško pagal X ašį (prieaugis su ženklu, 11.65 pav.); Z – įsriegtos dalies pabaigos taško Z koordinatė, absoliučiosiomis koordinatėmis; W – tas pat, programuojant prieaugiais, tai yra atstumas nuo pradinio ciklo taško iki įsriegto paviršiaus galo pagal Z ašį (prieaugis su ženklu); I – skirtumas tarp kūginio sriegio skersmenų eigos pradžioje ir pabaigoje, įvertinantis ir kūgiškumo kryptį (programuojamas spinduliui, su ženklu); K – sriegio profilio aukštis (teigiamas, programuojamas spinduliui), reikalingas eigų skaičiui nustatyti; D – pirmosios eigos pjovimo gylis (teigiamas, spinduliui, dažniausiai be taško); F – pastūma, mm/sūk. arba coliais/sūk.; A – peilio viršūnės kampas (be taško); P – peilio įsipjovimo metodas pjaunant sriegį, yra keturios reikšmės (P1, P2, P3 ir P4).



11.65 pav. Ciklo G76 parametrai ir įrankio judesiai

„Fanuc“ firmos 0T/16T/18T valdymo sistemose ciklas G76 programuojamas dviem eilutėmis:

G76 P... Q... R...;

G76 X... (U...) Z... (W...) R... P... Q... F...;

čia pirmoje eilutėje: P – adresas po kurio nurodomas šešių skaitmenų skaičius (pirmieji du skaitmenys nurodo glotniojo sriegimo eigų skaičių (01–99), kiti du skaitmenys rodo sriegio vijų skaičių nuožulnai eigos gale tekinti (00–99), jis bus dauginamas iš žingsnio, t. y. (0.0–9.9)P, paskutiniai du skaitmenys rodo sriegio viršūnės kampą (galimos reikšmės 00, 29, 30, 55, 60, 80)); Q – mažiausias pjovimo gylis (teigiamas, programuojamas spinduliui); R – užlaida paskutinei (baigiamajai) įrankio eigai (kai programuojama viena eilutė, šis dydis nurodomas sistemos nustatymais); antroje eilutėje: adresai X, U, Z, W ir F atitinka tokius pat vienos eilutės sistemoje pagal prasmę ir pavadinimus; adresai R, P (be taško) ir Q (be taško) atitinka adresus I, K ir D vienos eilutės sistemoje.

Kaip ir G92 ciklo atveju, eigos pabaigoje peilis gali nupjauti nuožulną (kai aktyvus M23) arba nepjauti jos (kai aktyvus M24). Vienos eilutės sistemose nuožulnos dydis ir kampas nurodomas sistemos nustatymais. Dviejų eilučių sistemoje nuožulnos dydį galima nurodyti vijų skaičiumi arba koeficientu, kuris dauginamas iš žingsnio.

Kaip matyti iš 11.65 pav. ir iš ciklų eilučių, G76 cikle nurodomas ne kiekvienas skersmuo, kuriame atliekama įrankio eiga Z ašies kryptimi (kaip cikle G92), o nurodomas tik galutinis skersmuo (įdubų arba vidinis išorinio sriegio skersmuo ar išorinis vidinio sriegio skersmuo). Turint jį, taip pat kitus ciklo eilutėje nurodytus parametrus (pvz., profilio aukštį, pirmos eigos gylį ir pan.) valdymo sistema pati atliks visų reikiamų tarpinių taškų X koordinatų skaičiavimus ir sugeneruos peilio eigas tol, kol bus suformuotas nurodytas sriegio profilio aukštis. Todėl programuojant su kodu G76, programa bus parengta greičiau ir bus trumpesnė, negu su kodu G92. Pavyzdžiui, programos O00921 eilutes:

G92 X17.4 Z-25.0 F2.0 (pirmoji eiga, kurios metu įpjaunamas 17,4 mm skersmens sriegis);
 X17.0 (antroji eiga, kurios metu įpjaunamas 17,0 mm skersmens sriegis);
 X16.7 (trečioji eiga, kurios metu įpjaunamas 16,7 mm skersmens sriegis);
 X16.6 (ketvirtoji eiga, kurios metu įpjaunamas 16,6 mm skersmens sriegis);
 X16.584 (paskutinė eiga, kurios metu galutinai įpjaunamas visas sriegio profilis);

galima pakeisti viena:

G76 X16.584 Z-25.0 K0.708 D300 A60 P1 F2.0;

arba dviem eilutėmis (dvejų eilučių sistemoje):

G76 P010560 Q100 R0.02;

G76 X16.584 Z-25.0 P708 Q300 F2.0;

Rezultatas bus tas pats.

Akivaizdu, kad valdymo sistema apskaičiuos pirmosios Z eigos skersmenį arba X koordinatę pagal tokią formulę:

$$X_1 = X + 2K - 2D, \quad (11.6)$$

arba kai ciklas programuojamas dviem eilutėmis:

$$X_1 = X + 2P - 2Q. \quad (11.7)$$

Mūsų atveju:

$$X_1 = 16,584 + 2 \times 0,708 - 2 \times 0,3 = 17,4 \text{ mm.}$$

Kiekvienos tolesnės eigos gylis bus mažesnis (priklausomai nuo pasirinkto adresu P sriegimo metodo gylis gali būti ir nemažinamas, tačiau apie tai toliau, mūsų atveju jis bus sumažintas) už pirmosios (nurodomos D arba Q adresu). Šis gylis nustatomas pagal formulę:

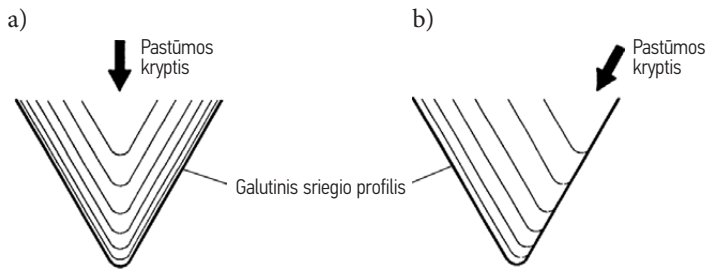
$$t_i = \frac{D}{\sqrt{i}}, \quad (11.8)$$

čia: D – pirmosios eigos gylis; i – eigos numeris.

Gylis mažės tol, kol pasieks mažiausią, kurio dydis nurodomas vidiniais sistemų 10T/11T/15T nustatymais arba adresu Q pirmoje eilutėje, kai programuojama dviem eilutėmis. Be to, paskutinę eigą galima atlikti specialiai su mažu pjovimo gyliu, norint gauti geresnės kokybės sriegį. Šis gylis nurodomas atskirai sistemų 10T/11T/15T vidiniais nustatymais arba adresu R pirmoje kodo G76 eilutėje (sistemos 0T/16T/18T).

Adresas P „Fanuc“ firmos sistemose 10T/11T/15T nurodo, kokiu metodu sriegimo peilio viršūnė, prieš atliekant eigą Z ašies kryptimi, įsipjauna į apdirbamąją medžiagą ruošinio spindulio arba ašies X kryptimi, t. y. kaip formuojamas sriegio profilis. Žinomi du profilio formavimo metodai – radialinis ir pagal profilio kraštinę. Šie metodai parodyti 11.66 pav. Operatoriui nereikia atlikti papildomų skaičiavimų norint realizuoti vieną ar kitą metodą, pakanka tik nustatyti jį adresu P , o visa kita atliks pati valdymo sistema. Be to, norint nustatyti taškų koordinates, peiliui įsipjaunant pagal profilio kraštinę, valdymo sistemai reikia nurodyti sriegio profilio (peilio viršūnės) kampą adresu A .

Cikle G76 numatyta valdyti įsipjovimo metodą norint pasiekti optimalias pjovimo sąlygas. Žinoma, kad pjaunant sriegį pirmuoju metodu pjaunama abiem pjovimo briaunomis (11.66 pav., a). Šios briaunos išdėstytos viena prieš kitą, pjovimo sąlygos yra sudėtingos, blogiau šalinama drožlė iš pjovimo zonos, blogiau nukreipiama šiluma nuo peilio viršūnės, peilio plokštelė daugiau kaista ir atitinkamai greičiau dyla. Šis būdas yra vienintelis leidžiamas cikle G92 arba pjaunant sriegį kodu G32. Jis gerai tinka, kai apdirbami minkšti metalai (pvz., aliuminis, varis ir pan.). Be to, tam tikrais atvejais tekinant sriegius šiuo metodu užtikrinama geresnė sriegio paviršiaus kokybė.



11.66 pav. Sriegio tekinimas: a – su radialiaja peilio pastūma (tik X ašies kryptimi);
b – su kombinuota pastūma (kartu X ir Z ašį kryptimi) (Smid 2003)

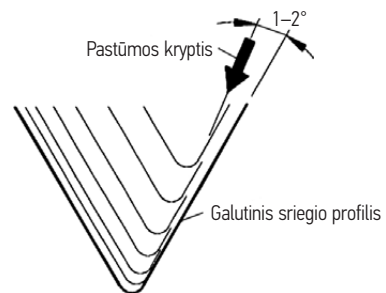
Dažniausiai taip būna tada, kai sriegis pjaunamas mažu pjovimo gyliu (adresas D). Šis būdas taip pat yra vienintelis, kai pjaunamas stačiakampio profilio sriegis. Kitais atvejais rekomenduojamas antrasis metodas.

Formuojant sriegio profilį pagal kraštinę (11.66 pav., b) pjauna tik viena pjovimo briauna, todėl pjovimo sąlygos yra geresnės. Antroji pjovimo briauna tik trinasi su sriegio paviršiumi, dėl to gali pablogėti sriegio paviršiaus kokybė. Tam išvengti valdymo sistema pati šiek tiek sumažina įsipjovimo kampą (11.67 pav.), palyginti su nurodytu adresu A (šiam metodui realizuoti reikia būtinai nurodyti sriegio profilio kampą, kuris lygus peilio plokštės viršūnės kampui) profilio kampui. Pavyzdžiui, metriniam tvirtinimo sriegiui reikėtų užprogramuoti A60, įsipjovimo kampas bus automatiškai sumažintas $1-2^\circ$, palyginti su puse profilio kampo $60/2 = 30^\circ$.

G76 cikle dažniausiai naudojamos tokios A adreso reikšmės (sistemose su dviem eilutėmis tai paskutiniai pirmos eilutės adreso P reikšmės skaitmenys):

- A0 (radialiniam metodui);
- A29 (ACME trapecinis sriegis);
- A30 (metrinis atraminis trapecinis sriegis);
- A55 (Vitvorto colinis sriegis);
- A60 (colinis arba metrinis trikampio profilio sriegis);
- A80 (PG sriegis).

Taigi „Fanuc“ firmos 10T/11T/15T valdymo sistemose galima programuoti klasikinių radialinį metodą, pavaizduotą 11.66 pav., a (kai nurodomas adresas A0 arba nenurodytas joks A adresas), arba įsipjovimą su kombinuota pastūma (kai nurodytas nenulinis adresas A). Prie šių metodų adresu P galima užprogramuoti dar du įrankio judėjimo metodus. Vienas iš jų vadinamas tiesiniu, kitas – zigzago judesiu. Šių judesių trajektorijos pateiktos 11.68 pav. Zigzaginio įsi-

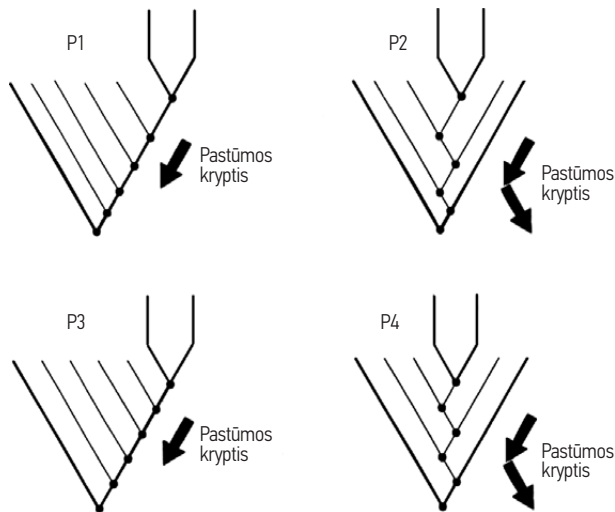


11.67 pav. Modifikuota sriegimo peilio trajektorija tekinant sriegį pagal profilio kraštinę (Smid 2003)

pjovimo metodas, kai pjauna abi pjovimo briaunos (bet ne vienu metu, kaip klasikiniu radialiniu metodu (11.66 pav., a), o paeiliui), leidžia pasiekti tolygų peilio plokštelės pjovimo briaunų dilimą ir prailginti plokštelės patvarumą, palyginti su metodu, kai peilis tiesiog juda kraštine.

Pjaunant sriegį pastoviu eigos pjovimo gyliu peilis su kiekviena eiga vienodu atstumu artėja prie ruošinio ašies, tačiau, kaip galima matyti iš 11.68 pav., kiekvienos eigos metu pašalinamas metalo tūris nebus vienodas, artėjant peilio viršūnei prie sriegio profilio viršūnės. Pasirinkti – ar pjauti sriegį nuimant vienodą tūrį kiekvienos eigos metu, ar palikti pastovų pjovimo gylį – galima taip pat adresu P. Skirtumas tarp P1 ir P3 bei tarp P2 ir P4 (11.68 pav.) reikšmių yra toks: nurodžius vienus iš jų (P3 ir P4) peilio eigos Z ašies kryptimi atliekamos pastoviu pjovimo gyliu (nurodoma D adresu ciklo eilutėje), kitais atvejais kiekvienos eigos metu nupjaunamas vienodas metalo tūris. Adreso D reikšmė bus naudojama tik pirmajai eigai, kiekvienos kitos eigos X ašies kryptimi gylis bus sumažintas pagal 11.8 formulę.

Nenurodžius jokio adreso P (tačiau nurodžius profilio kampą A...) programos eilutėje bus pritaikytas P1 metodas (11.68 pav.). P1 metodas taip pat bus pritaikytas „Fanuc“ firmos sistemose, kuriose ciklas G76 programuojamas dviem eilutėmis. Taip yra dėl vienos priežasties – kitokios reikšmės šiose sistemose yra neleidžiamos. Šis būdas (pastovus nupjaunamos medžiagos tūris) pasirinktas pagal nustatytuosius parametrus ne veltui, jis taikomas dažniausiai, tolygiau apkraunamas peilis, palyginti su P3 metodu. Pjaunant pastoviu pjovimo gyliu, gaunamas didesnis našumas, tačiau peilį veiks kintamoji pjovimo jėga, jis apkraunamas netolygiai. Todėl jis labiau tinka apdirbant minkštas medžiagas. Labai pažangus yra metodas P2, kurį naudojant ma-



11.68 pav. Adreso P, naudojamo cikle G76, galimos reikšmės ir šias reikšmes atitinkančios peilio trajektorijos (Smid 2003)

žiau apkraunamas peilis, efektyviau dirba peilio pjovimo briaunos, vienodai dyla abu peilio užpakaliniai paviršiai.

Ciklas G76 gali būti naudojamas ir vidiniams sriegiams pjauti, tam ciklo pradžios taško X koordinatė turi būti mažesnė už paskutinės eigos X koordinatę, kuri nurodoma adresu $X(U)$ ciklo eilutėje.

Pjaunant kūginius sriegius naudojamas adresas I, kuris nurodo kūgiškumo dydį ir kryptį. Jo ženklas ir dydis vidiniams bei išoriniams kūgiams nustatomas lygiai taip pat, kaip ir G90 cikle.

Programos pavyzdys. Parengti programą cilindriniam metriniam tvirtinimo sriegiui M18×2 tekinti, naudojant ciklą G76. Sriegio ilgis – 25 mm (10.35 pav.).

000761

(cilindrinis sriegis M18×2);

G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

T0101 (pasirenkamas sriegimo peilis, esantis revolverinės galvutės lizde Nr. 1);

G97 S550 M03 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklio sūkiai – 550 sūk./min, suklys pradeda sukintis į priekį);

G00 X20.0 Z5.0 M08 (greitasis peilio pozicionavimas pradinėje pozicijoje už detalės, įjungiamas TAS siurblys);

M24 (išeinant peiliui iš sriegio nedaryti nuožulnos);

G76 X16.584 Z-25.0 K0.708 D300 A60 P4 F2.0 (ciklas G76);

G00 X50.0 M09 (ciklo atšaukimas, pagreitintas įrankio atitraukimas nuo paviršiaus, TAS siurblys išjungimas);

X100.0 Z80.0 M23 (pagreitintas įrankio atitraukimas į keitimo poziciją, M24 režimo išjungimas);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

11.3.3. „HAAS“ firmos valdymo sistemose naudojami vidiniai ciklai

Šiuolaikinių „HAAS“ firmos tekinimo staklių valdymo sistemose vidinių ciklų formatai dažniausiai sutampa su tokių pat ciklų „Fanuc“ firmos sistemose (tokiose, kur ciklai programuojami viena eilute, t. y. sistemų 10T/11T/15T, aprašytų pirmiau) formatais. Taigi be didesnių komentarų galima naudoti toliau išvardintus ciklus:

G90 („HAAS“ firmos sistemoje naudojamas adresas I kūgiui tekinti);

G94;

G71 (galimi I ir II trajektorijų tipai pagal aprašytas taisykles. Po adreso D gylis nurodomas su skyrimo tašku. Peilio atitraukimo dydis po kiekvienos eigos Z ašies kryptimi nurodomas nustatymu 73. Be to, jeigu ciklo eilutėje nenurodytas pjovimo gylis (adresas D), jis bus priimtas pagal nustatytuosius parametrus nustatymu 72);

G72 (galimi I ir II trajektorijų tipai pagal aprašytas taisykles. Po adreso D gylis nurodomas su skyrimo tašku. Peilio atitraukimo dydis po kiekvienos eigos X ašies kryptimi nurodomas nustatymu 73. Be to, jeigu ciklo eilutėje nenurodytas pjovimo

gylis (adresas D), jis bus priimtas pagal nustatytuosius parametrus nustatymu 72);
G73;

G70;

G74 (peilio atitraukimo dydis pertraukiamo judesio Z ašies kryptimi metu nurodomas nustatymu 22);

G75 (peilio atitraukimo dydis pertraukiamo judesio X ašies kryptimi metu nurodomas nustatymu 22);

G92 (staklėms su valdoma C ašimi eilutėje gali būti naudojamas papildomas adresas Q , po kurio nurodomas sriegio pradžios kampas be ženklo ir be taško (pvz., Q35000 (35°), Q180000 (180°), Q270123 ($270,123^\circ$). Tai naudojama sriegiant daugiapradžius sriegius užuot perstūmus ciklo pradžios tašką, kaip buvo parodyta O00922 programoje. Nuožulnos dydis eigos Z ašies kryptimi gale (nuožulnos pjovimo režimas įjungiamas/išjungiamas kodais M23/M24) nurodomas nustatymais 95 ir 96. Pirmas nustatymas nurodo nuožulna perpjaunamų sriegių vijų skaičių (pagal nustatytuosius parametrus 1), nuožulnos dydis bus nustatomas dauginant šį skaičių iš žingsnio. Nustatymas 96 nurodo nuožulnos kampą, naudojamos reikšmės nuo 0 iki 89° (pagal nustatytuosius parametrus 45°));

G76 (adresus P1–P4 galima naudoti, po adreso D pjovimo gylis nurodomas su skyrimo tašku. Staklėse su valdoma C ašimi gali būti naudojamas papildomas adresas Q , po kurio nurodomas sriegio pradžios kampas be ženklo ir be taško, panašiai kaip G92 cikle. Tais pačiais nustatymais, kaip ir cikle G92, nurodomas nuožulnos eigos gale dydis ir kampas, o paskutinės eigos pjovimo gylis nurodomas nustatymu 86); „HAAS“ firmos tekinimo staklių valdymo sistemose leidžiama naudoti ir kitus ciklus, naudojamus frezavimo staklėse ir specialius, būdingus tik šios firmos tekinimo staklėms ir centrams. Apžvelgsime juos papildomai.

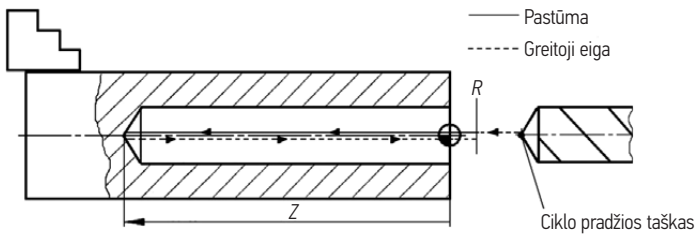
Ašinių skylių gręžimo ciklas G81

Šis ciklas veikia labai panašiai kaip ir toks pat frezavimo staklių ir apdirbimo centrų ciklas. Jį vykdydamas įrankis iš paskutinės pozicijos, užprogramuotos prieš ciklą, atliks greitojo pozicionavimo judesį iki X adresu nurodytos pradinės ciklo pozicijos (jeigu nenurodyta jokia, kaip pradinė ciklo pozicija, bus imama einamoji, tačiau jeigu vidinis sistemos nustatymas 28 yra įjungtas (*On*), tai labiausiai paplitusi nustatymo 28 reikšmė). Priešingu atveju programa bus priverstinai sustabdyta, pasirodys klaidos pranešimas. Po to bus atliktas greitojo pozicionavimo judesys Z ašies kryptimi iki atitraukimo plokštumos, kurios pozicija Z ašies atžvilgiu nurodoma adresu R (11.69 pav.). Toliau įrankis pastūmos greičiu judės iki nurodytos Z adresu skylės dugno pozicijos (galima nurodyti tik absoliučiosiomis koordinatėmis), vėliau įrankis bus pagreitinamai ištraukiamas iš skylės iki R pozicijos.

Ciklo formatas yra toks:

G81 X... Z... R... F...;

čia: X – skylės ašies koordinatė absoliučiosiomis koordinatėmis; Z – skylės dugno Z



11.69 pav. Įrankio judesių trajektorijos tekinimo staklėse cikle G81 ir ciklo parametrai

koordinatė; R – grąžto atitraukimo pozicija; F – pastūma, mm/sūk. arba colių/sūk. (jei nenurodyta, bus imama paskutinė nurodyta ciklui atlikti).

Skylės X pozicija, kai staklėse nėra įrankių pavaros, gali būti tik viena – $X0$. Todėl dažniausiai ciklas atliekamas tik vieną kartą, einamojoje pozicijoje, prieš ciklą grąžtą nukreipus į tašką $X0 Z+...$ Kai staklių revolverinėje galvutėje galima naudoti besisukančius įrankius, skylės galima gręžti ir kitose galinės plokštumos vietose, arčiau arba toliau nutolusiose nuo detalės ašies. Ciklas G81 (09 grupė) yra modalinis, todėl kaip ir frezavimo staklėse, jis lieka aktyvus ir kitose eilutėse, kuriose galima nurodyti kitų skylių ašių X koordinatės. Jis bus kartojamas tol, kol bus atšauktas kita judesio komanda (pvz., G00, G01, G02/G03) arba atšaukimo kodu G80 (G80 „HAAS“ firmos tekinimo staklėse naudojamas, tačiau tik 09 grupės vidiniams ciklams atšaukti – G81–G89, G95, G184, G186). Dirbant su besisukančiais įrankiais reikia būti ypač atsargiems. Prieš gręžiant skylės reikia stabdyti pagrindinį sukli ir paleisti suktis įrankį (kodais M133/M134). Pagrindinis suklys, kuriame užspausta detalė, jokiu būdu neturi suktis gręžimo metu, skirtingai nuo staklių be įrankių pavaros, kur sukasi detalė, o ne grąžtas, kuriomis galima gręžti tik skylės, kurių ašys sutampa su detalės ašimi.

Kodai G98/G99, frezavimo staklėse naudojami įrankiui grąžinti į pradinę Z poziciją/į atitraukimo poziciją, tekinimo staklėse negalioja (tiksliau, jie naudojami tekinimo staklėse, tačiau tik kitiems tikslams – pastūmų vienetams nurodyti), kitų nėra. Įrankis po ciklo grąžinamas į R poziciją, iš kurios jį patraukti toliau galima greitojo pozicionavimo komanda G00. Taip yra todėl, kad tekintų detalių galas dažniausiai yra lygus, be jokių iškyšų ir nėra kliūčių, kurias įrankiui reikėtų aplenksti. Be to, pačių elementų (skylių), tekinimo staklėmis apdirbamose detalėse yra kur kas mažiau, o jeigu staklės neturi įrankių pavaros, galima išgręžti tik vieną skylę.

09 grupės ciklams tekinimo staklėse negalima nurodyti praeigių, visos koordinatės turi būti tik absoliučiosios.

Programų pavyzdžiai

1-asis pavyzdys. Parengti programą skylėi galinėje detalės (11.69 pav.) plokštumoje gręžti. Skylės ašis sutampa su detalės ašimi, detalės nulis yra galinės plokštumos ir detalės ašies susikirtimo taškas, skylės ilgis – 15 mm nuo galo. Skylė bus gręžiama klasikiniu metodu, naudojamu tekinimo staklėse – kai sukasi ruošinys, o ne grąžtas.

000811

(programa ašinei skylėi gręžti ciklu G81);

G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

T0101 (į darbo poziciją nustatomas spiralinis grąžtas, esantis galvutės dėtuvėje Nr. 1);

G97 S750 M03 (atšaukiamas pastovaus pjovimo greičio režimas, suklio sūkliai – 750 sūk./min, suklys pradeda sukstis į priekį);

G00 Z5.0 (greitasis grąžto pozicionavimas pradinėje ciklo pozicijoje pagal Z ašį);

X0.0 M08 (greitasis grąžto pozicionavimas pradinėje ciklo pozicijoje pagal X ašį, prieš įrankiui judant įjungiamas TAS siurblys);

G81 Z-15.0 R2.0 F0.15 (ciklas G81 vykdomas paskutinėje X0 Z5 pozicijoje, pastūma – 0,15 mm/sūk.);

G00 X100.0 M09 (ciklo atšaukimas, pagreitintas įrankio atitraukimas į keitimo poziciją, išjungiamas TAS siurblys);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

2-asis pavyzdys. Parengti programą 3 skylėms galinėje detalės (10.32 pav.) plokštumoje gręžti tekinimo centru su įrankių pavara. Skylių ašis nesutampa su detalės ašimi, jos išdėstytos 13 mm spinduliu nuo detalės ašies, 120° kampu viena nuo kitos. Detalės nulis yra galinės plokštumos ir detalės ašies susikirtimo taškas. Kiekvienos skylės ilgis – 12 mm nuo galo. Programoje naudosime ciklą G81, tokiu atveju patobulinsime programą O66498 (sumažinsime eilučių skaičių), kurioje nebuvo taikomi vidiniai ciklai.

000812

(programa 3 skylėms detalės galiniame paviršiuje gręžti ciklu G81);

G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

G98 (pastūma mm/min);

M19 P0 (pagrindinis suklys orientuojamas į pradinę kampinę padėtį – 0 laipsniu. Čia sukliui pasukti nenaudosime C ašies variklio, o pasuksime tiesiog pagrindiniu suklio varikliu per diržinę pavarą. Toks metodas nelabai tikslus, tačiau kai didesnio tikslumo nereikia, gali būti naudojamas. Tokiu būdu nereikės keisti pozicionavimo režimo norint pasukti sukli reikiamu kampu, ciklas G81 nebus atšauktas);

G04 P2. (2 sekundžių pauzė, kad suklys spėtų pasisukti);

M14 (suklio hidraulinio stabdžio užspaudimas);

T0101 (pasirenkamas spiralinis grąžtas, esantis revolverinės galvutės lizde Nr. 1);

M133 P1200 (grąžtui suteikiamas sukimosi judesys, sūkliai – 1200 sūk./min);

G00 Z5.0 (greitasis grąžto pozicionavimas pradinėje pozicijoje pagal Z ašį);

X26.0 M08 (greitasis grąžto pozicionavimas pradinėje pozicijoje pagal X ašį virš pirmos skylės ašies, prieš įrankiui judant įjungiamas TAS siurblys);

G81 Z-12.0 R2.0 F100.0 (ciklas G81 įvykdomas paskutinėje įrankio pozicijoje X26 Z5 su 100 mm/min pastūma. Atlikęs ciklą grąžtas grįš į atitraukimo poziciją, nutolusią 2 mm nuo detalės galo pagal Z ašį);

M19 P120 (suklys bus pasuktas 120 laipsnių kampu pradinės pozicijos atžvilgiu, suklio stabdys bus atleistas automatiškai);

G04 P2. (2 sekundžių pauzė, kad suklys spėtų pasisukti);
 M14 (suklio hidraulinio stabdžio užspaudimas);
 X26.0 (ciklas G81 kartojamas pozicijoje X26 Z2, nes lieka aktyvus);
 M19 P240 (suklys bus pasuktas 240 laipsnių kampu pradinės pozicijos atžvilgiu, suklio stabdys bus atleistas automatiškai);
 G04 P2. (2 sekundžių pauzė, kad suklys spėtų pasisukti);
 M14 (suklio hidraulinio stabdžio užspaudimas);
 X26.0 (ciklas G81 atliekamas trečią kartą, gręžiama paskutinė skylė);
 G80 G00 X100.0 M09 (ciklo atšaukimas, pagreitintas įrankio atitraukimas nuo detalės, TAS siurblio išjungimas);
 M15 (suklio stabdžio atleidimas);
 M135 (grąžto variklio išjungimas);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Ašinių skylių gręžimo su pauze ciklas G82

Šis ciklas skiriasi nuo G81 ciklo (11.69 pav.) tik tuo, kad grąžtui pasiekus nurodytą ciklo eilutėje *Z* poziciją (skylės dugną), jis bus pagreitintai ištrauktas iš skylės į *R* poziciją ne iš karto, o tik praėjus ciklo eilutėje nustatytos trukmės pauzei. Ciklo formatas yra labai panašus į G81, prisideda tik vienas papildomas pauzės adresas.

G82 X... Z... R... P... F...;

čia: P – pauzės trukmė, s, kai adreso P reikšmė nurodoma su tašku, pvz., P1.0, P2.5, arba ms, kai adreso P reikšmė nurodoma be taško, pvz., P100, P2500 ir pan.

Ciklas G82, lygiai taip pat kaip ir G81, gali būti naudojamas su besisukančiais įrankiais.

Gręžimo ir kapojimo ciklas G83

Ciklas yra panašus į tokį pat frezavimo staklių ciklą, jis dažniausiai naudojamas gilioms skylėms arba skylėms sunkiai apdirbamoje medžiagoje gręžti. Jo parametrai parodyti 11.70 pav. Kaip ir „HAAS“ firmos frezavimo staklėse, šis ciklas gali būti programuojamas dviem būdais (žr. 11.2.3 skirsnį). Vienas iš galimų formatų yra toks:

G83 X... Z... I... J... K... R... P... F...;

čia: I – pirmosios įrankio eigos *Z* ašies kryptimi ilgis (be ženklų, 11.70 pav., b);
 J – kiekvienos tolesnės eigos ilgio sumažėjimas (be ženklų);
 K – mažiausias įrankio eigos *Z* ašies kryptimi ilgis (be ženklų);
 P – pauzė, kuri bus išlaikyta įrankiui pasiekus skylės dugną, s arba ms, priklausomai nuo to, su tašku arba be taško nurodyta P adreso reikšmė; kiti adresai sutampa su tokiais pat G81 ciklo adresais.

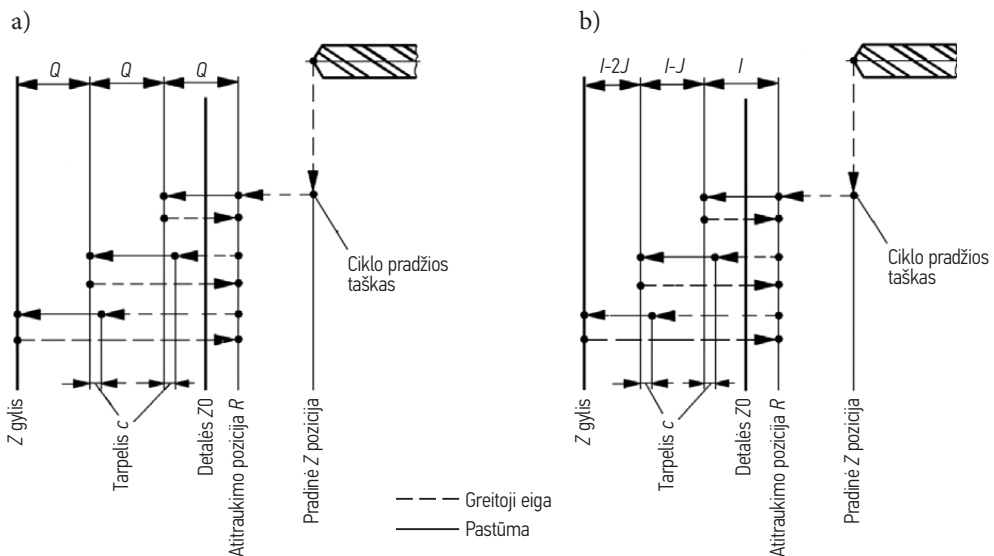
Atliekant šį ciklą, įrankis pagreitintai persikels į pradinę ciklo poziciją pagal *X* ašį (jeigu ji nenurodyta ciklo eilutėje, ciklas bus atliktas esamoje įrankio pozicijoje (turi būti įjungtas 28 nustatymas). Toliau įrankis bus pagreitintai perstumtas į atitraukimo

poziciją, nurodytą adresu R. Po to įrankiui bus suteikiama pastūma Z ašies kryptimi atstumu, nurodytu po adresu I. Atlikus eigą įrankis grįš į R poziciją ir vėl bus pagreitinai grąžintas į jau pasiektą poziciją (prie jos bus pridėtas atstumas c , nurodomas nustatymu 22, kad įrankis neatsitrenktų į skylės paviršių). Toliau įrankiui bus suteiktas ilgio $I - J$ pastūmos judesys, po kurio jis bus grąžintas į R poziciją. Kiekvienos tolesnės pastūmos eigos ilgis bus sumažintas atstumu J , palyginti su prieš tai atliktos pastūmos eigos Z ašies kryptimi ilgiu, tai yra pirmos eigos ilgis I , antros – $I - J$, trečios – $I - 2J$ ir t. t. Taip bus tol, kol eigos dydis sumažės iki nurodytos adresu K. Jeigu tai įvyks iki tol, kol įrankis pasiekė skylės dugną (nurodomas adresu Z), visos eigos bus atliktos toliau K ilgiu, kol įrankis pasieks dugną. Skylės dugno koordinatė jokiū būdu nebus viršyta, net jeigu nepavyks atlikti visos paskutinės ilgio K eigos, tokiu atveju ji bus sumažinta. Atlikus ciklą įrankis liks R pozicijoje. Grąžinti jį į pradinę Z poziciją galima tik po ciklo kodu G00.

Ciklą G83 galima užprogramuoti ir taip, kad eigos ilgis nemažėtų su kiekviena eiga, o būtų vienodas (paskutinės eigos ilgis gali būti sumažintas, jeigu nepavyksta atlikti visos eigos, skylės dugnui pasiekti):

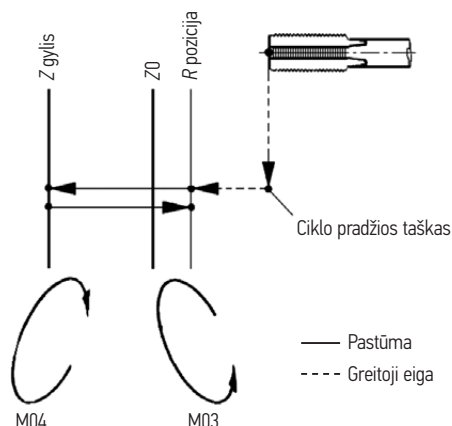
G83 X... Z... Q... R... P... F...;

čia: Q – eigos Z ašies kryptimi ilgis (be ženklo, 11.70 pav., a); P – pauzė, kuri bus išlaikyta įrankiui pasiekus skylės dugną, s arba ms, priklausomai nuo to, su tašku arba be taško nurodyta P adreso reikšmė; kiti adresai yra tokie pat, kaip ir G81 ciklo.



11.70 pav. Ciklo G83 parametrai ir įrankio judesiai: a – kai naudojamas adresas Q; b – kai naudojami adresai I, J ir K

Sistemos nustatymu 22 valdoma, koki atstumu bus atitraukiamas su darbine pastūma atlikęs kiekvieną eigą įrankis, prieš pagreitintai grįžtant į *R* poziciją. Šis atstumas taip pat bus išlaikytas, kai įrankis pagreitintai grįžta iš *R* pozicijos į darbo poziciją kitai darbo eigai *Z* ašies kryptimi atlikti. Ciklas G83 (kaip G81 ir G82) gali būti naudojamas ir su besisukančiais įrankiais, ir be jų (žr. G81 ciklo aprašą). Pirmuoju atveju galima gręžti skylės, kurių ašys nesutampa su detalės ašimi, o antruoju atveju – kai sutampa.



11.71 pav. Ciklo G84 parametrai ir įrankio judesį trajektorijos

Dešiniojo sriegio sriegimo sriegikliu ciklas G84

Šis ciklas yra panašus į tokį pat frezavimo staklių ciklą. Juo dešiniuoju sriegikliu sriegiamas vidinis sriegis, kai skylės ašis sutampa su detalės ašimi. Tai ciklas, skirtas klasikiniam sriegimo sriegikliu tekimo staklėmis atvejui, kai sukasi suklys (ruošinys), o nesisukančiam sriegikliui suteikiama sriegio žingsnio pastūma išilgai *Z* ašies. Su besisukančiais įrankiais šis ciklas nenaudojamas, darbui su jais skirti kiti ciklai. Prieš vykdant ciklą valdymo sistema pati privers sukli sukintis prieš laikrodžio rodyklę (žiūrint iš arkliuko pusės arba kai aktyvus yra kodas M03, 11.71 pav.), net tuo atveju, kai jis prieš ciklą sukosi pagal laikrodžio rodyklę (jeigu prieš ciklą buvo nurodytas M04 kodas). Po to įrankis bus pagreitintai pozicionuojamas *R* pozicijoje ir jam bus suteiktas pastūmos judesys iki nurodytos eilutėje *Z* pozicijos. Pasiėkus ją valdymo sistema pakeis suklio sukimosi kryptį į priešingą (M04) ir sriegiklis bus ištrauktas iš skylės pastūmos greičiu į *R* poziciją (11.71 pav.). Suklys bus sustabdytas po ciklo, toliau jis turi būti paleistas iš naujo. Ciklo formatas yra toks:

G84 X... Z... R... F...;

čia visi adresai pagal prasmę atitinka tokius pat cikle G81.

Cikle G84 *R* pozicija pasirenkama labiau nutolusi nuo detalės galinės plokštumos negu gręžimo cikluose. Taip daroma tam, kad suklys spėtų pasiekti nurodytus sūkius, o įrankis – pastūmos greitį. Tai užtikrins pjaunamo sriegio kokybę visame skylės ilgyje. Pastūma, kai aktyvus yra kodas G99 (pastūma mm/sūk. (arba coliais/sūk.)), yra lygi sriegio žingsniui, o kai aktyvus yra G98 (mm/min (arba coliais/min)) – nustatoma pagal 11.3–11.4 formules.

Kairinio sriegio sriegimo sriegikliu ciklas G184

Šis ciklas yra ciklo G84 kopija, tik skirtas kairiniams sriegiams sriegti kairiniais sriegikliais. Prieš jį vykdant suklys suksis į priešingą pusę negu cikle G84 (bus au-

tomatiškai aktyvuotas kodas M04, netgi jei jis ir nenurodytas arba nurodytas M03). Pasiekus skylės dugno Z koordinatę suklio sukimosi kryptis bus pakeista ir sriegiklis bus ištrauktas iš skylės pastūmos greičiu į R poziciją. Ciklas dirba su pagrindiniu sukliu ir negali būti naudojamas su besisukančiais įrankiais, juo galima sriegti kairiniais sriegikliais skyles, kurių ašys sutampa su detalės ašimi. Ciklo formatas yra toks pat, kaip ir G84:

G184 X... Z... R... F...;

Viskas, kas buvo pateikta G84 kodo apraše, taip pat tinka ir G184 kodui.

Ištekinimo ciklas G85

Šis ciklas panašus į G81, tačiau įrankiui pasiekus skylės dugną (atlikus Z eigą pastūmos greičiu), nurodytą ciklo eilutėje Z adresu, įrankis bus ištrauktas į R poziciją ne pagreitintai, kaip G81, o pastūmos greičiu (11.72 pav.). Suklys tuo metu suksis, todėl bus atliktas skylės paviršiaus išvaikščiojimas. Ciklas naudojamas skylėms ištekinti, tačiau gali būti naudojamas ir plečiant arba gręžiant. Ciklo formatas yra toks:

G85 X... Z... R... F...;

čia eilutės adresai atitinka tokius pat G81 ciklo adresus.

Ciklas G85 gali būti naudojamas ir staklėse su įrankių pavara, tačiau jokia būdu ne skylėms ištekinti, o darbui su ašiniais įrankiais (pvz., plečiant skyles, išdėstytas skirtinguose galinės plokštumos vietose, žr. ciklo G81 aprašą).

Programos pavyzdys. Ištekinti skylę detalėje nuo 25 mm skersmens iki 34 mm naudojant ciklą G85. Skylė kiaura, detalės ilgis – 15 mm nuo galinės plokštumos, kuri yra detalės Z ašies nulis.

000851

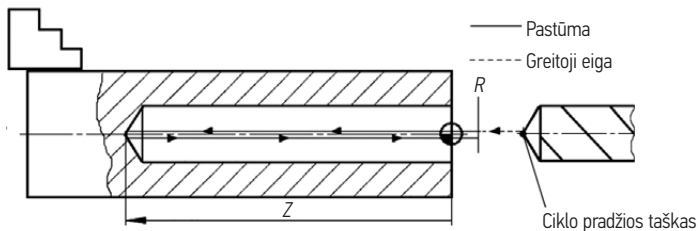
(skylės ištekinimas);

G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

T0303 (parenkamas įrankis Nr. 3 – ištekinimo peilis);

S750 M03 (suklys pradeda sukstis į priekį 750 sūk./min greičiu);

G00 Z5.0 (greitasis grąžto pozicionavimas ciklo pradinėje pozicijoje pagal Z ašį);



11.72 pav. Ciklo G85 parametrai ir įrankio judesių trajektorijos

X28.0 M08 (greitasis grąžto pozicionavimas pradinėje pozicijoje pagal X ašį, įjungiamas TAS siurblys);

G85 Z-17.0 R2.0 F0.15 (ciklas G85 įvykdomas paskutinėje X pozicijoje X28 Z5, peilis juda iki Z-17 mm pozicijos, viršydamas 2 mm skylės dugno Z koordinatę Z-15);

X31.0 (ciklas kartojamas nupjaunant dar 3 mm užlaidą (skersmeniui));

X33.0 (ciklas kartojamas nupjaunant dar 2 mm užlaidą (skersmeniui));

X34.0 (ciklas kartojamas nupjaunant 1 mm užlaidą (skersmeniui));

G00 Z50.0 M09 (ciklo atšaukimas, pagreitintas įrankio atitraukimas nuo detalės paviršiaus, TAS siurblio išjungimas);

G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Ištekinimo suklį sustabdant įjovimo eigos gale ciklas G86

Ciklas panašus į G85 tik šiuo atveju, pasiekus nurodytą adresu Z skylės gylį, suklys bus sustabdytas, o įrankis pagreitintai ištrauktas iš skylės į R poziciją (11.73 pav.). Atgal traukiamo įrankio viršūnė gali palikti žymes apdirbtame paviršiuje, todėl ciklas dažniausiai naudojamas tik rupiajam ištekinimui. Šis ciklas netinka gręžti, nes grąžtas bus traukiamas atgal nesisukant ruošiniui ir gali sulūžti. Ciklas negali būti naudojamas darbui su besisukančiais įrankiais. Ciklo formatas yra toks pat kaip ir ciklo G85:

G86 X... Z... R... F...;

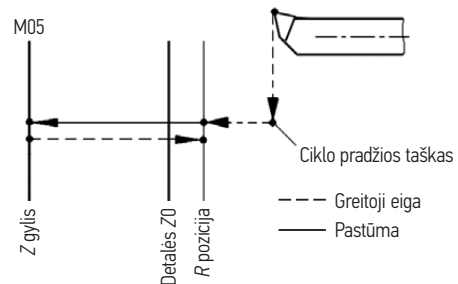
Ištekinimo su rankiniu įrankio atitraukimu ciklas G87

Šis ciklas veikia panašiai kaip G86, tik pasiekus užprogramuotą Z gylį sustos ne tik suklys, bet ir įrankis, paskutinis liks toje pačioje padėtyje tol, kol bus ištrauktas rankinio ašį persislinkimo režimu (režimu *Hand Jog*). Toliau programa bus vykdoma nuo kitos eilutės paspaudus mygtuką *Cycle Start*. Šis ciklas, palyginti su G86 ciklu, leidžia nepalikti įrankio viršūnės žymių ant paviršiaus. Ciklas negali būti naudojamas skylėms gręžti arba plėsti. Jis taip pat negali būti naudojamas su besisukančiais įrankiais. Formatas nieko nesiskiria nuo G86 ciklo formato:

G87 X... Z... R... F...;

Ištekinimo su pauze ir rankiniu įrankio atitraukimu ciklas G88

Šis ciklas analogiškas ciklui G87, tik prieš sustojant sukliui, kai pasiektas užprogramuotas Z gylis, bus išlaikyta nurodytos trukmės pauzė. Šios pauzės metu suklys suksis ir garantuotai nepaliks metalo užvartų prie skylės krašto. Ciklas negali būti naudojamas su besisukančiais įrankiais, taip pat netinka skylėms gręžti, plėsti, gi-



11.73 pav. Ciklo G86 parametrai ir įrankio judesio trajektorijos

linti, o tik ištekinti. Ciklo formatas panašus į G87/G86/G85, tik pridodamas adresas P, po kurio nurodoma pauzės trukmė sekundėmis (kai reikšmė nurodoma su tašku) arba ms, kai adreso P reikšmė nurodoma be taško:

G88 X... Z... R... P... F...;

Ištekinimo su pauze ciklas G89

Ciklas panašus į G85, tik prieš ištraukiant įrankį iš skylės (darbinės pastūmos greičiu) bus padaryta nurodytos adresu P trukmės pauzė (sekundėmis, jeigu adreso P reikšmė nurodyta su tašku ir milisekundėmis, kai be taško). Staklėse be įrankių pavaros ciklas G89 tinka ne tik skylėms ištekinti, bet ir plėsti, gilinti. Šis ciklas naudojamas ir su besisukančiais įrankiais – skylėms plėsti, gilinti ir gręžti. Ciklo formatas yra toks:

G89 X... Z... R... P... F...;

Dešininio sriegio sriegimo besisukančiu sriegikliu Z ašies kryptimi ciklas G95

Šis modalinis ciklas panašus į G84 ciklą, tik naudojamas darbui su besisukančiais įrankiais. Šiuo ciklu sriegiamos skylės, kurių ašys lygiagrečios su detalės ašimi (Z ašimi), tačiau nesutampa su ja. Programuojant šį ciklą reikia įvykdyti tam tikras sąlygas:

1. Prieš G95 ciklo eilutę turi būti įjungtas pagrindinio suklio stabdys kodu M14.
2. Turi būti įjungtas pastūmos per judesio vienetą (tai yra mm/sūk.) režimas kodu G99, pastūma ciklui turi būti nurodoma mm/sūk.
3. Prieš eilutę su G95 kodu adresu S turi būti užprogramuoti sriegiklio sūkiai be kodų M03/M04. Šiuo atveju bus nustatomi ne pagrindinio suklio, o sriegiklio sūkiai S.
4. Ciklo pradžios taško X koordinatė, t. y. paskutinė užprogramuota X koordinatė (kai G95 eilutėje X adresas nenurodomas) arba X koordinatė G95 eilutėje (kai skylės centro koordinatė programuojama G95 eilutėje), neturi būti taško, esančio žemiau suklio ašies (t. y. X-...). Ji turi būti tarp staklių nulio ir detalės nulio, kitaip ciklas nebus vykdomas, pasirodys klaidos pranešimas.

Ciklo formatas labai panašus į G84 ciklo formatą ir naudojami tie patys adresai, o būtent:

G95 X... Z... R... F...;

Vykdamas ciklą G95 sistema automatiškai paleis sriegiklio sukli suktis pagal laikrodžio rodyklę (žiūrint į įrankį iš arkliuko pusės) sūkiais S (o ne P), nors jo suklio paleidimo kodas M133 ir nenurodytas. Pasiekus skylės dugną sriegiklio variklis bus sustabdytas, reversuojamas, sriegiklis bus ištrauktas iš skylės pastūmos greičiu.

Programos pavyzdys. Parašyti programą dviem prieš tai išgręžtoms skylėms sriegti sriegikliu $M8 \times 1,25$ mm. Skylių centrai išdėstyti galiniame detalės paviršiuje 45 mm skersmeniui 180° kampų viena kitos atžvilgiu. Skylių įsriegtos dalies gylis – mažiausiai 12 mm.

000951

(skylių sriegimas ciklu G95);

...;

... (programos fragmentas skylėms gręžti);

...;

G00 Z150.0 X100.0 (pagreitintas įrankio atitraukimas į keitimo poziciją);

T03 (įrankis Nr. 3 – savo ašimi lygiagrečiai su Z ašimi nustatytas sriegiklis nustatomas į darbinę poziciją);

G99 (pastūmos mm/sūk. režimas);

G00 Z10.0 (greitasis sriegiklio pozicionavimas pradiniam ciklo taške pagal Z ašį);

X45.0 (greitasis sriegiklio pozicionavimas pradiniam ciklo taške pagal X ašį);

S500 (sriegiklio sūkiai – 500 sūk./min, tačiau jo suklys nepaleidžiamas sukty);

M19 P0 (pagrindinio suklio pradinė kampinė orientacija – sriegiklio ašis sutapdinama su pirmos skylės ašimi);

G04 P2.0 (2 s pauzė, kad suklys spėtų pasisukti);

M14 (pagrindinis suklys užspaudžiamas hidrauliniu stabdžiu);

M08 (paleidžiamas TAS siurblys);

G95 Z-15.0 R6.0 F1.25 (1-os skylės sriegimo ciklas, sriegiklio suklys bus sukamas pagal laikrodžio rodyklę, nors kodas M133 ir nebuvo nurodytas, sūkiai – 500 sūk./min, sriegikliui nurodoma 3 mm didesnė Z koordinatė negu sriegtos dalies pabaigos norint gauti kokybišką sriegį);

M19 P180 (suklys bus pasuktas 180 laipsniu kampu pradinės pozicijos atžvilgiu, suklio stabdys bus atleistas automatiškai);

G04 P2.0 (2 s pauzė, kad suklys spėtų pasisukti);

M14 (suklio hidraulinio stabdžio įjungimas);

X45.0 (2-os skylės sriegimo ciklas);

G80 (ciklo atšaukimas);

G00 Z15.0 M09 (pagreitintas sriegiklio atitraukimas nuo paviršiaus pagal Z ašį, nutraukiamas TAS tiekimas į pjovimo zoną);

X100.0 (sriegiklio atitraukimas nuo detalės pagal X ašį)

G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį pagal visas valdomas ašis);

M135 (sriegiklio pavaros išjungimas);

M15 (pagrindinio suklio hidraulinio stabdžio išjungimas);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Kairinio sriegio sriegimo besisukančiu sriegikliu Z ašies kryptimi ciklas G186

Šis ciklas yra toks pat, kaip ir G95, tačiau skirtas kairiniams sriegiams sriegti kairiniais sriegikliais, staklėmis su įrankių pavara. Ciklo pradžioje sriegiklio sukimosi kryptis bus priešinga sukimosi kryptčiai cikle G95. Operatoriui nebūtina netgi programuoti sukimosi krypties (M133/M134), kaip buvo parodyta programoje O00951. Valdymo sistema ignoruos „neteisingą“ kodą, net jei jis yra nurodytas ir pritaikys „teisingą“. Formatas yra toks pat:

G186 X... Z... R... F...;

Viskas, kas buvo pateikta ciklo G95 apraše, taip pat galioja ir G186 ciklui.

Dešinio sriegio sriegimo besisukančiu sriegikliu X ašies kryptimi ciklas G195

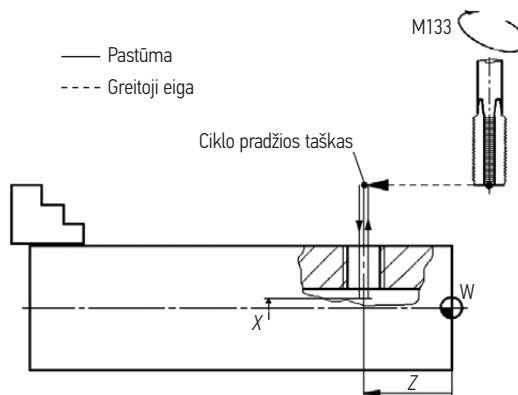
Šis ciklas naudojamas skylėms, kurių ašys susikerta su detalės ašimi ir sudaro su ją statų kampą, sriegti (11.74 pav.) sriegikliais staklėmis su įrankių pavara. Vykdamas ciklą dešinysis sriegiklis, įtvirtintas radialiniame laikiklyje, pagreitintai pozicionuojamas pradiniam ciklo taške pagal Z ašį (jeigu ciklo eilutėje nurodyta Z koordinatė, jei ne – ciklas bus atliktas toje Z pozicijoje, kurioje yra įrankis prieš ciklo eilutę). Po to įrankis pradės sukstis pagal laikrodžio rodyklę (lyg valdomas M133 kodu, sūkliai nurodomi prieš ciklą adresu S), net jeigu kodas M133 nenurodytas arba anksčiau buvo nurodytas kodas M134. Toliau įrankis iš pradinio ciklo taško (R pozicija čia nenurodoma) judės X ašies kryptimi pastūmos greičiu (ciklui naudojama pastūma, mm/sūk., lygi sriegio žingsniui, turi būti aktyvus G99) iki ciklo eilutėje nurodytos judesio pabaigos X pozicijos. Toliau bus pakeista sukimosi kryptis ir sriegiklis pastūmos greičiu bus ištrauktas iš skylės į pradinį ciklo X tašką. Ciklo formatas yra toks:

G195 X... Z... F...;

čia: X – skylės dugno arba įsriegtos dalies pabaigos koordinatė (turi būti pridėtas ir atstumas sriegiklio kūginei daliai išeiti); Z – skylės ašies koordinatė (jei nenurodoma, ciklas atliekamas paskutinėje užprogramuotoje Z pozicijoje); F – pastūma, mm/sūk. arba coliai/sūk., priklausomai nuo pasirinktos sistemos.

Programuojant šį ciklą būtina, kad būtų įvykdytos pirmosios trys G95 ciklo sąlygos. Ciklas G195 nėra modalinis, jis galioja tik vienoje eilutėje.

Programos pavyzdys. Paruošti programos fragmentą dviem prieš tai jau išgręžtomis skylėms sriegti sriegikliu M8×1,25. Skylių centrai išdėstyti 50 mm skersmens ruošinio cilindriname paviršiuje vienas prieš kitą, t. y. 180° kampu viena kitos atžvilgiu. Skylių gylis – 12 mm, jos yra kiauros, t. y. detalėje išgręžta taip pat ašinė skylė (11.74 pav.), kurios skersmuo – $\varnothing 26$ mm ($50 - (12 \times 2)$). Skylių ašys nutolusios nuo detalės Z nulio (galinės plokštumos) 15 mm.



11.74 pav. Ciklo G195 parametrai ir įrankio judesiai

001951

(radialinių skylių sriegimas ciklu G195);

...;

... (programos fragmentas skylėms gręžti);

...;

M135 (sustabdyti įrankio variklį);

G00 Z150.0 X100.0 (pagreitintas įrankio atitraukimas į keitimo poziciją);

T03 (įrankis Nr. 3 – savo ašimi lygiagrečiai su staklių X ašimi nustatytas sriegiklis nustatomas į darbinę poziciją);

G99 (pastūmos mm/sūk. režimas);

G00 Z-15.0 (greitasis sriegiklio ašies pozicionavimas pagal Z ašį);

X68.0 (greitasis sriegiklio pozicionavimas pradiniam ciklo taške pagal X ašį, paliekamas 9 mm tarpelis tarp sriegiklio galo ir detalės šoninio paviršiaus);

S500 (sukliaus sūkiai – 500 sūk./min, tačiau suklys nepaleidžiamas suktais, kodai M03/M04 jokių būdu nenurodomi);

M19 P0 (pagrindinis suklys pasukamas į pradinę kampinę poziciją);

G04 P2.0 (2 s pauzė, kad suklys spėtų pasisukti);

M14 (pagrindinis suklys užspaudžiamas hidrauliniu stabdžiu);

M08 (paleidžiamas TAS siurblys);

G195 X20.0 F1.25 (1-os skylės sriegimo ciklas, sriegiklio suklys bus sukamas pagal laikrodžio rodyklę 500 sūk./min greičiu, nors kodas M133 ir nebuvo nurodytas, nurodoma mažesnė X koordinatė negu skylės galo (X26), paliekamas 3 mm tarpelis sriegikliui išeiti iš skylės);

M19 P180 (suklys pasukamas 180° kampu pradinės pozicijos atžvilgiu, suklio stabdys bus atleistas automatiškai);

G04 P2.0 (2 s pauzė, kad suklys spėtų pasisukti);

M14 (suklio hidraulinio stabdžio įjungimas);

G195 X20.0 F1.25 (2-os skylės sriegimo ciklas, kartojama visa eilutė, nes ciklas nemodalinis);

G00 X80.0 M09 (pagreitintas įrankio atitraukimas nuo paviršiaus, nutraukiamas TAS tiekimas į pjovimo zoną);

G28 U0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį pagal X ašį iš paskutinio įrankio lankyto taško X68);

G28 W0.0 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį iš paskutinio įrankio lankyto taško Z-15);

M135 (sriegiklio pavaros išjungimas);

M15 (pagrindinio suklio hidraulinio stabdžio išjungimas);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Kairinio sriegio sriegimo besisukančiu sriegikliu X ašies kryptimi ciklas G196

Šis ciklas yra toks pat kaip ir G195, tik naudojamas kairiniams sriegiams sriegti kairiniais sriegikliais. Tai reiškia, kad vykdant jį iš pradžių (kai įrankis yra pradiniam ciklo taške) bus aktyvuojamas kodas M134, po to M133 (pasiekus nurodytą ciklo eilutėje X koordinatę, prieš ištraukiant sriegiklį iš skylės). Tai yra vienintelis dalykas, kuriuo ciklas G196 skiriasi nuo ciklo G195.

Nuopjovų frezavimo ciklas G77

Šis ciklas naudojamas tekinimo centruose su valdoma C ašimi ir įrankių pavara plokščioms nuopjovoms (nuo vienos iki n) detalės išoriniame paviršiuje frezuoti (11.75–11.78 pav.) pirštinėmis frezomis, įtvirtintomis ašiniuose laikikliuose. Turint stakles su valdoma Y ašimi (žr. I dalį) tokias plokštumas frezuoti nebūtų sudėtinga ir be šio ciklo, tačiau „HAAS“ firma tik 2010 m. pradėjo gaminti kai kuriuos tekinimo centrų modelius su valdoma Y ašimi. Todėl programuoti plokštumų frezavimą šios firmos staklėmis be papildomų priemonių būtų gana sudėtinga, o šis ciklas gerokai palengvina operatoriaus ar programuotojo darbą. Staklėse be valdomos Y ašies plokštumos gali būti frezuojamos tik pakeičiant judesį Y ašies kryptimi frezos judesiu X ašies kryptimi ir kampiniu suklio judesiu (tam skirtas ir specialus kodas G112, kuris buvo apžvelgtas 10 skyriuje), t. y. konvertuojant judesius XY plokštumoje į XC polines koordinates – spindulys ir kampas. Užprogramuoti tokį judesį naudojant G112 taip pat nėra labai sudėtingas uždavinys, tačiau „HAAS“ firmos sistemoje dažniausiai atliekamiems frezavimo darbams dar yra sukurtas ir specialus ciklas G77. Jis atlieka tą patį, tačiau naudotis juo kur kas paprasčiau negu G112, nes reikia mažiau parametrų ir skaičiavimų. Ciklo G77 galimybės yra ribotos, jis skirtas ne visiems ruošinio galo frezavimo darbams, o tik specialiams (frezuojamos nuopjovos veleno gale skirtos daugeliu atvejų rakto žiaunoms, tokiais frezavimo darbais dažniausiai ir apsiribojama apdirbant velenus tekinimo staklėmis). Ciklas programuojamas taip:

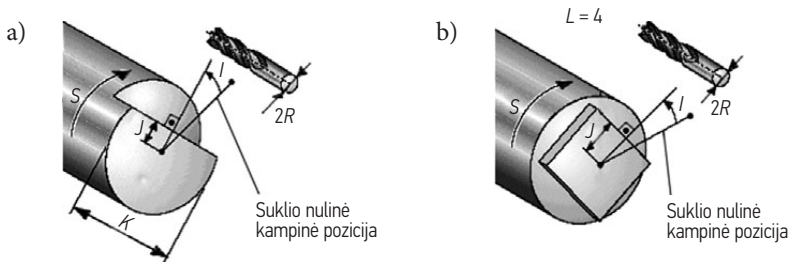
Jeigu reikia nufrezuoti n nuopjovų ($n \geq 3$, 11.75 pav., b, 11.77 pav.):

G77 I... J... R... S... L...;

Jeigu reikia nufrezuoti tik vieną nuopjovą (11.75 pav., a):

G77 I... J... R... S... K...;

čia I – pagrindinio suklio (arba ruošinio) kampinė pozicija, į kurią turi pasisukti suklys (arba ruošinys) frezuojant pirmąją nuopjovą (arba tiesiog nuopjovą, jei frezuojama tik viena), laipsniais; J – atstumas nuo ruošinio ašies iki nuopjovos plokštumos, išmatuotas statmenai jai (be ženklų, spinduliui); L – frezuojamų nuopjovų skaičius



11.75 pav. Detalės, kurių nuopjovos frezuojamos tekinimo centru su įrankių pavara naudojant ciklą G77: a – frezuojama viena nuopjova; b – frezuojamos keturios nuopjovos

($L = 3, 4, 5, \dots, n$); R – frezos spindulys; S – pagrindinio suklio sūkliai (jeigu nenurodyta, imama paskutinė nurodyta programoje reikšmė, o jei tokios nėra – pagal nustatytuosius parametrus); K – ruošinio skersmuo.

Frezuojant dvi plokštumas, išdėstytas viena prieš kitą (11.78 pav.), ciklas programuojamas du kartus (dviem eilutėmis, nes ciklas G77 nemodalinis) su skirtingomis I adresų reikšmėmis. Programuojant šį ciklą negalima palikti užlaidos glotniajam frezavimui ir užprogramuoti papildomą eigą nurodant tik vieną eilutę su G77. Todėl norint frezuoti iš pradžių rupiai, po to glotniai, ciklą reikia programuoti du kartus su skirtingomis J adresų reikšmėmis. Taip pat negalėsime išfrezuoti kelių nuopjovų, nutolusių skirtingais atstumais nuo detalės ašies, nurodę tik vieną eilutę su kodu G77.

Jeigu ciklo eilutėje nenurodomas adresas I, pirma plokštuma frezuojama nulinėje kampinėje suklio padėtyje, kuri nustatyta staklių gamykloje.

Adresas R reikalingas frezos spindulio kompensacijai pritaikyti cikle. Ji įjungiamą ir išjungiamą automatiškai ciklui vykstant, be kodų G41/G42/G40.

S adresas nurodo pagrindinio suklio sūklus (detalės, o ne frezos), nes šiame cikle nepakanka suteikti sukimosi judesį tik frezai, jis turi būti suteiktas ir ruošiniui. Pagal nustatytuosius parametrus yra 6 sūk./min sukimosi greitis, jeigu adresas S nenurodytas G77 ciklo eilutėje arba prieš ją. Suklio sukimosi kryptis, nurodyta prieš ciklo eilutę kodu M03/M04, neturi reikšmės šiam ciklui, tik sūkliai, valdymo sistema pati sustabdys suklij, kai reikia, pasuks jį reikiamu kampu ir suteiks apskritiminę pastumą reikiama kryptimi, kaip parodyta 11.75–11.78 pav.

Prieš ciklą G77 įrankis turi sukstis ir būti pradiniame ciklo taške, t. y. darbiniam gylyje pagal Z ašį ir aukščiau detalės paviršiaus, kaip parodyta 11.75 pav. Ypač svarbu užtikrinti saugų tarpelį tarp frezos ir detalės paviršių (X ašies kryptimi). Reikia prisiminti, kad į šį tašką įrankis bus grąžinamas kiekvieną kartą išfrezavus nuopjovą. Frezuojant kitą nuopjovą detalė turės pasisukti, įrankis neturi liesti detalės pasukimo metu. Pasibaigus ciklui įrankis liks pradiniame ciklo taške pagal X ir Z ašis.

Programų pavyzdžiai

I-asis pavyzdys. Parengti programą detalės, parodytos 11.75 pav., a, nuopjovai frezuoti. Sakykime, detalės skersmuo – 60 mm, plokštuma nutolusi nuo detalės cilindrinio paviršiaus liestinės 8 mm ($J = (60/2) - 8 = 22$ mm), frezos skersmuo – 12 mm. Nuopjovos ilgis Z ašies kryptimi – 6 mm nuo detalės galo. Detalės nulis išdėstytas detalės ašies ir galo plokštumos susikirtimo taške.

000771

(vienos nuopjovos frezavimo programa);

N01 G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

N02 S8 M03 (pagrindinis suklys pradeda sukstis į priekį 8 sūk./min greičiu);

N03 T0101 (įrankis Nr. 1 – pirštinė freza, nustatyta savo ašimi lygiagrečiai su detalės ašimi nustatoma į darbinę poziciją);

N04 M133 P750 (frezai suteikiamas sukimosi judesys pagal laikrodžio rodyklę 750 sūk./min greičiu);

N05 G00 Z5.0 (greitasis frezos pozicionavimas Z ašies kryptimi 5 mm į dešinę nuo detalės nulinio);

N06 X82.0 M08 (greitasis frezos pozicionavimas virš detalės, paliekant 5 mm tarpą tarp jos ir detalės šoninių paviršių, TAS siurblio įjungimas);

N07 Z-6.0 (freza pagreitinai pozicionuojama taške X82 Z-6, t. y. darbiniam gylyje pagal Z ašį (11.76 pav.));

N08 G77 J22.0 K60.0 R6.0 (ciklas, kurio metu bus išfrezuota viena nuopjova, kampo dydis nenurodytas, todėl nuopjova bus frezuojama, kai suklys yra nulinėje kampinėje pozicijoje);

N09 Z5.0 M09 (pagreitintas įrankio atitraukimas pagal Z ašį, kodas G00 nenurodytas, nes aktyvus nuo N05 eilutės, o nemodalinis ciklas G77 nepakeitė judesio režimo, TAS siurblio išjungimas);

N10 G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

N11 M135 (frezos variklio sustabdymas);

N12 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

2-asis pavyzdys. Paruošti programą detalės, parodytos 11.77 pav., šešioms nuopjovoms frezuoti. Sakykime, detalės skersmuo – 30 mm, reikia išfrezuoti 24 metrinio raktų nuopjovas ($J = (24/2) = 12$ mm), frezos skersmuo – 10 mm. Nuopjovų gylis Z ašies kryptimi – 5 mm.

O00772

(šešios nuopjovos raktui);

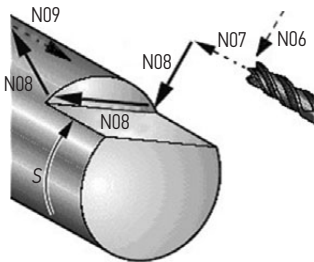
G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

T0101 (į darbinę poziciją nustatomas įrankis Nr. 1 – pirštinė freza, nustatyta savo ašimi lygiagrečiai su detalės ašimi);

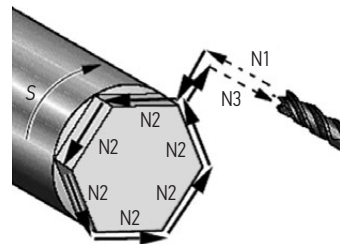
M133 P750 (frezai suteikiamas sukimosi judesys pagal laikrodžio rodyklę, 750 sūk./min greičiu);

S5 M03 (pagrindinis suklys pradeda sukintis į priekį 5 sūk./min greičiu);

G00 X50.0 M08 (greitasis frezos pozicionavimas virš detalės pradiniam ciklo taške, TAS siurblio įjungimas);



11.76 pav. Įrankio ir detalės judesiai programoje O00771 (punktyrinė linija parodyta trajektorija, atlikta greitojo pozicionavimo režimu, ištisine – pastūmos greičiu): N06–N09 – programos O00771 eilutės, kuriose užprogramuoti parodyti judesiai



11.77 pav. Įrankio ir detalės judesiai programoje O00772 (punktyrinė linija parodyta trajektorija atlikta greitojo pozicionavimo režimu, ištisine – pastūmos greičiu): N1–N3 – programos O00772 eilutės, kuriose užprogramuoti parodyti judesiai

N1 Z-5.0 (atraminis frezos taškas pasiekia darbinį gylį (11.77 pav.);
 N2 G77 J12.0 L6 R5.0 (ciklas, kurio metu bus išfrezuotos šešios plokštumos);
 N3 Z5.0 M09 (pagreitintas įrankio atitraukimas pagal Z ašį, TAS siurblio išjungimas);
 G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);
 M135 (įrankio variklio sustabdymas);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

3-iasis pavyzdys. Parengti programą dviem nuopjovoms detalėje, parodytoje 11.78 pav., frezuoti. Sakykime, detalės skersmuo – 40 mm, plokštumos išdėstytos viena prieš kitą 30 mm atstumu ($J = (30/2) = 15$ mm), frezos skersmuo – 10 mm. Nuopjovų ilgis Z ašies kryptimi – 3 mm nuo detalės galo.

000773

(dvi nuopjovos);

G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

T0101 (į darbinę poziciją nustatomas įrankis Nr. 1 – pirštinė freza, nustatyta savo ašimi lygiagrečiai su detalės ašimi);

M133 P950 (frezai suteikiamas sukimosi judesys pagal laikrodžio rodyklę 950 suk./min greičiu);

S12 M03 (pagrindinis suklys pradeda sukstis į priekį 12 suk./min greičiu);

G00 X60.0 M08 (greitasis frezos pozicionavimas virš detalės, TAS siurblio įjungimas);

N1 Z-3.0 (freza pagreitintai pasiekia darbinį gylį –3 mm (11.78 pav.));

N2 G77 J15.0 I0.0 K40.0 R5.0 (1-os nuopjovos frezavimo ciklas, suklys pasukamas į nulinę kampinę padėtį);

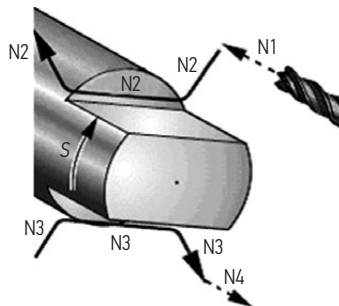
N3 G77 J15.0 I180.0 K40.0 R5.0 (2-os nuopjovos frezavimo ciklas, suklys pasukamas 180° kampu nuo pradinės kampinės pozicijos, kurioje buvo frezuojama pirmoji nuopjova);

N4 Z5.0 M09 (pagreitintas įrankio atitraukimas, ciklo atšaukimas, TAS siurblio išjungimas);

G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);

M135 (įrankio variklio sustabdymas);

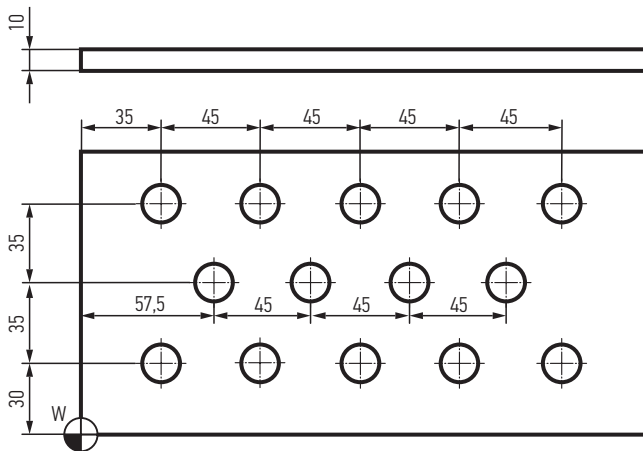
M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);



11.78 pav. Įrankio ir detalės judesiai programoje 000773 (punktyrine linija parodyta trajektorija, atlikta greitojo pozicionavimo režimu, ištisine – pastūmos greičiu):
 N1–N4 – programos 000773 eilutės, kuriose užprogramuoti parodyti judesiai

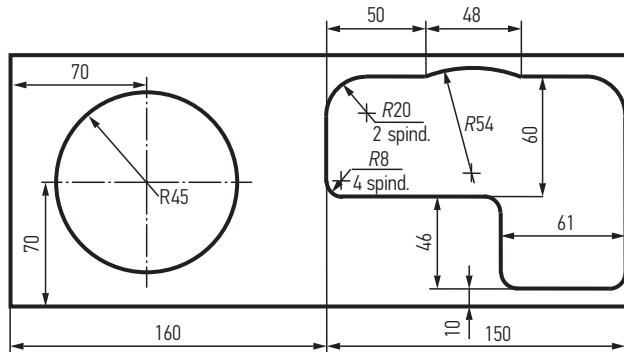
Kontroliniai klausimai

1. Kas yra vidiniai ciklai, kokių pranašumų jie suteikia juos naudojančioms programoms?
2. Kokiems darbams skirta dauguma frezavimo staklių vidinių ciklų? Kokie yra pagrindiniai vidiniai ciklai, naudojami frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose? Kokie gali būti naudojami skylėms gręžti, sriegti, plėsti, ištekinti? Kokiais atvejais naudojami vieni ar kiti ciklai?
3. Koks yra frezavimo staklių vidinių ciklų bendras formatas? Kokį vaidmenį atlieka kodai G98/G99 frezavimo staklių vidiniuose cikluose? Kokiais atvejais tikslinga naudoti vieną ar kitą kodą?
4. Kokiais atvejais gali būti naudojamas skaitiklis L(K) vidiniame cikle? Parenkite programą M10×1,5 kiauroms skylėms gręžti ir sriegti detalėje, pavaizduotoje toliau. Programą parenkite dviem būdais – naudodami skaitiklį ir nenaudodami jo gręžimo ir sriegimo cikluose.

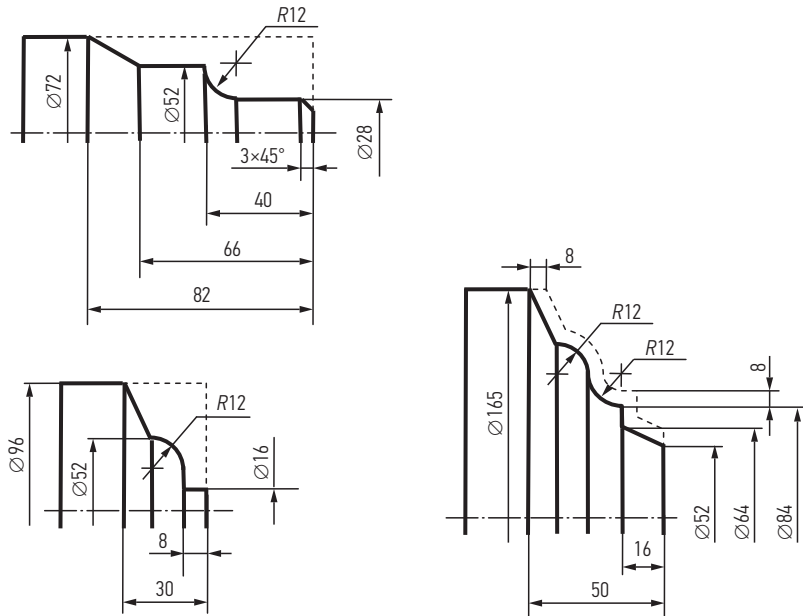


5. Kokie kodai naudojami „HAAS“ firmos frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose apvalioms kišenėms frezuoti? Kodėl naudojami du kodai, koks tarp jų skirtumas? Kokių dviejų tipų kišenės gali būti frezuojamos šiais kodais? Koks yra kodo formatas vienu ir kitu atveju? Kaip pasiekti, kad ciklas būtų pakartotas XY plokštumoje, tačiau įrankiui esant skirtingose pozicijose pagal Z ašį?
6. Koks kodas naudojamas „HAAS“ firmos frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose laisvos formos uždarams kišenėms frezuoti? Koks yra kodo formatas? Kaip aprašoma kišenės geometrija? Kaip pasiekti, kad ciklas būtų pakartotas XY plokštumoje, tačiau įrankiui esant skirtingose pozicijose pagal Z ašį?
7. Parenkite programą dviem kišenėms detalėje, pavaizduotoje toliau pateiktame paveiksle frezuoti „HAAS“ firmos frezavimo staklėmis naudojant apvalių ir laisvos formos kišenių frezavimo kodus – ciklus. Abi kišenės nebuvo sudarytos detalėje

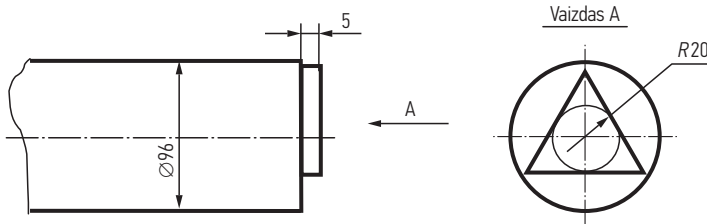
prieš apdirbant mechaniškai. Abiejų kišenių gylis – 10 mm nuo viršutinės plokštumos (Z0). Parengti dvi programos – kai kišenės frezuojamos atliekant ciklą vieną kartą XY plokštumoje ir atliekant ciklą du kartus, nuimant 5 mm užlaidą Z ašies kryptimi kiekvieną kartą. Frezuojama 16 mm skersmens pirštine freza. Detalės nulį XY plokštumoje parinkti savo nuožiūra.



8. Kokie darbai atliekami CNC tekinimo staklėmis naudojant vidinius ciklus? Kokie yra pagrindiniai tekinimo staklių vidiniai ciklai? Kodėl negalima pateikti bendrojo tekinimo staklių vidinių ciklų formato?
9. Paruošti programą 100 mm ilgio detalei tekinti nuo skersmens $\varnothing 90$ iki $\varnothing 80$ mm naudojant ciklą G90 ir nuimant užlaidą trimis eigomis – 6, 3 ir 1 mm. Parengti programą 100 mm ilgio skylėi ištekinti nuo $\varnothing 80$ iki $\varnothing 90$ mm tomis pačiomis sąlygomis.
10. Paruošti programą 5 mm užlaidai nuo detalės (skersmuo 60 mm) galo nuimti naudojant ciklą G94. Užlaidą nuimti dviem peilio eigomis – nuimant 3 ir 2 mm kiekviena eiga.
11. Kokiems darbams skirti ciklai G71, G72 ir G73? Koks jų formatas? Kaip aprašoma profilio geometrija? Koks skirtumas tarp I ir II trajektorijų tipų, kaip užprogramuoti programoje I ar II tipo trajektorijas?
12. Kam reikalingas glotniojo tekinimo ciklas G70, kodėl negalima apsiriboti pusiau glotnaus tekinimo eiga cikluose G71/G72? Koks G70 kodo formatas?
13. Parašyti programos toliau pateiktoms detalėms (punktyru parodytas ruošinio profilis) apdirbti naudojant ciklus G71/G72/G73. Palikti užlaidą glotniajam tekinimui ir naudoti programose ciklą G70.
14. Koks ciklas naudojamas grioveliams tekinti galiniame detalės paviršiuje? Koks ciklo formatas? Kokiems darbams gali būti dar naudojamas šis ciklas? Paruoškite programą grioveliui, kurio arčiau detalės ašies esantis kraštas nutolęs nuo detalės ašies 20 mm. Griovelio gylis – 8 mm, plotis – 3 mm. Ką reikėtų pakeisti, jeigu reiktų ištekinti du griovelius, kurių žingsnis – 10 mm? Jei reiktų ištekinti tris griovelius 10 mm žingsniu?



15. Koks ciklas naudojamas grioveliams tekinti šoniniame detalės paviršiuje? Koks ciklo formatas? Paruoškite programą grioveliui, kurio arčiau griebtuvo esantis kraštas nutolęs nuo detalės galo (Z nulio) 10 mm. Griovelio gylis – 5 mm, plotis – 3 mm. Ką reikėtų pakeisti, norint ištekinti du griovelius, kurių žingsnis yra 10 mm, o jei reikėtų ištekinti tris griovelius 10 mm žingsniu?
16. Kokie ciklai naudojami vidiniams ir išoriniams sriegiams sriegti peiliu tekimo staklėmis? Ko skiriasi šie ciklai? Kokie jų formatai? Parenkite programas 20 mm ilgio M48×3 vidiniam ir išoriniam cilindriniam sriegiui sriegti naudojant vieną ir kitą sriegimo ciklus. Sriegį tekinti 12 peilio eigomis išilgai detalės ašies.
17. Kokie ciklai gali būti naudojami skylėms apdirbti „HAAS“ firmos tekimo staklėmis? Kokie tinka skylėms gręžti? Plėsti? Ištekinti? Sriegti sriegikliais? Kokie tinka radialinėms skylėms apdirbti besisukančiais įrankiais? Kokie – ašinėms skylėms?
18. Koks ciklas naudojamas nuopjovoms frezuoti „HAAS“ firmos tekimo centrais su įrankių pavara? Koks kodo formatas? Kaip išfrezuoti vieną nuopjovą šiuo ciklu? Kaip dvi nuopjovas? Kaip n nuopjovų? Parašykite programą toliau pateiktos detalės trims nuopjovoms nufrezuoti.



PAPROGRAMĖS

12.1. Bendrosios žinios apie paprogrames ir jų taikymą

Paprogramėmis vadinamos atskiros programos (nors reikia pasakyti, kad ne visada tai būtina programos, jomis gali būti tiesiog tam tikros programos eilutės, tokiu atveju jos vadinamos lokalinėmis paprogramėmis), kurios kviečiamos vykdyti iš pagrindinės programos tam tikroje jos vietoje. Įvykdytos paprogramės perkelia programos vykdymą į pagrindinę programą, į kitą eilutę (nors ne visada) po kvietimo. Toliau vėl vykdoma pagrindinė programa. Pagrindinis paprogramių privalumas yra tas, kad ta pati (arba kita) paprogramė gali būti kviečiama toliau kitoje tos pačios pagrindinės programos vietoje. Prieš grįžtant į pagrindinę programą, paprogramės vykdymas gali būti pakartotas daug kartų. Paprogramės naudojamos tada, kai tam tikrus vienodo dydžio ir krypties įrankio judesius arba vienodus veiksmus, apdirbant detalę, reikia atlikti ne vieną kartą, o kelis kartus, norint nekartoti pagrindinėje programoje tų pačių eilučių.

Paprogramės yra geras būdas sumažinti programų ilgį (eilučių skaičių). Be abejo, trumpesnės programos užims mažiau vietos valdymo sistemos atmintyje. Tačiau šiuolaikinių sistemų vidinė atmintis talpi, programos gali būti saugomos ne tik valdymo įrenginyje, bet ir USB atmintinėse ir paleistos iš jų. Todėl šis privalumas yra ne toks svarbus. Gerokai svarbiau tai, kad mažėja programos eilučių, mažiau laiko reikia programai rengti ir mažesnė klaidos tikimybė.

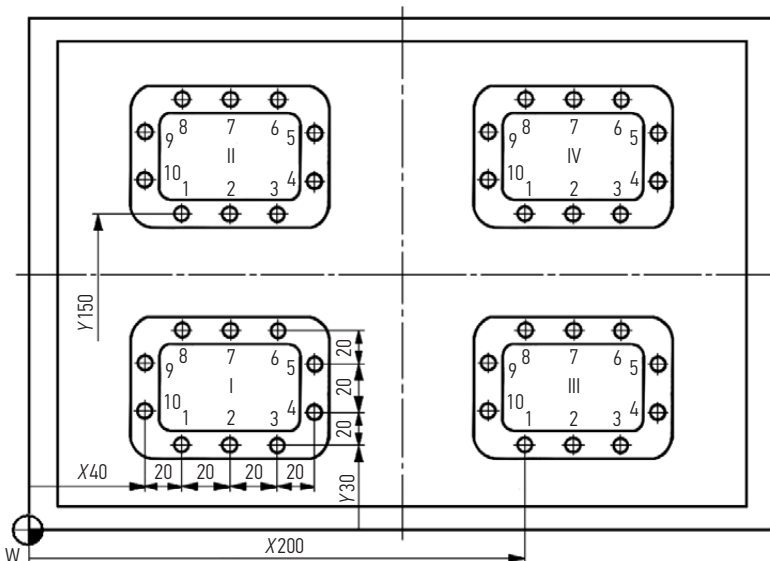
Viena iš paprogramių rūšių gali būti laikomi vidiniai ciklai, tik jie sudaryti gamintojo. Vartotojas negali keisti juose užprogramuotų judesių tipų, gali keisti tik jų ilgį, pauzių trukmes ir kitus parametrus. Paprogrames gali kurti pats operatorius arba programuotojas. Jis programuoja tokius judesius ir veiksmus, kokius nori.

Panagrinėsime pavyzdį. 12.1 pav. parodyta detalė, kurioje reikia išgręžti skylės. Šios skylės sudaro keturis vienodus masyvus (atstumai tarp skylių centrų yra vienodi) keturiuose skirtinguose detalės vietose (I–IV masyvai). Nustatysime detalės koordinatčių sistemos pradžią apatiniame kairiajame kampe (G54) ir parašysime programą absoliučiosiose koordinatėse. Pradžioje nenaudosime paprogramių. Programa yra tokia:

025963

(skylių masyvų (12.1 pav.) gręžimas, absoliučiosios koordinatės, be paprogramių);
N1 G90 G54 (absoliučiosios koordinatės, detalės koordinatčių sistema G54);

- N2 T01 M06 (spiralinis grąžtas iš dėtuvės lizdo Nr. 1 įstatomas į sukli);
 N3 S800 M03 (grąžtui suteikiamas sukimosi judesys apie savo ašį pagal laikrodžio rodyklę 800 sūk./min greičiu);
 N4 G00 X60.0 Y30.0 (greitasis grąžto ašies pozicionavimas virš I skylių masyvo 1-os skylės centro (12.1 pav.));
 N5 G43 Z5.0 H01 (greitasis grąžto galo pozicionavimas 5 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant įrankio ilgio kompensaciją iš 1-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės);
 N6 M08 (įjungiamas TAS siurblys);
 N7 G99 G81 Z-10.0 R2.0 F250.0 (vykdomas ciklas paskutinėje užprogramuotoje pozicijoje X60 Y30, įrankis, atlikus ciklą, grįžta į R poziciją 2 mm aukščiau detalės Z0);
 N8 X80.0 (2-a skylė);
 N9 X100.0 (3-ia skylė);
 N10 X120.0 Y50.0 (4-a skylė);
 N11 Y70.0 (5-a skylė);
 N12 X100.0 Y90.0 (6-a skylė);
 N13 X80.0 (7-a skylė);
 N14 X60.0 (8-a skylė);
 N15 X40.0 Y70.0 (9-a skylė);
 N16 G98 Y50.0 (10-a skylė, įrankis po ciklo grąžinamas į pradinę Z poziciją 5 mm aukščiau detalės Z0);
 N17 G99 X60.0 Y150.0 (gręžiama 1-a skylė, priklausanti II skylių masyvui, po ciklo atlikimo įrankis grąžinamas į R poziciją);
 N18 X80.0 (2-a skylė);



12.1 pav. Apdirbama detalė: I–IV – skylių masyvai

- N19 X100.0 (3-ia skylė);
 N20 X120.0 Y170.0 (4-a skylė);
 N21 Y190.0 (5-a skylė);
 N22 X100.0 Y210.0 (6-a skylė);
 N23 X80.0 (7-a skylė);
 N24 X60.0 (8-a skylė);
 N25 X40.0 Y190.0 (9-a skylė);
 N26 G98 Y170.0 (10-a skylė, įrankis po ciklo grąžinamas į pradinę Z poziciją);
 N27 G99 X200.0 Y30.0 (gręžiama 1-a skylė, priklausanti III skylių masyvui, po ciklo įrankis grąžinamas į R poziciją);
 N28 X220.0 (2-a skylė);
 N29 X240.0 (3-ia skylė);
 N30 X260.0 Y50.0 (4-a skylė);
 N31 Y70.0 (5-a skylė);
 N32 X240.0 Y90.0 (6-a skylė);
 N33 X220.0 (7-a skylė);
 N34 X200.0 (8-a skylė);
 N35 X180.0 Y70.0 (9-a skylė);
 N36 G98 Y50.0 (10-a skylė, įrankis po ciklo grąžinamas į pradinę Z poziciją);
 N37 G99 X200.0 Y150.0 (1-a skylė, priklausanti IV skylių masyvui, po ciklo įrankis grąžinamas į R poziciją);
 N38 X220.0 (2-a skylė);
 N39 X240.0 (3-ia skylė);
 N40 X260.0 Y170.0 (4-a skylė);
 N41 Y190.0 (5-a skylė);
 N42 X240.0 Y210.0 (6-a skylė);
 N43 X220.0 (7-a skylė);
 N44 X200.0 (8-a skylė);
 N45 X180.0 Y190.0 (9-a skylė);
 N46 G98 Y170.0 (10-a skylė, įrankis po ciklo grąžinamas į pradinę Z poziciją);
 N47 G80 M09 (atšaukiamas vidinis ciklas G81, išjungiamas TAS siurblys);
 N48 G28 Z5.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį per įrankio buvimo tašką);
 N49 G00 X150.0 Y200.0 (stalas pagreitintai pozicionuojamas į patogesnę detalei išimti poziciją);
 N50 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Ši programa yra gana ilga, jai surinkti su klaviatūra bus sugaišta daug laiko. Be to, reikia būti labai atsargiems su skylių koordinatėmis, kad neįvyktų klaidos. Programoje galima matyti, kad skylių koordinatės galėtų būti tos pačios, jeigu nereikėtų pridėti prie jų atstumo nuo detalės nulio iki atitinkamo skylių masyvo. Kol kas negalime parengti paprogramės, nes kiekvieno masyvo (I–IV) skylių centrai (eilutės N4, N8–N46) apibrėžiami skirtingomis koordinatėmis detalės koordinacių sistemoje, kurios pradžia yra apatiniame kairiajame detalės kampe (12.1 pav.). Šiam trūkumui išvengti

gali padėti prieaugių režimas G91. Pabandysime tą pačią programą parengti prieaugių režimu:

025964

(skilyų masyvų (12.1 pav.) grėžimas, prieaugiai, be paprogramių);

N1 G90 G54 (absoliučiosios koordinatės, detalės koordinačių sistema G54);

N2 T01 M06 (iš dėtuvės lizdo Nr. 1 imamas spiralinis grąžtas ir įstatomas į suklij);

N3 S800 M03 (grąžtui suteikiamas sukimosi judesys apie savo ašį pagal laikrodžio rodyklę 800 sūk./min greičiu);

N4 G00 X60.0 Y30.0 (greitasis grąžto ašies pozicionavimas virš I masyvo 1-os skylės centro);

N5 G43 Z5.0 H01 (greitasis grąžto galo pozicionavimas 5 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant įrankio ilgio kompensaciją iš 1-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės);

N6 M08 (įjungiamas TAS siurblys);

N7 G99 G81 Z-10.0 R2.0 F250.0 (ciklas vykdomas paskutinėje užprogramuotoje pozicijoje X60 Y30, po ciklo įrankis grąžinamas į R poziciją);

N8 G91 X20.0 L2 (ciklas atliekamas du kartus pridėjus prie esamos įrankio X koordinatės 20 mm kiekvieną kartą prieaugių režimu G91 (grėžiamos 2-a ir 3-ia I masyvo skylės));

N9 X20.0 Y20.0 L1 (4-a skylė);

N10 Y20.0 L1 (5-a skylė);

N11 X-20.0 Y20.0 L1 (6-a skylė);

N12 X-20.0 L2 (7-a ir 8-a skylės);

N13 X-20.0 Y-20.0 L1 (9-a skylė);

N14 G98 Y-20.0 L1 (10-a skylė, po ciklo įrankis grąžinamas į pradinę Z poziciją);

N15 G90 G99 X60.0 Y150.0 (absoliučiosios koordinatės, grėžiama 1-a skylė, priklausanti II masyvui, po ciklo įrankis grąžinamas į R poziciją);

N16 G91 X20.0 L2 (pereinama į prieaugių režimą, ciklas atliekamas du kartus pridėjus prie esamos įrankio X koordinatės 20 mm kiekvieną kartą prieaugių režimu G91 (grėžiamos 2-a ir 3-ia II masyvo skylės));

N17 X20.0 Y20.0 L1 (4-a skylė);

N18 Y20.0 L1 (5-a skylė);

N19 X-20.0 Y20.0 L1 (6-a skylė);

N20 X-20.0 L2 (7-a ir 8-a skylės);

N21 X-20.0 Y-20.0 L1 (9-a skylė);

N22 G98 Y-20.0 L1 (10-a skylė, po ciklo įrankis grąžinamas į pradinę Z poziciją);

N23 G90 G99 X200.0 Y30.0 (absoliučiosios koordinatės, grėžiama 1-a skylė, priklausanti III masyvui, po ciklo įrankis grąžinamas į R poziciją);

N24 G91 X20.0 L2 (pereinama į prieaugių režimą, ciklas atliekamas du kartus pridėjus prie esamos įrankio X koordinatės 20 mm kiekvieną kartą prieaugių režimu G91 (grėžiamos 2-a ir 3-ia III masyvo skylės));

N25 X20.0 Y20.0 L1 (4-a skylė);

N26 Y20.0 L1 (5-a skylė);

N27 X-20.0 Y20.0 L1 (6-a skylė);

N28 X-20.0 L2 (7-a ir 8-a skylės);

N29 X-20.0 Y-20.0 L1 (9-a skylė);

- N30 G98 Y-20.0 L1 (10-a skylė, po ciklo įrankis grąžinamas į pradinę Z poziciją);
 N31 G90 G99 X200.0 Y150.0 (absoliučiosios koordinatės, gręžiama 1-a skylė, priklausanti IV masyvui, po ciklo įrankis grąžinamas į R poziciją);
 N32 G91 X20.0 L2 (pereinama į priaugių režimą, ciklas atliekamas du kartus pridėjus prie esamos įrankio X koordinatės 20 mm kiekvieną kartą priaugių režimu G91 (gręžiamos 2-a ir 3-ia IV masyvo skylės));
 N33 X20.0 Y20.0 L1 (4-a skylė);
 N34 Y20.0 L1 (5-a skylė);
 N35 X-20.0 Y20.0 L1 (6-a skylė);
 N36 X-20.0 L2 (7-a ir 8-a skylė);
 N37 X-20.0 Y-20.0 L1 (9-a skylė);
 N38 G98 Y-20.0 L1 (10-a skylė, įrankis po ciklo grąžinamas į pradinę Z poziciją);
 N39 G80 M09 (atšaukiamas vidinis ciklas G81, išjungiamas TAS siurblys);
 N40 G90 G28 Z5.0 (absoliučiosios koordinatės, suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį per įrankio buvimo tašką);
 N41 G00 X150.0 Y200.0 (stalas pagreitintai pozicionuojamas į patogesnę detalei išimti poziciją);
 N42 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Programa sutrumpėjo nedaug, tačiau galima pastebėti, kad kiekvieno skylių masyvo skylių centrų koordinatės aprašomos vienodai, t. y. eilutės N8–N14, N16–N22, N24–N30 ir N32–N38 yra visiškai vienodos, tik užrašytos programoje keturis kartus. Daug patogiau parašyti juos tik vieną kartą, o toliau tiesiog iškviesti keturis kartus vykdyti skirtingose programos vietose, t. y. sukurti paprogramę. Programa ir paprogramė atrodytų taip (vienas iš variantų):

025965

- (skylių masyvų gręžimas, priaugės, naudojant paprogramę);
 N1 G90 G54 (absoliučiosios koordinatės, detalės koordinačių sistema G54);
 N2 T01 M06 (iš dėtuovės lizdo Nr. 1 imamas spiralinis grąžtas ir įstatomas į suklij);
 N3 S800 M03 (grąžtui suteikiamas sukimosi judesys apie savo ašį pagal laikrodžio rodyklę 800 suk./min greičiu);
 N4 G00 X60.0 Y30.0 (greitasis grąžto ašies pozicionavimas virš I masyvo 1-os skylės centro);
 N5 G43 Z5.0 H01 (greitasis grąžto galo pozicionavimas 5 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant įrankio ilgio kompensaciją iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės);
 N6 M08 (ijungiamas TAS siurblys);
 N7 G99 G81 Z-10.0 R2.0 F250.0 (vykdomas ciklas paskutinėje užprogramuotoje pozicijoje prieš kviečiant ciklą, po ciklo įrankis bus grąžintas į R poziciją, ciklo režimas programoje lieka aktyvus ir toliau);
 N8 M98 P25970 (gręžimo paprogramės 025970 kvietimas ir atlikimas);
 N9 X60.0 Y150.0 (ciklas atliekamas, kai įrankis virš II masyvo 1-os skylės centro, ciklo režimas paprogramėje nebuvo atšauktas, todėl lieka aktyvus ir šioje eilutėje);
 N10 M98 P25970 (gręžimo paprogramės 025970 kvietimas ir atlikimas);
 N11 X200.0 Y30.0 (ciklas atliekamas, kai įrankis virš III masyvo 1-os skylės centro, ciklo režimas lieka aktyvus ir šioje eilutėje);

- N12 M98 P25970 (gręžimo paprogramės O25970 kvietimas ir atlikimas);
 N13 X200.0 Y150.0 (ciklas atliekamas, kai įrankis virš IV masyvo 1-os skylės centro, ciklo režimas lieka aktyvus ir šioje eilutėje);
 N14 M98 P25970 (gręžimo paprogramės O25970 kvietimas ir atlikimas);
 N15 G80 G28 Z5.0 M09 (atšaukiamas vidinis ciklas, suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį per paskutinį užprogramuotą įrankio tašką, išjungiamas TAS siurblys);
 N16 G00 X150.0 Y200.0 (absoliučiosios koordinatės, stalas pagreitintai pozicionuojamas į patogesnę detalei išimti poziciją);
 N17 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

O25970

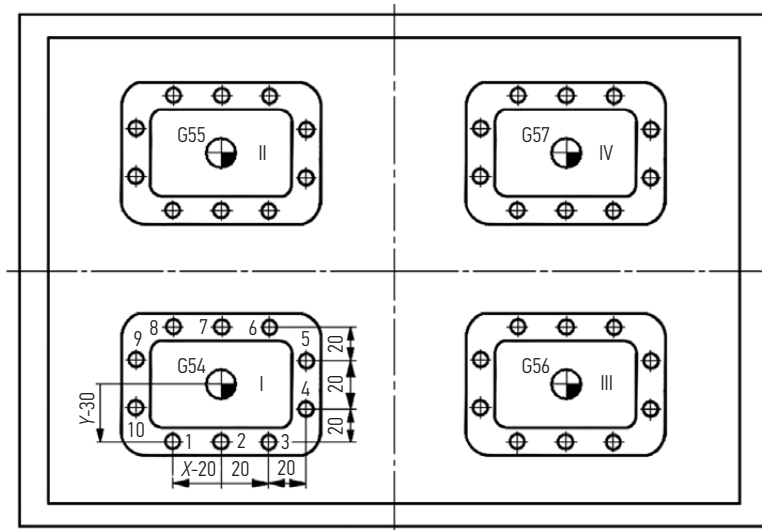
- (paprogramė skylių masyvu gręžti, priaugiai);
 N1 G91 X20.0 L2 (ciklas atliekamas du kartus pridėjus prie esamos įrankio X koordinatės 20 mm kiekvieną kartą priaugių režimu (gręžiamos 2-a ir 3-ia masyvo skylės));
 N2 X20.0 Y20.0 L1 (4-a skylė);
 N3 Y20.0 L1 (5-a skylė);
 N4 X-20.0 Y20.0 L1 (6-a skylė);
 N5 X-20.0 L2 (7-a ir 8-a skylės);
 N6 X-20.0 Y-20.0 L1 (9-a skylė);
 N7 G98 Y-20.0 L1 (10-a skylė, įrankis po ciklo grąžinamas į pradinę Z poziciją);
 N8 G90 (absoliučiosios koordinatės);
 N9 M99 (grįžimas į pagrindinę programą, ji bus vykdoma nuo kitos eilutės po paprogramės kvietimo);

Taigi koks iš trijų programos variantų yra patrauklesnis? Atsakymas turėtų būti aiškus – trečias variantas (programa O25965), t. y. su paprograme. Programa yra kompaktiška, sudaryta tik iš 26 eilučių (bendras programos ir paprogramės ilgis). Tokia programa bus sparčiau surinkta, tikrinti ją gerokai patogiau, joje nebėra pasikartojančių eilučių. Nepaisant to, du anksčiau pateikti variantai O25963 ir O25964 taip pat veikiantys, todėl operatorius turi teisę rinktis.

Kaip buvo paminėta, pateikėme tik vieną iš galimų programos su paprograme variantų 12.1 pav. pavaizduotai detalei apdirbti. Paprogramė tokiai detalei galėtų būti parašyta ne tik priaugiais, bet ir absoliučiosiomis koordinatėmis G90 režimu. Tokiu atveju reikia pasiekti, kad visų masyvų skylių centrų koordinatės būtų tokios pačios. Tam galima, pavyzdžiui, naudoti ne vieną, bet kelias koordinačių sistemas, tiksliau, keturias. Jų pradžias galima buvo išdėstyti, pvz., kiekvieno skylių masyvo centre (arba kampe), kaip pavaizduota 12.2 pav. Tokia programa ir jos paprogramė atrodytų taip:

O25966

- (skylių masyvų gręžimas, absoliučiosios koordinatės, su paprograme);
 N1 G90 G54 (absoliučiosios koordinatės, detalės koordinačių sistema G54);
 N2 T01 M06 (iš dėtuvės lizdo Nr. 1 imamas spiralinis grąžtas ir įstatomas į suklij);
 N3 S800 M03 (grąžtui suteikiamas sukimosi judesys apie savo ašį pagal laikrodžio rodyklę 800 sūk./min greičiu);



12.2 pav. Skylių masyvo gręžimas naudojant paprogramę: I–IV – skylių masyvai; G54–G57 – detalės koordinačių sistemos

- N4 G00 X0.0 Y0.0 (greitasis grąžto pozicionavimas I masyvo centre);
- N5 G43 Z5.0 H01 (greitasis grąžto galo pozicionavimas 5 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant įrankio ilgio kompensaciją iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės);
- N6 M08 (įjungiamas TAS siurblys);
- N7 M98 P25971 (gręžimo paprogramės O25971 kvietimas ir vykdymas);
- N8 G55 (perėjimas į koordinačių sistemą G55);
- N9 M98 P25971 (gręžimo paprogramės O25971 kvietimas ir vykdymas);
- N10 G56 (perėjimas į koordinačių sistemą G56);
- N11 M98 P25971 (gręžimo paprogramės O25971 kvietimas ir vykdymas);
- N12 G57 (perėjimas į koordinačių sistemą G57);
- N13 M98 P25971 (gręžimo paprogramės O25971 kvietimas ir vykdymas);
- N14 G28 Z5.0 M09 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį, nutraukiamas TAS tiekimas);
- N15 G54 G00 X90.0 Y150.0 (pereinama į koordinačių sistemą G54, absoliučiosios koordinatės, stalas pagreitinai pozicionuojamas į patogesnę detalei išimti poziciją);
- N16 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

O25971

- (paprogramė skylių masyvui gręžti, absoliučiosios koordinatės);
- N1 G00 X-20.0 Y-30.0 (grąžto greitasis pozicionavimas XY plokštumoje virš 1-os skylės centro aktyvioje koordinačių sistemoje);
- N2 G99 G81 Z-10.0 R2.0 F250.0 (vykdomas ciklas taške X-20 Y-30 aktyvioje koordinačių sistemoje (1-a skylė), po ciklo įrankis grąžinamas į R poziciją);
- N3 X0.0 (ciklas atliekamas taške X0 Y-30 aktyvioje koordinačių sistemoje (2-a skylė));

- N4 X20.0 (3-ia skylė);
- N5 X40.0 Y-10.0 (4-a skylė);
- N6 Y10.0 (5-a skylė);
- N7 X20.0 Y30.0 (6-a skylė);
- N8 X0.0 (7-a skylė);
- N9 X-20.0 (8-a skylė);
- N10 X-40.0 Y10.0 (9-a skylė);
- N11 G98 Y-10.0 (10-a skylė, įrankis po ciklo gražinamas į pradinę Z poziciją);
- N12 G80 (atšaukiamas vidinis ciklas);
- N13 M99 (grįžimas į pagrindinę programą, ji bus vykdoma nuo kitos eilutės po paprogramės kvietimo);

Paprogramių privalumai būtų dar ryškesni, jeigu dar reikėtų įsriegti išgręžtas skylės arba išfrezuoti keturias kišenes, parodytas 12.1 pav. Tokiu atveju galėtų būti parengtos dar kitos paprogramės (sriegimo, frezavimo) ir iškvistos tam tikrose pagrindinės programos vietose.

Parametrai, kurie buvo nustatyti pagrindinėje programoje iki paprogramės iškvietimo (pavyzdžiui, suklio sūkiai, kryptis, koordinačių režimai G90/G91, koordinačių sistemos G54, G55 ir kiti modaliniai kodai), galioja ir paprogramėje. Jeigu režimai buvo keičiami paprogramėje (pvz., programos O25965 paprogramės O25970 pabaigoje, eilutėje N8 grįžtama į absoliučią koordinačių režimą G90) pasirinktas režimas galioja ir pagrindinėje programoje, grįžtant iš paprogramės į ją. Į pagrindinę programą O25966 pereis ir vidinio ciklo atšaukimo režimas kodu G80 po paprogramės O25971 N12 eilutės vykdymo. Tačiau jis galios tol, kol bus iškviesta paprogramė O25971 kitą kartą N9, N11 arba N13 eilutėje ir bus vykdoma jos N2 eilutė. Nuo paprogramės N2 eilutės iki N12 galios G81 vidinio ciklo režimas. N12 eilutėje jis bus atšauktas iki kito paprogramės iškvietimo. Tokiu atveju paprogramė gali būti nagrinėjama ir sudaroma kaip pagrindinės programos fragmentas.

Atkreipsime dėmesį, kad paprogramės gali būti kviečiamos iš pagrindinės programos, jokių būdu ne atvirkščiai. Įvykdžius paprogramę vykdoma pagrindinė programa nuo eilutės, esančios po paprogramės iškvietimo. Paprogramėse galima kviesti papildomas paprogrames. Iš šių paprogramių galima dar kviesti paprogrames iki tam tikro apibrėžto, nuo valdymo sistemos priklausančio lygių skaičiaus. Valdymo sistemoje paleidžiama tik pagrindinė programa, paprogramės gali būti tik redaguojamos, bet nepaleidžiamos mygtuku *Cycle Start*. Jos bus surastos valdymo įrenginio atmintyje ir paleistos iš pagrindinės programos sutikus programoje kodą M98. Nesuradus paprogramės atmintyje bus generuojama klaida, pagrindinės programos vykdymas bus sustabdytas.

Taigi paprogramės gali būti sėkmingai naudojamos pasikartojančiose pakopose, kurioms atlikti reikalingi pagal ilgį ir kryptį vienodi įrankių judesiai, o būtent:

1. Griovelių masyvų apdirbimas tekinimo staklėmis (jeigu nenaudojami vidiniai ciklai).

2. Išorinių sriegių sriegimas tekinimo staklėmis (jeigu nenaudojami vidiniai ciklai).
3. Skylių masyvų apdirbimas tekinimo, frezavimo staklėmis ir centrais (gręžimas, gilinimas, sriegimas, plėtimas, ištekinimas).
4. Vienodų kišenių (iškyšų) masyvų frezavimas.
5. Kartu su mastelio, veidrodinio atspindėjimo ir koordinacių plokštumos pasukimo funkcijomis frezavimo staklėse, kai reikia apdirbti ir užprogramuotą elementą, ir modifikuotą (pavyzdžiui, nepasuktą ir pasuktą).
6. Kelioms vienodoms, įtvirtintoms keliuose įtaisuose ant frezavimo staklių stalo detalėms apdirbti.
7. Įrankių grąžinimo į nulį ir greitojo pozicionavimo po keitimo judesiai.
8. Staklių išildymo programos.

Pateiktas sąrašas yra nevisas, jame pateikti tik labiausiai paplitę atvejai.

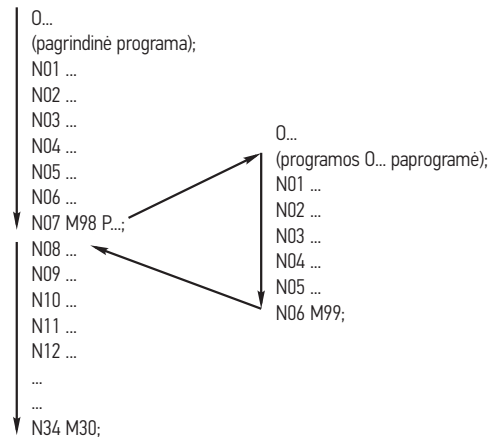
Iš pateikto sąrašo galima matyti, kad paprogramės dažniau naudojamos frezavimo staklėse negu tekinimo. Tekinimo staklėse dėl mažesnio valdomų ašių skaičiaus dauguma operacijų atliekama apsieinant vidiniais ciklais.

Iš anksčiau pateiktų programų skaitytojas jau turbūt suprato, kad paprogramės iškvietimo kodas yra M98. Jis dar turi būti papildytas bent vienu adresu P, kuris nurodo paprogramės numerį. Tai būtinas, tačiau ne vienintelis adresas, kuris gali būti naudojamas su šiuo M kodu. Visas M98 kodo formatas yra toks:

M98 P... L... (K...);

čia: P – paprogramės numerio adresas (pvz., paprogramei O04569 iškviešti bus P04569); L (K) – adresas, nurodantis, kiek kartų atlikti paprogramę (jeigu adresas L iš viso nenurodytas, paprogramė vykdoma vieną kartą (tai yra tas pats, kaip būtų nurodyta L1 arba K1)).

Paprogramė skiriasi nuo pagrindinės programos tuo, kad baigiasi kodu M99, o ne M30. M99 kodas grąžina programos vykdymą į pagrindinę programą, kuri pradeda vykdyti nuo kitos eilutės po eilutės su M98 (12.3 pav.). Kartais ir pagrindinės programos gali baigtis kodu M99 (pvz., dirbant su pakrovimo/iškrovimo robotais, strypo tiekimo įrenginiais, palečių keitikliais). Tokiu atveju grįžtama į programos pradžią ir programa pradeda vykdyti nuo pradžios nespaudžiant mygtuko *Cycle Start* (žr. 10 sk.).



12.3 pav. Pagrindinės programos ir paprogramės vykdymas nekartojant

Kodas M99 paprogramės pabaigoje taip pat gali būti papildomas adresu P, po kurio nurodomas pagrindinės programos eilutės, į kurią reikia grįžti, numeris. Paprogramės užbaigimas eilute M99 P10 12.3 pav. pavaizduotam atvejui reiškia, kad atlikus paprogramę pagrindinė programa bus vykdoma ne nuo kitos eilutės po kvietimo (N08 eilutės), bet nuo eilutės N10. Pagrindinės programos eilutės N08 ir N09 bus aplenktos.

Eilutė M98 P... L... (K...) gali būti sudaryta ne tik iš kodo M98 ir adresų P ir L (K). Joje gali būti užprogramuotos ir kitos komandos, pvz., G kodai, suklio sūkiai, pastūma, kompensacija ir pan. Eilutėje negalima naudoti tik kelių M kodų (tačiau taip būna ne visose valdymo sistemose). Pavyzdžiui, vykdant eilutę:

G00 X150.256 Y42.125 M98 P4569;

bus atliktas įrankio greitojo pozicionavimo judesys į nurodytą poziciją, paskui vykdoma paprogramė O4569, tačiau ne atvirkščiai, nors adresų išdėstymas galėtų būti ir toks:

M98 P4569 G00 X150.256 Y42.125;

Paprogramės atlikimų skaičius kai kuriose valdymo sistemose gali būti užprogramuotas nuo L0 iki L9999 (kai kuriose senesnėse valdymo sistemose iki 999), tam bet kuri adreso L reikšmė, skirtinga nuo L1, turi būti nurodyta. Kai kuriose „Fanuc“ firmos valdymo sistemose (0/16/18/20/21) nepripažįstami adresai L (K). Jose vieną kartą atliekamos paprogramės programuojamos tokia pat tvarka, pvz.:

M98 P2563;

Tačiau jeigu šią paprogramę reikia įvykdyti tris kartus, reikia nurodyti:

M98 P32563;

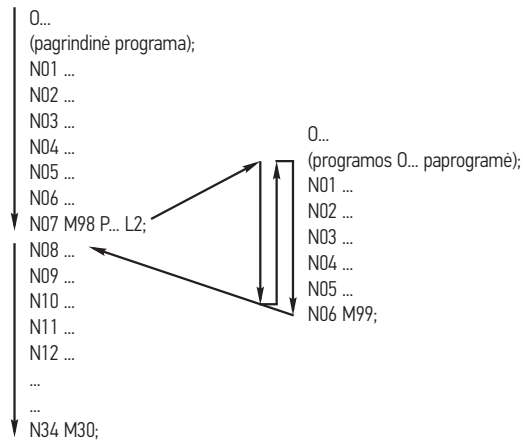
arba

M98 P00032563;

Pirmieji keturi skaičiai, esantys prieš paprogramės numerį, rezervuoti atlikimų skaičiui programuoti.

Programos ir paprogramės vykdymo schema, kai nurodytas tam tikras atlikimų skaičius, parodyta 12.4 pav.

Pakartoti paprogramę gali būti naudinga, apdirbant detalės elementus, išdėstytus vienodu žingsniu vienas nuo kito, arba, jeigu reikia frezuoti gilią kišenę arba aukštą iškyšą keliomis eigomis Z ašies kryptimi. Tokiu atveju paprogramės gale pereinama į prieaugių režimą, įrankis perstumiamas giliau ir paprogramė kartojama nuo pradžių, tačiau jau kitame – žemesniame Z gylyje. 12.4 pav. pateiktam atvejui, jeigu paprogramės eilutėse N01–N04 būtų užprogramuoti tam tikri pastūmos judesiai plokštumoje XY, o N05 eilutėje būtų užprogramuotas judesys Z (arba kitos ašies) kryptimi prieaugių režimu, pvz., N05 G91 Z-3.0, pirmą kartą vykdant paprogramę darbiniai judesiai XY plokštumoje būtų atlikti tame Z lygyje, kur įrankis buvo paliktas prieš kviečiant paprogramę kodu M98 (sakykime, Z-3). Vykdant paprogramės eilutę N05 įrankis



12.4 pav. Pagrindinės programos ir paprogramės vykdymo schema, kai paprogramė atliekama du kartus (L2)

pasitrauktų 3 mm giliau ir paprogramė būtų kartojama iš naujo, tačiau jau kitame Z lygyje ($Z-6$). Kiekvieną kartą kartojant paprogramę joje užprogramuoti įrankio judesiai pagal kitas koordinačių ašis būtų atliekami 3 mm žemiau negu prieš tai buvusioje pozicijoje pagal Z ašį. Čia reikia būti labai atsargiems, nes vykdant paprogramę paskutinį kartą, taip pat vyks įrankio poslinkis Z ašies kryptimi. Gerai, jei nesusidarys avarinė situacija arba nebus sugadinta detalė. Judesys Z (arba kitos) ašies kryptimi galėjo būti užprogramuotas ir paprogramės pradžioje, o ne pabaigoje. Šiuo atveju būtų saugiau. Tokių programų pavyzdžiai bus nagrinėjami toliau.

Taip pat galima naudoti ir nulines skaitiklio reikšmes ($L0/K0$). Tačiau jos naudojamos daugiau su vidiniais ciklais, o ne paprogramėmis. Jau minėjome apie tokią galimybę 11 skyriuje, kuriame buvo kalbama apie vidinius ciklus. Buvo sakoma, kad nurodžius adresą $L0$ vidinio ciklo eilutėje, ciklas bus aktyvuojamas, tačiau neatliekamas vykdant to ciklo eilutę. Tai gali būti naudinga programose su paprogramėmis ir vidiniais ciklais. Pateiksime pavyzdį. Sakykime, reikia įsriegti keturias skylės ruošinyje, pavaizduotame 12.5 pav. Prieš sriegiant skylės turi būti centruojamos ($G82$ ciklas), gręžiamos ($G81$ ciklas) ir tik paskui sriegiamos sriegikliu ($G84$ ciklas). Šie ciklai yra skirtingos sudėties pagal judesius, tačiau skylių centrų koordinatės centruojant, gręžiant ir sriegiant nesikeičia. Dėl to čia labai patogu naudoti paprogramę, kurioje apibrėžtos keturių skylių centrų koordinatės ir kviesti ją programoje tris kartus – vieną kartą, kai aktyvus ciklas $G82$, centruojant, kitą kartą, kai aktyvus gręžimo ciklas $G81$, gręžiant ir paskutinį kartą – kai aktyvus ciklas $G84$, sriegiant. Naudoti ciklą $G82$, $G83$, $G84$ vienoje paprogramėje negalima, nes kiekvieną kartą, kviečiant paprogramę, reikalingas vis kitas ciklas, todėl reikia sukurti arba tris skirtingas paprogrames (su ciklais $G81$, $G82$ ir $G84$), arba kviesti tą pačią paprogramę, kai reikiamas ciklas aktyvus.

- N16 M98 P2222 (kviečiama vykdyti paprogramė O2222);
 N17 G28 Z15.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal ašį Z);
 N18 T03 M06 (dešininis sriegiklis iš dėtuvės lizdo Nr. 3 įstatomas į suklij);
 N19 S450 M03 (sriegiklis pradeda sukstis apie savo ašį pagal laikrodžio rodyklę 450 sūk./min greičiu);
 N20 G00 X55.0 Y55.0 (įrankio ašis pagreitintai pozicionuojama virš apatinės kairiosios skylės ašies pagal X ir Y ašis);
 N21 G43 Z15.0 H03 (įrankis pagreitintai nuleidžiamas 15 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant ilgio kompensaciją iš 3-ios kompensacijų lentelės eilutės);
 N22 M08 (įjungiamas TAS siurblys);
 N23 G99 G84 R8.0 Z-26.0 F675.0 L0 (aktyvuojamas sriegimo ciklas, tačiau vykdant šią eilutę neatliekamas, jo parametrai įsimenami, o vykdymas atidedamas (L0));
 N24 M98 P2222 (kviečiama vykdyti paprogramė O2222);
 N25 G28 Z15.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal ašį Z);
 N26 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

O2222

(programos O45261 paprogramė);

- N1 X55.0 Y55.0 (atidėtas ciklas (G82, G81 arba G84, priklausomai nuo to, kurioje pagrindinės programos vietoje iškviesta paprogramė) vykdomas apatiniame kairiajame detalės kampe (12.5 pav.), įrankis liks R pozicijoje, nes nuo N7, N15 arba N23 eilutės galioja G99);
 N2 X205.0 (atidėtas ciklas (G82, G81 arba G84) vykdomas apatiniame dešiniajame detalės kampe (12.5 pav.));
 N3 X55.0 Y205.0 (atidėtas ciklas (G82, G81 arba G84) vykdomas viršutiniame kairiajame detalės kampe (12.5 pav.));
 N4 G98 X205.0 (atidėtas ciklas (G82, G81 arba G84) vykdomas viršutiniame dešiniajame detalės kampe (12.5 pav.), atlikus ciklą įrankis atitraukiamas į pradinę Z poziciją);
 N5 G80 M09 (atšaukti ciklą (G82, G81 arba G84), nutraukti TAS tiekimą į pjovimo zoną);
 N6 M99 (grįžti į pagrindinę programą O45261 į eilutę N9, N17 arba N25, esančią po eilutės, kurioje buvo iškviesta paprogramė);

Ciklai G82, G81 ir G84 vykdant eilutes N7, N15 ir N23 bus aktyvuojami. Jų parametrai bus įsimenami valdymo sistemos, bet jų vykdymas bus atidėtas iki programos eilutės, kurioje bus nurodytos kokios nors koordinatės. Koordinačių valdymo sistema neaptiks eilutėse N8, N16 ir N24, tačiau šios eilutės nukreips programos vykdymą į paprogramę O2222, kurios eilutėse N1–N4 nurodytos skylių centrų X ir Y koordinatės ciklui vykdyti.

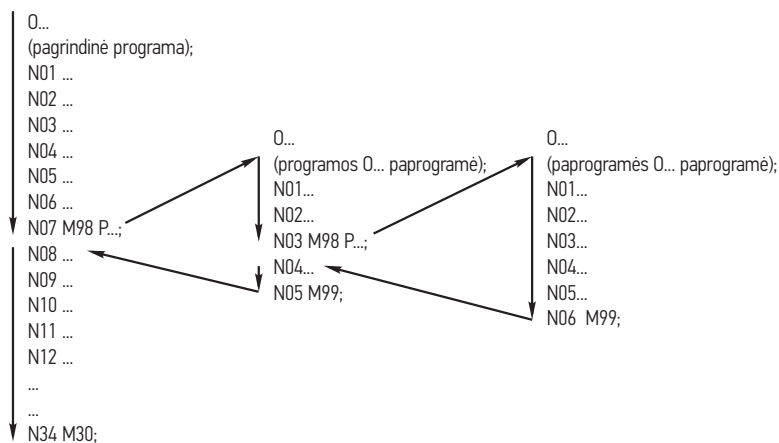
Jeigu pagrindinėje programoje O45261, eilutėse N7, N15 arba N23 vietoje L0 būtų nurodytas L1 (arba iš viso nebūtų jokio adreso L, kas yra tas pats kaip L1), skylė, kurios centro koordinatė X55 Y55, būtų centruota, išgręžta ir įsriegta du kartus – vieną kartą vykdant pagrindinės programos O45261 eilutę N7, N15 arba N23 ir iš karto po jos vykdant paprogramės eilutę N1. Jeigu pagrindinės programos O45261 eilutėse N7, N15 ir N23 būtų nurodytas adresas L1 (arba iš viso nenurodytas joks adresas L, kas yra tas pats kaip L1), o paprogramėje O2222 būtų ištrinta eilutė N1, skylė, kurios

koordinatė $X55 Y55$ bus centruota, gręžta ir sriegta tik vieną kartą – pagrindinėje programoje, o paprogramėje O2222 būtų apdirbamos likusios skylės. Todėl pateiktas pavyzdys su adresu L0 yra tik vienas iš variantų. Programuotojas turi teisę rinktis jam suprantamesnį ir prieinamesnį variantą. Į paprogramę O2222 galėjo būti įtraukta eilutė G28 Z15.0, kuri kartoja prieš keičiant įrankį po kiekvieno ciklo G82, G81 ir G84.

Kaip jau minėta, visos modalinės komandos (pvz., G90, G54, vidiniai ciklai, M08 ir pan.), nurodytos pagrindinėje programoje, taip pat galioja ir paprogramėje. Jeigu jų veikimas atšauktas paprogramėje (pvz., paprogramėje O2222 buvo atšauktas vidinis ciklas G80 ir išjungtas TAS siurblys kodu M09), grįžus į pagrindinę programą kodu M99, toliau galios paprogramėje atšaukti (arba įjungti) režimai. Tai yra viena pagrindinių taisyklių, kurias reikia žinoti taikant paprogrames.

Šiuolaikinėse valdymo sistemose kviešti paprogrames galima iki ketvirto lygio („Matrioškos“ principu). Tai reiškia, kad iš pagrindinės programos galima kviešti paprogramę, iš šios paprogramės galima kviešti kitą paprogramę, iš šios trečią, o iš jos – ketvirtą. Visos keturių lygių paprogramės retai kada gali būti naudojamos programose, tačiau ši galimybė yra. Paprogramių vykdymo seka šiais atvejais parodyta 12.6 pav.

Naudojant paprogrames reikia atsiminti, kad jos laikomos kartu su pagrindinėmis programomis ir jų numeriai (vardai) atvaizduojami viename stulpelyje programų peržiūrėjimo režimu. Tam, kad būtų paprasčiau išskirti jas iš pagrindinių programų, galima taikyti įvairius numeracijos metodus. Kai kurie programuotojai rašo programos komentarus (pvz., programos O... paprogramė). Kai kurie naudoja specialią numeraciją (pvz., pagrindinė programa O1000, o kviečiamos iš jos paprogramės turi vardus: O1001, O1002, O1003 ir pan.), kai kurie netgi slepia jas („Fanuc“ firmos valdymo sistemose vaizduoklyje galima neatvaizduoti programų, kurių numeriai prasideda skaičiumi 9, jeigu tai nustatyta vidiniais sistemos nustatymais).



12.6 pav. Dviejų lygių paprogramių vykdymo schema

12.2. Paprogramių naudojimo ypatumai „HAAS“ firmos valdymo sistemose

„HAAS“ firmos valdymo sistemose galima operuoti atskiromis paprogramėmis, kurios kviečiamos komanda M98 P... L... taip pat, kaip ir „Fanuc“ firmos sistemose. Be to, čia galima naudoti ir vadinamąsias lokalias paprogrames.

Lokalinė paprogramė yra ta pati paprogramė, tačiau tai ne atskira programa, turinti savo numerį (vardą) O..., o tiesiog eilutės pagrindinėje programoje, kurias valdymo sistema pradeda vykdyti, kai sutinka lokalinės paprogramės kvietimo kodą M97. Šios atskiros programos eilutės taip pat pasibaigia kodu M99, kuris grąžina vykdymą į kitą eilutę po kvietimo ir valdymo programa vėl vykdoma nuo jos. Dažniausiai paprogramės eilutės (pirma iš jų turi turėti numerį) išdėstomos po programos pabaigos kodo M30, tačiau ne visada. Formatas yra toks:

```
O...
(pagrindinė programa ...);
...;
...;
...;
M97 Pnn (lokalinės paprogramės kvietimas, programa vykdoma nuo eilutės Nnn);
...;
...;
...;
M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);
Nnn ... (pirma lokalinės paprogramės eilutė);
...;
... (lokalinė paprogramė);
...;
M99 (paprogramės pabaiga ir grįžimas į eilutę esančią po M97);
```

Galima lokalinės paprogramės eilutes išdėstyti iš karto po eilutės su M97 arba kitoje programos vietoje, ne po pabaigos kodo M30. Tačiau tokiu atveju reikia išvengti dvigubo programos eilučių vykdymo, nes, įvykdžius lokalinę paprogramę, programos vykdymas bus tęsiamas nuo kitos eilutės po eilutės su kodu M97. Tokiu atveju galima pasinaudoti kodo M99 adresu P..., kuris nurodo, nuo kokios programos eilutės reikia tęsti programą po paprogramės atlikimo. Tokiu atveju ankstesnį pavyzdį galima pateikti taip:

```
O...
(pagrindinė programa ...);
...;
...;
...;
```

M97 Pnn (lokalinės paprogramės kvietimas, programa vykdoma nuo eilutės Nnn);
Nnn ... (pirma lokalinės paprogramės eilutė);

...;

... (lokalinė paprogramė);

...;

M99 Pmm (lokalinės paprogramės pabaiga ir grįžimas į eilutę Nmm);

Nmm ...;

...;

... (pagrindinė programa);

...;

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

„HAAS“ firmos valdymo sistemose kodas M99 su adresu P... gali būti naudojamas ir pagrindinėje programoje pereiti nuo vienos eilutės iki kitos, to negalima daryti „Fanuc“ firmos sistemose. Todėl teisingas bus ir toks variantas:

O...

(pagrindinė programa ...);

...;

...;

...;

M97 Pnn (lokalinės paprogramės kvietimas, programa vykdoma nuo eilutės Nnn);

M99 Pmm (perėjimas į eilutę Nmm);

Nnn ... (pirma lokalinės paprogramės eilutė);

...;

... (lokalinė paprogramė);

...;

M99 (lokalinės paprogramės pabaiga ir grįžimas į eilutę po M97);

Nmm ... (pagrindinės programos tęsinys);

...;

... (pagrindinės programos tęsinys);

...;

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Kodo M97 formatas „HAAS“ firmos valdymo sistemose yra toks pat kaip ir M98. Taip pat galima nurodyti ir atlikimų skaičių adresu L, t. y.:

M97 P... L...;

M98 P... L...;

Skirtumas tarp šių eilučių yra tik vienas: vykdant kodą M97 sistema pereis į lokalinę paprogramę, t. y. į pagrindinės programos eilutę, nurodytą adresu P... (N...), ir pradės vykdyti eilutes nuo jos iki eilutės su M99. Vykdamas kodą M98 valdymo sistema pradės vykdyti atskirą paprogramę, kurios vardas nurodytas adresu P... (O...) ir vykdys ją iki kodo M99, paskui vėl pereis į pagrindinę programą.

Pavyzdžiui, užrašysime programą O45261 (12.5 pav.) su lokale paprograme.

O45261

(pagrindinė programa keturioms skylėms apdirbti);

N1 G17 G40 G80 G90 G54 (plokštuma XY, atšaukti frezos spindulio kompensaciją, atšaukti vidinį ciklą, absoliučiosios koordinatės, detalės koordinačių sistema G54);

N2 T01 M06 (centravimo grąžtas iš dėtuvės lizdo Nr. 1 įstatomas į suklij);

N3 S900 M03 (grąžtas pradeda sukstis apie savo ašį pagal laikrodžio rodyklę 900 sūk./min greičiu);

N4 G00 X55.0 Y55.0 (įrankio ašis pagreitintai pozicionuojama virš apatinės kairiosios skylės ašies pagal X ir Y ašis);

N5 G43 Z15.0 H01 (įrankis pagreitintai nuleidžiamas 15 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės);

N6 M08 (įjungiamas TAS siurblys);

N7 G99 G82 R2.0 Z-4.0 P500 F150.0 L0 (aktyvuojamas gręžimo su pauze ciklas, tačiau vykdant šią eilutę neatliekamas, jo vykdymas atidedamas (L0));

N8 M97 P100 (kviečiama vykdyti lokalinę paprogramę, prasidedanti nuo eilutės N100);

N9 G28 Z15.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal ašį Z per įrankio tašką Z15);

N10 T02 M06 (spiralinis grąžtas iš dėtuvės lizdo Nr. 2 įstatomas į suklij);

N11 S1050 M03 (grąžtas pradeda sukstis apie savo ašį pagal laikrodžio rodyklę 1050 sūk./min greičiu);

N12 G00 X55.0 Y55.0 (grąžto ašis pagreitintai pozicionuojama virš apatinės kairiosios skylės ašies pagal X ir Y ašis);

N13 G43 Z15.0 H02 (įrankis pagreitintai nuleidžiamas 15 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant ilgio kompensaciją iš 2-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės);

N14 M08 (įjungiamas TAS siurblys);

N15 G99 G81 R2.0 Z-24.0 F180.0 L0 (aktyvuojamas gręžimo ciklas, tačiau vykdant šią eilutę neatliekamas, jo vykdymas atidedamas (L0));

N16 M97 P100 (kviečiama vykdyti paprogramę, prasidedanti nuo eilutės N100);

N17 G28 Z15.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal ašį Z per įrankio tašką Z15);

N18 T03 M06 (sriegiklis iš dėtuvės lizdo Nr. 3 įstatomas į suklij);

N19 S450 M03 (sriegiklis pradeda sukstis apie savo ašį pagal laikrodžio rodyklę 450 sūk./min greičiu);

N20 G00 X55.0 Y55.0 (įrankio ašis pagreitintai pozicionuojama virš apatinės kairiosios skylės ašies pagal X ir Y ašis);

N21 G43 Z15.0 H03 (įrankis pagreitintai nuleidžiamas 15 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant ilgio kompensaciją iš 3-ios kompensacijų lentelės eilutės);

N22 M08 (įjungiamas TAS siurblys);

N23 G99 G84 R8.0 Z-26.0 F675.0 L0 (aktyvuojamas sriegimo ciklas, tačiau vykdant šią eilutę neatliekamas, jo įvykdymas atidedamas (L0));

N24 M97 P100 (kviečiama vykdyti lokalinę paprogramę, prasidedanti nuo eilutės N100);

N25 G28 Z15.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal ašį Z per įrankio tašką Z15);

N26 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

N100 (lokalinė programos O45261 paprogramė);
 N101 X55.0 Y55.0 (atidėtas ciklas (G82, G81 arba G84, priklausomai nuo to, kurioje pagrindinės programos vietoje iškviesta paprogramė) vykdomas apatiniame kairiajame detalės kampe (12.5 pav.);
 N102 X205.0 (atidėtas ciklas (G82, G81 arba G84) vykdomas apatiniame dešiniajame detalės kampe (12.5 pav.);
 N103 X55.0 Y205.0 (atidėtas ciklas (G82, G81 arba G84) vykdomas viršutiniame kairiajame detalės kampe (12.5 pav.);
 N104 G98 X205.0 (atidėtas ciklas (G82, G81 arba G84) vykdomas viršutiniame dešiniajame detalės kampe (12.5 pav.), atlikus ciklą įrankis atitraukiamas į pradinę Z poziciją);
 N105 G80 M09 (atšaukti ciklą (G82, G81 arba G84), nutraukti TAS tiekimą į pjovimo zoną);
 N106 M99 (grįžti į pagrindinę programą, į eilutę, esančią po tos, kurioje buvo iškviesta paprogramė kodu M97);

12.3. Programų su paprogramėmis pavyzdžiai

1-asis pavyzdys. Parengti programą žiediniam grioveliiui detalėje (12.7 pav.) frezuoti. Griovelio gylis – 9 mm, tačiau detalės medžiaga yra kieta ir negalima pjauti daugiau kaip 3 mm gyliu per vieną eigą. Dėl to reikia atlikti tris įrankio eigas kiekvieną kartą pagal Z ašį išigilinant po 3 mm. Įrankio judesio trajektorija XY plokštumoje kiekvieną kartą jam išigilinus Z ašies kryptimi lieka tokia pati. Čia paprogramės naudojimo pranašumai yra akivaizdūs. Šiame pavyzdyje naudosime ne tik paprogramę, bet ir galimybę kartoti paprogramę kelis kartus skaitiklio adresu L.

O10000

(žiedinio griovelio frezavimas keliomis eigomis);

G90 G54 G17 (absoliučiosios koordinatės, koordinacių sistema G54, plokštuma XY);

T01 M06 (centrinio pjovimo pirštinė freza, kurios skersmuo – 8 mm, iš dėtuvės lizdo Nr. 1 įstatoma į suklij);

S500 M03 (suklys paleidžiamas suktis pagal laikrodžio rodyklę 500 sūk./min greičiu);

G00 X100.0 Y100.0 (greitasis pozicionavimas virš griovelio pradinio taško – 1 (12.7 pav.);

G43 Z3.0 H01 (greitasis pozicionavimas pagal Z ašį 3 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės);

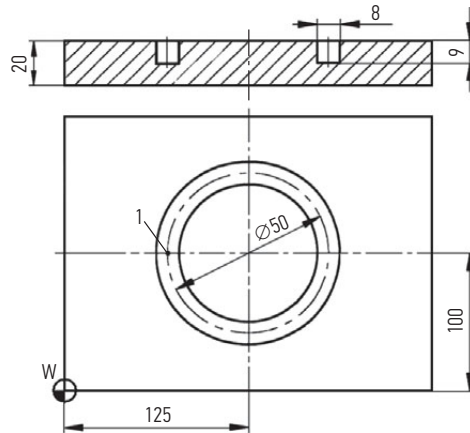
G01 Z0.0 F100.0 M08 (eiga pagal Z ašį į pradinį tašką Z0 su 100 mm/min pastūma, prieš judesį įjungiamas TAS siurblys);

M98 P10001 L3 (kviečiama paprogramė O10001, kuri bus įvykdyta tris kartus, ir bus išfrezuotas 9 mm gylio griovelis);

G00 Z3.0 M09 (greitasis įrankio atitraukimas 3 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos (Z0) pagal Z ašį, nutraukiamas TAS tiekimas į pjovimo zoną);

G28 Z3.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį per tašką Z3);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);



12.7 pav. Apdirbama detalė su žiediniu grioveliu

010001

(programos 010000 paprogramė);

G91 G01 Z-3.0 F30.0 (įgilinimas 3 mm gyliu priaugių režimu, pastūma – 30 mm/min);

G90 G02 I25.0 F60.0 (absoliučiosios koordinatės, apskritiminio griovelio frezavimas pagal laikrodžio rodyklę su 60 mm/min pastūma);

M99 (grįžimas į pagrindinės programos eilutę po M98);

Paprogramėje 010001 pirmoje eilutėje frezos įgilinimo pagal ašį Z judesys užprogramuotas priaugiais (G91). Tik šiuo atveju programa veiks tinkamai. Kiekvieną kartą kartojant paprogramę nuo pradžios, nuo einamojo taško freza judės 3 mm neigiamą Z ašies kryptimi, t. y. pirmoji apskritiminė eiga atliekama 3 mm gyliu nuo detalės paviršiaus (Z nulio, kuriame freza yra prieš kviečiant paprogramę), antroji – 6 mm ($-3 - 3 = -6$), trečioji – 9 mm ($-6 - 3 = -9$). Jeigu šis judesys būtų užprogramuotas absoliučiosiomis koordinatėmis (G90), pirma eilutė būtų tokia: G90 G01 Z-3.0 F30.0 arba tiesiog G01 Z-3.0 F30.0, griovelis būtų frezuojamas tris kartus viename gylyje –3 mm detalės koordinatinių sistemoje, du kartus freza „pjautų orą“, apdirbant jau išfrezuotą griovelį. Antroje paprogramės eilutėje pereinama į absoliučiąsias koordinatas, todėl į pagrindinę programą bus grįžtama jau absoliučiuųjų koordinatinių režimu.

2-asis pavyzdys. Parengti programą 30×20 skylių masyvui (12.8 pav.) gręžti naudojant paprogramę ir be jos. Skylių skersmuo – 3 mm, atstumas tarp jų centrų X ašies kryptimi (X žingsnis) – 5 mm, o Y ašies kryptimi (Y žingsnis) – 6 mm. Programa ir paprogramė atrodys taip:

056981

(pagrindinė programa 30×20 skylių masyvui gręžti);

G90 G54 (absoliučiosios koordinatės, detalės koordinatinių sistema G54);

T01 M06 (3 mm skersmens spiralinis grąžtas iš dėtuvės lizdo Nr. 1 įstatomas į suklij);

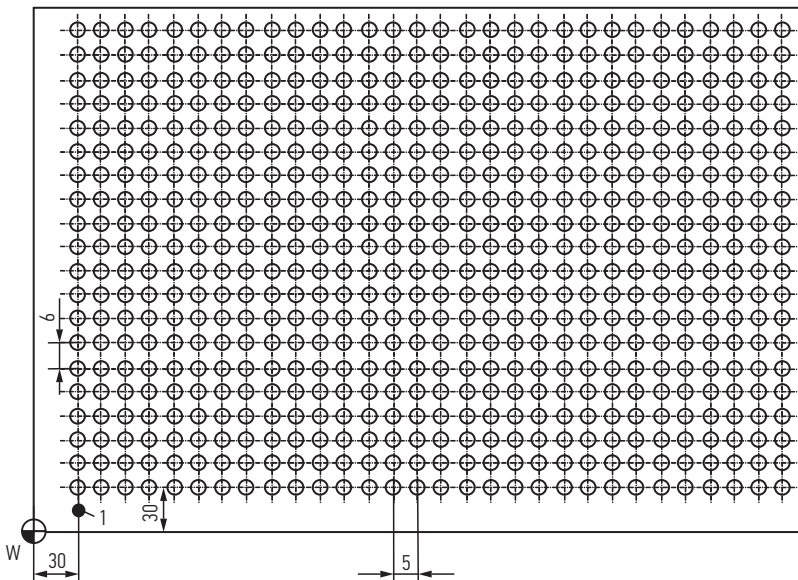
S1000 M03 (suklys paleidžiamas suktytis pagal laikrodžio rodyklę 1000 sūk./min greičiu);
 G00 X30.0 Y24.0 (greitasis įrankio ašies pozicionavimas virš pradinio taško 1 (12.8 pav.));
 G43 Z8.0 H01 M08 (greitasis grąžto pozicionavimas pagal Z ašį 8 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės, įjungiamas TAS siurblys);
 G99 G81 R2.0 Z-7.0 F75.0 L0 (aktyvuojamas gręžimo ciklas G81, tačiau dar nepritaikomas (L0));
 M98 P56982 L10 (išskviečiama paprogramė 056982, kuri bus atlikta 10 kartų);
 G90 G80 (absoliučiosios koordinatės, atšaukti vidinį ciklą);
 G00 Z8.0 M09 (greitasis įrankio atitraukimas nuo paviršiaus 8 mm aukščiau detalės Z nulio);
 G28 Z8.0 (suklio galvutė sugrąžinama į staklių nulį per įrankio tašką Z8);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

056982

(programos 056981 paprogramė);

N1 G91 Y6.0 (gręžti arčiausiai nuo detalės nulio išdėstytą naujos eilės skylių);
 N2 X5.0 L29 (gręžti 29 skylių eilę teigiamąja X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);
 N3 Y6.0 (gręžti labiausiai nutolusią nuo detalės nulio naujos eilės skylių);
 N4 X-5.0 L29 (gręžti 29 skylių eilę neigiamąja X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);
 N5 M99 (grįžti į pagrindinę programą, į kitą eilutę po eilutės su M98 kodu);

Kiekvieną kartą, vykdant paprogramę 056982, bus išgręžtos dvi 30-ies skylių eilės X ašies kryptimi, nutolusios viena nuo kitos 6 mm pagal Y ašį. Kad paprogramė veiktų teisingai, prieš atliekant gręžimo ciklą, įrankis pozicionuojamas taške 1 (12.8 pav.),



12.8 pav. Apdirbama detalė su skylių masyvu 30×20

kurio Y koordinatė yra 24, o ne 30 mm. Pirmą kartą vykdant pirmąją (N1) paprogramės eilutę, pirmoji skylė bus gręžiama 6 mm toliau nuo taško 1 pagal Y ašį prieaugių režimu, t. y. taške X30 Y30. Toliau bus gręžiama eilė iš 29 skylių 5 mm žingsniu pagal X ašį. Tokiu būdu bus išgręžta pirmoji skylių eilė. Toliau vykdant paprogramę įrankis pasislinks 6 mm atstumu pagal Y ašį ir bus išgręžta pirmoji 2-os eilės skylė nuo kito detalės krašto. Toliau bus gręžiamos likusios 29 antros eilės skylės judant neigiamąja X ašies kryptimi. Įvykdžius paprogramę vieną kartą įrankis atsidurs pozicijoje X30 Y36 absoliučiąjų koordinatinių sistemoje. Atliekant paprogramę antrą kartą įrankis vėl pajudės 6 mm teigiamąja Y ašies kryptimi (Y42) ir pradės 3-ią skylių eilę nuo apačios, išgręš likusias 29 skyles judant teigiamąja X ašies kryptimi, persistums 6 mm Y ašies kryptimi ir gręš 4-ą eilę nuo kito detalės krašto. Tokiu būdu atliekant paprogramę 10 kartų bus išgręžtos visos 20 skylių eilės.

Galima įsivaizduoti, kiek užtruktų programos rengimas, jeigu nenaudotume paprogramės, o tik vidinį ciklą G81. Dirbant absoliučiąjų koordinatinių režimu reikėtų nurodyti visų 600 skylių centrų koordinates. Tam reikėtų 600 eilučių. Sumažinti programos eilučių skaičių galima būtų naudojant ciklą G81 prieaugių režimu (tiksliau, naudojant vidinio ciklo skaitiklio adresą L). Tam reikėtų tokios programos:

056983

(programa 30×20 skylių masyvui gręžti be paprogramės);

G90 G54 (absoliučiosios koordinatės, detalės koordinatinių sistema G54);

T01 M06 (3 mm skersmens spiralinis grąžtas iš dėtuvės lizdo Nr. 1 įstatomas į sukli);

S1000 M03 (suklys paleidžiamas sukis pagal laikrodžio rodyklę 1000 sūk./min greičiu);

G00 X30.0 Y30.0 (greitasis įrankio ašies pozicionavimas virš arčiausiai detalės nulio esančios skylės ašies (12.8 pav.));

G43 Z8.0 H01 M08 (greitasis pozicionavimas pagal Z ašį 8 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės, paleidžiamas TAS siurblys);

G99 G81 R2.0 Z-7.0 F75.0 (ciklas G81 atliekamas taške X30 Y30);

G91 X5.0 L29 (gręžti pirmąją 29 skylių eilę (nuo apačios) teigiamąja X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);

Y6.0 (gręžti labiausiai nutolusią nuo detalės nulio 2-os nuo apačios eilės skylę);

X-5.0 L29 (gręžti likusias 2-os eilės 29 skyles neigiamąja X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);

Y6.0 (gręžti arčiausią nuo detalės nulio 3-ios eilės skylę);

X5.0 L29 (gręžti likusias 3-ios eilės 29 skyles teigiamąja X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);

Y6.0 (gręžti labiausiai nutolusią nuo detalės nulio 4-os eilės skylę);

X-5.0 L29 (gręžti likusias 4-os eilės 29 skyles neigiamąja X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);

Y6.0 (gręžti arčiausią nuo detalės nulio 5-os eilės skylę);

X5.0 L29 (gręžti likusias 5-os eilės 29 skyles teigiamąja X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);

Y6.0 (gręžti labiausiai nutolusią nuo detalės nulio 6-os eilės skylę);

X-5.0 L29 (gręžti likusias 6-os eilės 29 skyles neigiamąja X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);

Y6.0 (gręžti arčiausią nuo detalės nulio 7-os eilės skylę);

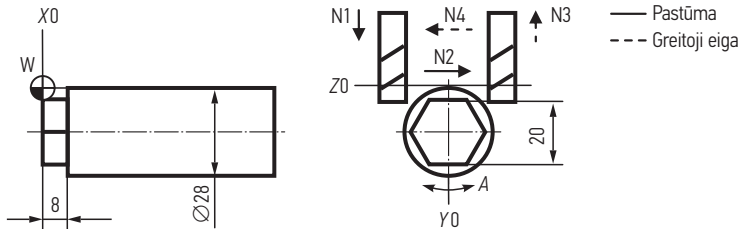
X5.0 L29 (gręžti likusias 7-os eilės 29 skyles teigiamąja X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);

Y6.0 (gręžti labiausiai nutolusią nuo detalės nulio 8-os eilės skylę);
 X-5.0 L29 (gręžti likusias 8-os eilės 29 skylės neigiamą X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);
 Y6.0 (gręžti arčiausią nuo detalės nulio 9-os eilės skylę);
 X5.0 L29 (gręžti likusias 9-os eilės 29 skylės teigiamą X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);
 Y6.0 (gręžti labiausiai nutolusią nuo detalės nulio 10-os eilės skylę);
 X-5.0 L29 (gręžti likusias 10-os eilės 29 skylės neigiamą X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);
 Y6.0 (gręžti arčiausią nuo detalės nulio 11-os eilės skylę);
 X5.0 L29 (gręžti likusias 11-os eilės 29 skylės teigiamą X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);
 Y6.0 (gręžti labiausiai nutolusią nuo detalės nulio 12-os eilės skylę);
 X-5.0 L29 (gręžti likusias 12-os eilės 29 skylės neigiamą X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);
 Y6.0 (gręžti arčiausią nuo detalės nulio 13-os eilės skylę);
 X5.0 L29 (gręžti likusias 13-os eilės 29 skylės teigiamą X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);
 Y6.0 (gręžti labiausiai nutolusią nuo detalės nulio 14-os eilės skylę);
 X-5.0 L29 (gręžti likusias 14-os eilės 29 skylės neigiamą X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);
 Y6.0 (gręžti arčiausią nuo detalės nulio 15-os eilės skylę);
 X5.0 L29 (gręžti likusias 15-os eilės 29 skylės teigiamą X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);
 Y6.0 (gręžti labiausiai nutolusią nuo detalės nulio 16-os eilės skylę);
 X-5.0 L29 (gręžti likusias 16-os eilės 29 skylės neigiamą X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);
 Y6.0 (gręžti arčiausią nuo detalės nulio 17-os eilės skylę);
 X5.0 L29 (gręžti likusias 17-os eilės 29 skylės teigiamą X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);
 Y6.0 (gręžti labiausiai nutolusią nuo detalės nulio 18-os eilės skylę);
 X-5.0 L29 (gręžti likusias 18-os eilės 29 skylės neigiamą X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);
 Y6.0 (gręžti arčiausią nuo detalės nulio 19-os eilės skylę);
 X5.0 L29 (gręžti likusias 19-os eilės 29 skylės teigiamą X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);
 Y6.0 (gręžti labiausiai nutolusią nuo detalės nulio 20-os eilės skylę);
 X-5.0 L29 (gręžti likusias 20-os eilės 29 skylės neigiamą X ašies kryptimi 5 mm žingsniu);
 G90 G80 (absoliučiosios koordinatės, atšaukti vidinį ciklą);
 G00 Z8.0 M09 (greitasis įrankio atitraukimas nuo paviršiaus 8 mm aukščiau detalės Z nulio);
 G28 Z8.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį per įrankio tašką Z8);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Tokia programa taip pat yra gana ilgoka, joje yra daug pasikartojančių eilučių. Naudojant mainų sritį (*Clipboard*) ir komandas „Kopijuoti“ (*Copy*), „Įterpti“ (*Paste*) nesunku būtų surinkti ir tokią programą, tačiau niekas neabejos, kad pats trumpiausias užrašymas gaunamas tada, kai naudojama paprogramė.

Pažymėtina, kad programa, nepriklausomai nuo užrašymo, bus vykdoma apie 80 min. Vien tik norint išgręžti 9 mm ilgio (7 mm gylis + 2 mm atstumas nuo Z0 iki R pozicijos) 600 skylių su 75 mm/min pastūma, reikia sugaišti 72 min mašininio laiko, neskaitant laiko įrankiui pagreitinant perkelti tarp skylių centrų ($T_{mas} = ((7 + 2)/75) \times 600 = 72 \text{ min}$).

3-iasis pavyzdys. Parengti programą šešiakampiui frezuoti „HAAS“ firmos frezavimo staklėmis su dalijimo galvute „HAAS“ HA5C (4-a ašis A). Detalės eskizas pateiktas 12.9 pav.



12.9 pav. Pagal programą O00060 apdirbama detalė su šešiakampiu galiniu paviršiumi (kairėje) ir įrankio bei ruošinio judesiai (dešinėje): N1–N4 paprogramės eilutės, kuriose užprogramuoti judesiai

O00060

(šešiakampio frezavimo programa);

G90 G54 (absoliučiosios koordinatės, detalės koordinačių sistema G54);

T1 M06 (12 mm skersmens pirštinė freza iš dėtuvės lizdo Nr. 1 įstatoma į sukli);

S1200 M03 (suklys paleidžiamas suktis pagal laikrodžio rodyklę 1200 sūk./min greičiu);

G00 X-2.0 Y-18.0 A0 (greitasis įrankio pozicionavimas į pradinę poziciją, dalijimo galvutės suklys su detalė pasukamas į pradinę kampinę padėtį);

G43 Z2.0 H01 M08 (greitasis įrankio pozicionavimas pagal Z ašį 8 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės, paleidžiamas TAS siurblys);

M98 P00061 L6 (paleisti paprogramę O00061 šešis kartus);

M09 (išjungti TAS siurbli);

G28 Z2.0 (suklio galvutė sugrąžinama į staklių nulį pagal Z ašį per įrankio tašką Z2);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

O00061

(paprogramė šešiakampiui frezuoti);

N1 G90 G01 Z-4.0 F100.0 (absoliučiosios koordinatės, nuleisti įrankį į darbinį gylį – 4 mm gilny prie detalės ašies nuo šoninio detalės paviršiaus liestinės (Z0), judesys parodytas 12.9 pav., dešinėje);

N2 Y18.0 (frezuojama šešiakampio briauna su 100 mm/min pastūma);

N3 G00 Z2.0 (įrankis pagreitintai atitraukiamas į saugų atstumą nuo šoninio detalės paviršiaus);

N4 Y-18.0 (įrankis pagreitintai grąžinamas į pradinę padėtį XY plokštumoje);

N5 G91 A60.0 (dalijimo galvutės suklys pasukamas 60° kampu nuo esamos kampinės pozicijos (prieaugių režimas G91));

M99 (grįžti į pagrindinę programą, į kitą eilutę po M98 eilutės);

4-asis pavyzdys. Klasikinis paprogramių pritaikymo atvejis. Parengti programą šešioms vienodoms detalėms, įtvirtintoms skirtinguose tvirtinimo įtaisuose (9.3 pav.) apdirbti. Kiekvienoje detalėje reikia išgręžti keturias skylės, išdėstytas 20 mm spinduliu nuo detalės ašies ir 90° kampu viena nuo kitos, t. y. kiekviename kvadranto taške. Šiam atvejui patogu nustatyti šešias skirtingas koordinačių sistemas, po vieną kiekvienai detalėi, t. y. išnaudoti G54–G59 kompensacijų lentelės eilutes.

006000

(šešios detalės ant staklių stalo įtvirtintos šešiuose spaustuvoose);

G90 G54 (absoliučiosios koordinatės, detalės koordinačių sistema G54);

T1 M06 (spiralinis grąžtas iš dėtuvės lizdo Nr. 1 įstatomas į suklij);

S950 M03 (suklys paleidžiamas suktais pagal laikrodžio rodyklę 950 sūk./min greičiu);

G00 X0.0 Y0.0 (įrankis pagreitinai pozicionuojamas virš viršutiniame kairiajame stalo kampe esančios detalės ašies (koordinačių sistema G54, X0 Y0));

G43 Z5.0 H01 M08 (greitasis įrankio galo pozicionavimas pagal Z ašį 5 mm aukščiau detalių Z nulio (detalės yra vienodo aukščio) pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės, paleidžiamas TAS siurblys);

M98 P06001 (paleidžiama paprogramė 006001);

G55 (pereinama į detalės koordinačių sistemą G55);

M98 P06001 (paleidžiama paprogramė 006001);

G56 (pereinama į detalės koordinačių sistemą G56);

M98 P06001 (paleidžiama paprogramė 006001);

G57 (pereinama į detalės koordinačių sistemą G57);

M98 P06001 (paleidžiama paprogramė 006001);

G58 (pereinama į detalės koordinačių sistemą G58);

M98 P06001 (paleidžiama paprogramė 006001);

G59 (pereinama į detalės koordinačių sistemą G59);

M98 P06001 (paleidžiama paprogramė 006001);

M09 (išjungiamas TAS siurblys);

G80 G28 Z5.0 (ciklo atšaukimas, suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį per paskutinį užprogramuotą įrankio tašką Z5);

G58 G00 X0.0 Y0.0 (stalas pagreitinai pozicionuojamas į patogesnę detalėms nuimti poziciją, tam pereinama į vidurinės detalės koordinačių sistemą G58);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

006001

(paprogramė skylėms gręžti);

G99 G81 X20.0 Y0.0 Z-7.0 R2.0 F150.0 (ciklas 1-ai skylėi gręžti);

X0.0 Y20.0 (ciklas 2-ai skylėi gręžti);

X-20.0 Y0.0 (ciklas 3-iai skylėi gręžti);

G98 X0.0 Y-20.0 (ciklas 4-ai skylėi gręžti, įrankis po ciklo grąžinamas į pradinę Z poziciją Z5);

G80 (atšaukti vidinį ciklą G81);

M99 (grįžti į pagrindinę programą, į kitą eilutę po eilutės su M98 kodu);

Prieš paleidžiant šią programą pirmą kartą į kompensacijų lentelę turi būti įrašyti atstumai nuo staklių nulio iki detalės koordinačių sistemų G54–G59 pradžių. Naudoti skirtingas koordinačių sistemas yra kur kas patogiau negu dirbti vienoje (pavyzdžiui, G54). Tokiu atveju nereikia tiksliai matuoti atstumų tarp atskirų detalių centrų. Be to, spaustuvių ant staklių stalo ir detalių juose padėtis plokštumoje XY gali būti keičiama. Dėl to nereikia taisyti programos, o pakanka tik nurodyti atstumus nuo staklių nulio iki naujos koordinačių sistemos G54–G59 pradžios.

5-asis pavyzdys. Paruošti programą 8 mm pločio ir 5 mm gylio kiauriams grioveliams detalėje frezuoti (12.10 pav.) „HAAS“ firmos frezavimo staklėmis. Tokiems grioveliams frezuoti naudosime koordinatinių plokštumos pasukimo kodą G68 ir paprogramę, kurioje aprašomi įrankio judesiai. Programa ir paprogramė atrodo taip:

000680

(programa grioveliams frezuoti);

G90 G54 G17 (absoliučiosios koordinatės, detalės koordinatinių sistema G54, plokštuma XY);

T01 M06 (8 mm skersmens centrinio pjovimo pirštinė freza iš dėtuvės lizdo Nr. 1 įstatoma į sukli);

S850 M03 (suklys paleidžiamas sukty pagal laikrodžio rodyklę 850 suk./min greičiu);

G00 X0.0 Y0.0 (greitasis įrankio pozicionavimas virš detalės nulio XY plokštumoje);

G43 Z2.0 H01 (greitasis frezos galo pozicionavimas pagal Z ašį 2 mm aukščiau detalės Z nulio (viršutinės plokštumos) pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės);

M98 P00691 (paprogramės 000691 iškvietimas 1-am grioveliui frezuoti, koordinatinių plokštuma dar neparasakta, paprogramėje nurodytos koordinatės nebus perskaičiuojamos);

G00 X0.0 Y0.0 (greitasis frezos pozicionavimas virš detalės nulio XY plokštumoje);

G68 R135.0 (koordinatinių plokštumos XY pasukimas prieš laikrodžio rodyklę 135° kampu nuo nulinės padėties (aktyvus G90) taško X0 Y0 atžvilgiu);

M98 P00691 (paprogramės 000691 iškvietimas 2-am grioveliui frezuoti, X ir Y koordinatės paprogramėje jau bus perskaičiuotos, įvertinant koordinatinių plokštumos pasukimo kampą 135°);

G00 X0.0 Y0.0 (greitasis frezos pozicionavimas virš detalės nulio XY plokštumoje);

G68 R225.0 (koordinatinių plokštumos XY pasukimas prieš laikrodžio rodyklę 225° kampu nuo nulinės padėties (aktyvus G90) taško X0 Y0 atžvilgiu);

M98 P00691 (paprogramės 000691 iškvietimas 3-iam grioveliui frezuoti, XY koordinatės paprogramėje bus perskaičiuotos, įvertinant koordinatinių plokštumos pasukimo kampą 225°);

G69 (atšaukti pasukimo režimą);

G00 X0.0 Y0.0 (greitasis frezos pozicionavimas virš detalės nulio XY plokštumoje);

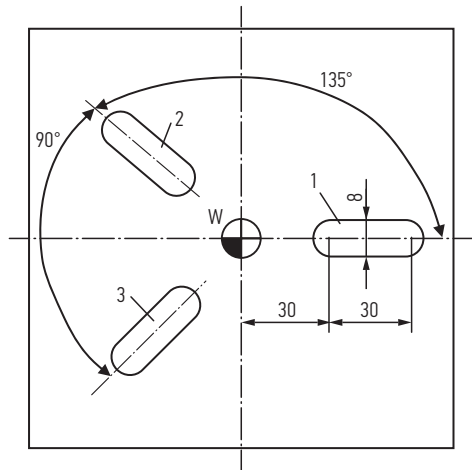
G28 Z2.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal ašį Z);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

000691

(paprogramė grioveliui frezuoti);

G00 X30.0 Y0.0 (greitasis frezos ašies pozicionavimas virš griovelio pradžios taško);



12.10 pav. Apdirbama detalė su kiaurais grioveliais

G01 Z-6.0 F80.0 M08 (įrankio įsijovimas su 80 mm/min pastūma, TAS siurblio įjungimas);
 X60.0 F180.0 (judesys griovelio galo link su 180 mm/min pastūma);
 G00 Z2.0 M09 (greitasis įrankio atitraukimas į tašką Z2, TAS siurblio išjungimas);
 M99 (grįžti į pagrindinę programą į kitą eilutę po M98 eilutės);

6-asis pavyzdys. Parengti programą 12 mm gylio skylėms 10.32 pav. pavaizduotoje detalėje išgręžti „HAAS“ firmos tekinimo centru su įrankių pavara. 11 skyriuje tokios detalės apdirbimo programa jau buvo parengta (11.3.3 skirsnis, ciklo G81 2-asis pavyzdys), tačiau joje nenaudotos paprogramės. Dabar pabandysime panaudoti ne tik ciklą, bet ir paprogramę.

000030

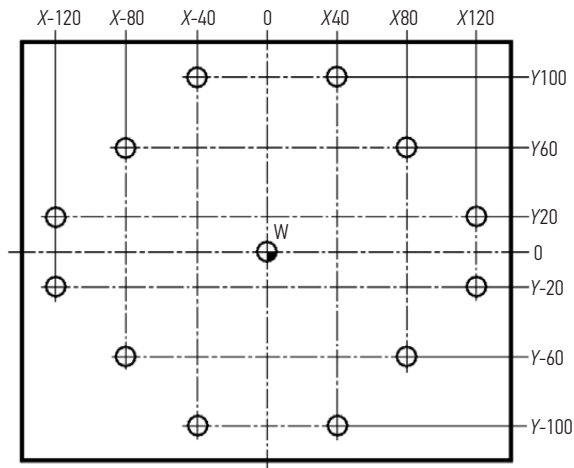
(trijų skylių (10.32 pav.) gręžimo besisukančiu grąžtu programa su paprograme);
 M154 (sujungti C ašies variklį);
 G28 U0.0 W0.0 G98 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį iš paskutinės pozicijos, pastūmos vienetai – mm/min);
 T0202 (pasirenkamas spiralinis grąžtas, kurio lizdo galvutėje numeris – 2);
 M133 P1200 (grąžtui suteikiamas sukimo judesys apie savo ašį pagal laikrodžio rodyklę, 1200 sūk./min greičiu);
 G00 C0.0 (pagrindinį suklį pagreitintai pasukti į nulinę poziciją);
 X26.0 Z5.0 M08 (greitasis įrankio pozicionavimas prie skylės centro, paleidžiamas TAS siurblys);
 M98 P00031 L3 (iškviečiama ir tris kartus atliekama paprogramė 000031);
 G00 Z50.0 M09 (įrankis atitraukiamas nuo detalės galo, sustabdomas TAS siurblys);
 M15 (atleidžiamas hidraulinis stabdys);
 M135 (sustabdomas įrankio variklis);
 G28 (revolverinė galvutė grąžinama į nulį);
 M155 (atjungiamas C ašies variklis);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

000031

(paprogramė skylėms gręžti);
 M14 (pagrindinį suklį užspausti stabdžiu);
 G04 P1.0 (paузė stabdžio mechanizmui stabilizuoti);
 G81 Z-12.0 R2.0 F75.0 (vidinis gręžimo ciklas paskutinėje pozicijoje, pastūma – 75 mm/min);
 G00 H120.0 (suklį pasukti 120° kampu prieaugių režimu, suklio stabdys bus atleistas automatiškai);
 G04 P2.0 (2 sekundžių paузė, kad spėtų pasisukti suklys);
 M99 (grįžti į pagrindinę programą, į kitą eilutę po M98 eilutės);

Pažymėtina, kad tekinimo staklių programavimo praktikoje paprogramės naudojamos kur kas rečiau negu frezavimo. Tekinimo staklėse dėl mažesnio valdomų ašių skaičiaus vietoje paprogramių daugiau naudojami vidiniai ciklai, kaip matyti iš 11 skyriaus pavyzdžių. Taip yra todėl, kad reikšmingai sutaupyti programos eilučių skaičių naudojant paprogrames labai pavyksta.

7-asis pavyzdys. Parengti programą 12.11 pav. pavaizduotai detalei apdirbti (skylėms gręžti). Iš 12.11 pav. matoma, kad skylių koordinatės detalės koordinatinių sistemoje yra tos pačios, tik skirtingo ženklo. Vienas iš variantų – parašyti programą (tiksliau, paprogramę) tik trimis skylėms, esančioms I kvadrante, gręžti. Toliau, pritaikant veidrodinio atspindėjimo režimą apie atitinkamą ašį arba ašis, tris kartus kviesti šią paprogramę ir tokiu būdu išgręžti likusias devynias skylės. Programa su paprograme pateikta toliau.



12.11 pav. Apdirbama pagal O32564 programą detalė (Smid 2003)

O32564

(pagrindinė programa skylių masyvui (12.11 pav.) gręžti);

N05 T01 M06 (spiralinis grąžtas iš dėtuvės lizdo Nr. 1 įstatomas į suklij);

N10 G21 G17 G40 G90 (metrinė sistema, plokštuma XY, spindulio kompensacijos režimo atšaukimas, absoliučiosios koordinatės);

N15 M23 (atšaukti veidrodinio atspindėjimo režimą, jei jis aktyvus);

N20 G54 G00 X0.0 Y0.0 (detalės koordinatinių sistema G54, greitis įrankio pozicionavimas koordinatinių sistemos pradžioje X0 Y0);

N25 S1200 M03 (suklio sūkiai – 1200 sūk./min, suklys paleidžiamas sukty pagal laikrodžio rodyklę);

N30 G43 Z8.0 H01 M08 (įrankis pagreitintai pozicionuojamas 8 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos (Z0), pritaikant įrankio ilgio kompensaciją iš 1-os (H01) kompensacijų lentelės eilutės, įjungiamas aušinimas);

N35 M98 P52365 (paprogramės O52365, kurios vykdymo metu bus išgręžtos trys skylės I koordinatinės plokštumos kvadrante, iškvietimas);

N40 M21 (įjungiamas veidrodinio atspindėjimo išilgai X ašies režimas);

N45 M98 P52365 (paprogramės O52365, kurios vykdymo metu bus išgręžtos trys skylės II koordinatinės plokštumos kvadrante, iškvietimas);

N50 M22 (įjungiamas veidrodinio atspindėjimo išilgai Y ašies režimas, tačiau lieka aktyvus ir M21);

N55 M98 P52365 (paprogramės 052365, kurios vykdymo metu bus išgręžtos trys skylės III koordinatinės plokštumos kvadrante (aktyvūs ir M21, ir M22), iškvietimas);

N60 M23 (veidrodinio atspindėjimo režimo atšaukimas);

N65 M22 (įjungiamas veidrodinio atspindėjimo išilgai Y ašies režimas, tačiau M21 yra išjungtas);

N70 M98 P52365 (paprogramės 052365, kurios vykdymo metu bus išgręžtos trys skylės IV koordinatinės plokštumos kvadrante (aktyvus tik M22), iškvietimas);

N75 M23 (veidrodinio atspindėjimo režimo atšaukimas);

N80 G28 Z8.0 M09 (grįžimas į staklių nulį, aušinimo išjungimas);

N85 M30 (programos pabaiga);

052365

(paprogramė trims skylėms gręžti);

N1 G00 X120.0 Y20.0 (įrankio pozicionavimas virš labiausiai nutolusios pagal X ašį nuo detalės nulio skylės ašies);

N2 G99 G81 R1.0 Z-10.0 F150.0 (gręžimo ciklas pritaikomas esamoje įrankio pozicijoje su 150 mm/min pastūma, įrankis po ciklo lieka atitraukimo pozicijoje);

N3 X80.0 Y60.0 (ciklas atliekamas taške X80 Y60 arba X-80 Y60, arba X-80 Y-60, arba X80 Y-60, priklausomai nuo to, išilgai kokios ašies (ašių) vykdomas veidrodinis koordinatinių atspindėjimas);

N4 G98 X40.0 Y100.0 (gręžiama paskutinė, arčiausiai detalės nulio pagal X ašį esanti skylė, įrankis po ciklo lieka pradinėje Z pozicijoje Z8);

N5 G00 X0.0 Y0.0 (atšaukiamas vidinis ciklas, įrankis pagreitintai pozicionuojamas detalės nulyje pagal X ir Y ašis);

N6 M99 (grįžimas į pagrindinę programą);

8-asis pavyzdys. Parašyti programą 12.12 pav. pavaizduotai detalei apdirbti, o būtent frezuoti dvi simetriškai išdėstytas kišenės. Programą parengsime „HAAS“ firmos staklėms. Kišenėms frezuoti naudosime kišenių frezavimo ciklą G150. Parengsime paprogramę ir, įvertinę kitos kišenės simetriškumą pasirinkto nulio ir detalės simetrijos plokštumos atžvilgiu, šią paprogramę kviesime pritaikydami ir nepritaikydami veidrodinio atspindėjimo režimą išilgai X ašies. Kišenės gylį ir kitas apdirbimo sąlygas paliksime tokius pat kaip ir programoje O01501 (11.22 pav.).

O01503

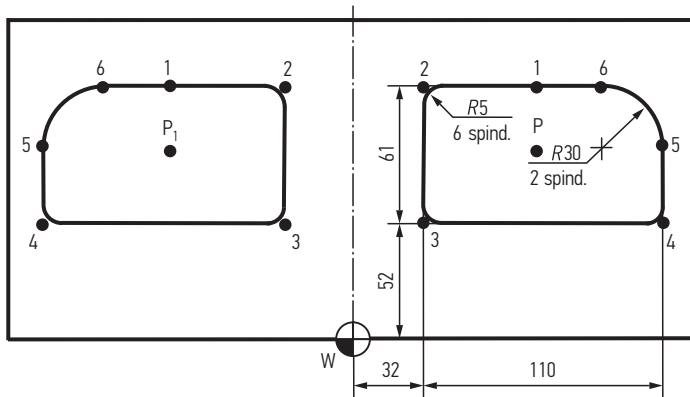
(kišenių 12.12 pav. frezavimo programa);

G17 G54 G90 (plokštuma XY, koordinatinių sistema G54, absoliučiosios koordinatės);

T02 M06 (10 mm skersmens pirštinė freza iš dėtuvės lizdo Nr. 2 įstatoma į suklij);

G00 X87.0 Y83.0 (freza pagreitintai pozicionuojama XY plokštumoje virš dešinėsios kišenės frezavimo ciklo pradinio taško P (12.12 pav.));

S1400 M03 (frezai suteikiamas sukimosi judesys apie savo ašį pagal laikrodžio rodyklę 1400 suk./min greičiu);



12.12. pav. Apdirbama detalė su kišenėmis

G43 H02 Z3.0 M08 (freza pagreitintai nuleidžiama 3 mm aukščiau detalės Z nulio pritaikant ilgio kompensaciją iš 2-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės, įjungiamas TAS siurblys);
 M98 P15031 (kviečiama paprogramė O15031, kurią vykdant bus apdirbta dešinioji kišenė);
 G101 X0.0 (įjungiamas koordinačių veidrodinio atspindėjimo režimas išilgai X ašies detalės koordinačių sistemos pradžios atžvilgiu);

X87.0 Y83.0 M08 (freza pagreitintai pozicionuojama XY plokštumoje virš kairiosios kišenės frezavimo ciklo pradinio taško, esant aktyviam G101 režimui, freza atsidsurs taške X–87 Y83, t. y. P₁ (12.12 pav.), įjungiamas TAS siurblys);

M98 P15031 (kviečiama paprogramė O15031, kurią vykdant bus apdirbta kairioji kišenė, visų taškų X koordinatės keis ženklą priešingu, nes aktyvus kodas G101);

G100 (išjungiamas koordinačių veidrodinio atspindžio režimas);

G28 Z3.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

O15031

(paprogramė su vidiniu ciklu G150 kišenėms (12.12 pav.) frezuoti);

G150 Z-15.0 Q5.0 J8.0 R0.5 K0.5 P01256 G41 D02 F120.0 (kišenės frezavimas keturiomis eigomis Z ašies kryptimi ($5 + 5 + 5 + 0,5 = 15,5 = Z + R$). Paskutinei eigai paliekama tik 0,5 mm užlaida Z ašies kryptimi. Tokiu būdu sudaromos sąlygos atlikti glotnųjį kišenės dugno frezavimą. Frezuojama išilginėmis eigomis, žingsnis – 8 mm, paliekant 0,5 mm užlaidą šonuose glotniajam frezavimui. Kišenės kontūras aprašytas paprogramėje O01256. Frezuojant bus automatiškai taikoma spindulio kompensacija kontūro kairėje (G41), kompensacijos reikšmė imama iš 2-os spindulio kompensacijų lentelės eilutės (D02));

G40 G01 X87.0 Y83.0 M09 (freza pozicionuojama pradiniame taške, atšaukiama spindulio kompensacija, nutraukiamas TAS tiekimas);

G00 X0.0 (greitasis įrankio pozicionavimas taške X0 Y83);

M99 (paprogramės pabaiga ir grįžimas į pagrindinę programą O01503, į kitą eilutę po kvietimo);

001256

(paprogramė kišenės 12.12 pav. dešinėje kontūrai aprašyti);

G01 Y113.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 1-ą tašką iš pradžios taško P, žr. 12.12 pav.);

X32.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 2-ą tašką);

Y52.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 3-ią tašką);

X142.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 4-ą tašką);

Y83.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 5-ą tašką);

G03 X112.0 Y113.0 R30.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys prieš laikrodžio rodyklę į 6-ą tašką);

G01 X87.0 (tiesinės interpoliacijos judesys į 1-ą tašką, kontūras užsidaro);

M99 (grįžimas į paprogramę 015031. Jeigu nurodytas Z lygis nepasiektas, įrankis perstumiamas neigiamąja Z ašies kryptimi atstumu Q, ir paprogramė kartojama iš naujo. Jei nurodytas Z lygis pasiektas, pagrindinė programa bus vykdoma nuo kitos eilutės, esančios po tos, kurioje buvo kviečiama paprogramė, t. y. nuo eilutės esančios po G150 eilutės);

9-asis pavyzdys. Parašyti programą detalės, pavaizduotos 10.8 pav., laipteliams frezuoti. Sakykime, laipteliai jau sudaryti detalėje. Reikia tik freza apeiti kiekvieną iš jų pagal perimetrą, norint apdirbti iki galutinių matmenų, parodytų 10.8 pav. Kaip matome iš paveikslėlio, kiekvieno laiptelio plotis, ilgis ir kampų suapvalinimo spindulys gaunami padauginus kito laiptelio atitinkamą matmenį iš to paties koeficiento. Padauginus mažiausio laiptelio matmenis 90, 75 ir 10 iš koeficiento 1,6, gaunami antrojo laiptelio matmenys, t. y. $90 \times 1,6 = 144$; $75 \times 1,6 = 120$; $10 \times 1,6 = 16$. Padauginę antrojo laiptelio matmenis iš koeficiento 1,2 (arba pirmojo laiptelio matmenis iš 1,92) gausime žemesnio laiptelio matmenis. Tokioje situacijoje galima panaudoti mastelio funkciją, paprogramėje aprašyti vieno laiptelio (viršutinio) geometriją, paskui kviešti ją vykdyti įjungiant mastelio funkciją su skirtingais mastelio koeficientais. Tokią programą pateiksime toliau.

009851

(programa detalės (10.8 pav.) laipteliams frezuoti);

G21 G54 G17 G90 (metriniai vienetai, koordinačių sistema G54, darbo plokštuma XY, absoliučiosios koordinatės);

T01 M06 (12 mm skersmens pirštinė freza įstatoma į suklij iš dėtuvės lizdo Nr.1);

S1500 M03 (frezai suteikiamas sukimosi judesys pagal laikrodžio rodyklę, sūkiai – 1500 sūk./min);

G00 X-60.0 Y-37.5 (pagreitintas judesys į tašką X-60 Y-37,5, aukščiausio laiptelio apatinį kampą, įvertinant užlaidą apdirbimui ir frezos spindulį);

G43 H01 Z3.0 (freza pagreitintai nuleidžiama į tašką, esantį 3 mm aukščiau detalės Z nulio (aukščiausio laiptelio plokštuma), pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės);

G01 Z-10.0 F120.0 (freza tiesinės interpoliacijos judesiu su 120 mm/min pastūma nuleidžiama iki vidurinio laiptelio);

M98 P09852 (kviečiama vykdyti paprogramę 009852, kurioje užprogramuotas pirmojo laiptelio kontūro frezavimas);

G00 X-90.0 Y-60.0 (pagreitintas judesys į tašką X-90 Y-60, žemesnio laiptelio apatinį kampa, įvertinant apdirbimo užlaidą ir frezos spindulį);

G01 Z-20.0 (freza tiesinės interpoliacijos judesiu su 120 mm/min pastūma nuleidžiama iki trečiojo iš viršaus laiptelio plokštumos);

G51 X0.0 Y0.0 P1.6 (pritaikyti mastelį, koordinatės bus dauginamos iš koeficiento 1,6 detalės nullo atžvilgiu);

M98 P09852 (kviečiama vykdyti paprogramė 009852, kurioje užprogramuotas pirmo laiptelio kontūro frezavimas, tačiau galioja mastelio režimas, visos X ir Y koordinatės paprogramėje iki režimo atšaukimo kodu G50 bus dauginamos iš 1,6, todėl gausime žemesnio laiptelio matmenis, ko ir reikia);

G00 X-101.0 Y-72.0 (pagreitintas judesys į tašką X-101 Y-72, žemiausio laiptelio apatinį kampa, įvertinant apdirbimo užlaidą ir frezos spindulį);

G01 Z-30.0 (freza tiesinės interpoliacijos judesiu su 120 mm/min pastūma nuleidžiama iki viršutinės ketvirto iš viršaus laiptelio plokštumos);

G51 X0.0 Y0.0 P1.92 (pritaikyti mastelį, koordinatės bus dauginamos iš koeficiento 1,92 detalės nullo atžvilgiu);

M98 P09852 (kviečiama vykdyti paprogramė 009852, kurioje užprogramuotas pirmojo laiptelio kontūro frezavimas, tačiau galioja mastelio režimas, visos X ir Y koordinatės paprogramėje iki režimo atšaukimo kodu G50 bus dauginamos iš 1,92, todėl gausime žemiausio apdirbamo laiptelio matmenis, ko ir reikia);

G00 X0.0 Y0.0 (greitasis įrankio pozicionavimas detalės nulyje plokštumoje XY);

G28 Z2.0 (suklio galvutė gražinama į staklių nulį pagal Z ašį per įrankio tašką Z2);

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

009852

(programos 009851 paprogramė, kurioje užprogramuoti judesiai aplink pirmojo laiptelio kontūrą);

G01 X-45.0 G41 D01 M08 (120 mm/min pastūmos judesys prie pirmojo laiptelio kairiosios sienelės, pakeliui pritaikant frezos spindulio kompensaciją iš kairės, spindulio (skersmens) reikšmė imama iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės, įjungiamas TAS siurblys);

Y27.5 (tiesinės interpoliacijos judesys iki viršutinio kairiojo suapvalinimo);

G02 X-35.0 Y37.5 R10.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys pagal laikrodžio rodyklę, frezuojamas viršutinis kairysis laiptelio suapvalinimas);

G01 X35.0 (tiesinės interpoliacijos judesys iki viršutinio dešiniojo laiptelio suapvalinimo);

G02 X45.0 Y27.5 R10.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys pagal laikrodžio rodyklę, frezuojamas viršutinis dešinysis laiptelio suapvalinimas);

G01 Y-27.5 (tiesinės interpoliacijos judesys iki apatinio dešiniojo suapvalinimo);

G02 X35.0 Y-37.5 R10.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys pagal laikrodžio rodyklę, frezuojamas apatinis dešinysis laiptelio suapvalinimas);

G01 X-35.0 (tiesinės interpoliacijos judesys iki apatinio kairiojo suapvalinimo);

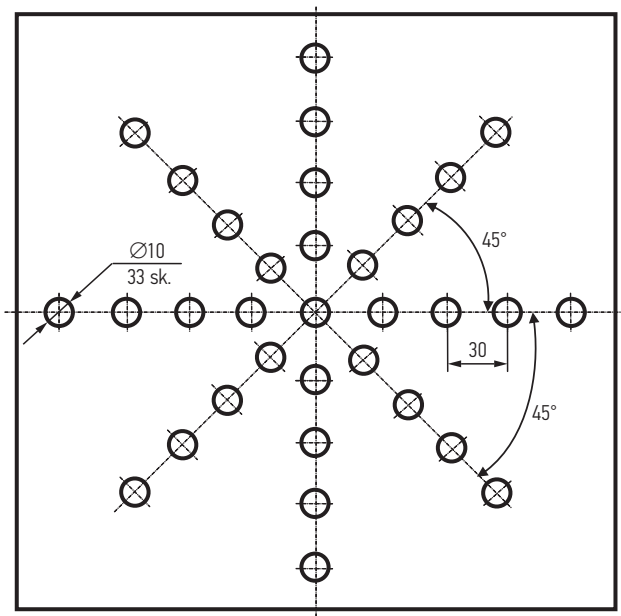
G02 X-45.0 Y-27.5 R10.0 (apskritiminės interpoliacijos judesys pagal laikrodžio rodyklę, frezuojamas apatinis kairysis laiptelio suapvalinimas);

G01 Y-15.0 (tiesinės interpoliacijos judesys palei kairiąją laiptelio sienelę);

G40 X-60.0 M09 (pastūmos atitraukimo judesys į kairę nuo kontūro, jo metu bus atšaukta spindulio kompensacija, nutraukiamas TAS tiekimas);
G50 (atšaukiamas mastelio režimas);
G00 Z2.0 (įrankis atitraukiamas pagal Z ašį į tašką, esantį 2 mm aukščiau detalės viršutinės plokštumos);
M99 (paprogramės pabaiga ir grįžimas į pagrindinę programą 009851, į kitą eilutę po kvietimo eilutės);

Kontroliniai klausimai

1. Ką vadiname paprogramėmis? Kokiomis teigiamomis savybėmis pasižymi programos su paprogramėmis, lyginant su programomis be jų? Kokiais atvejais naudinga naudoti paprogrames?
2. Koku kodu išskviečiama paprogramė? Koks kodo formatas? Kokie adresai yra privalomi, kokie ne? Ką reiškia kodo adresai?
3. Koks kodas naudojamas paprogramei užbaigti? Kur jis grąžina programos vykdymą?
4. Kas yra lokalinė paprogramė? Koks kodas naudojamas jai išskviesti „HAAS“ firmos valdymo sistemoje? Koks kodo formatas? Koks adresas naudojamas jai užbaigti?
5. Kokiais atvejais paprogramių užbaigimo kodas gali būti naudojamas pagrindinėje programoje? Koks skirtumas tarp jo naudojimo programose, parengtose „Fanuc“ ir „HAAS“ firmų valdymo sistemoms?
6. Parengti programą su paprograme 11.57 pav. pavaizduotos detalės griovelių masyvui tekinti. Griovelių žingsnis yra nevienodas – 10 mm ir 15 mm (vienodo žingsnio grioveliams kur kas paprasčiau apsieiti be paprogramių, naudojant vidinį ciklą).
7. Parengti programą 12.2 pav. parodytos detalės keturiems grioveliams frezuoti naudojant paprogramę. Matmenis parinkti savarankiškai.
8. Parengti programą 10.13 pav. pavaizduotiems detalės langeliams frezuoti. Reikia gauti ir vieną, ir kitą langelį vienoje detalėje, todėl programoje tikslinga naudoti paprogramę, ją kviečiant mastelio režimu, esant skirtingiems mastelio koeficientams.
9. Parengti programą detalės, pavaizduotos toliau, skylių masyvui gręžti, naudojant paprogramę ir koordinacių sistemos pasukimo režimą. Skylės gręžiamos kiaurai, plokštės storis – 15 mm.



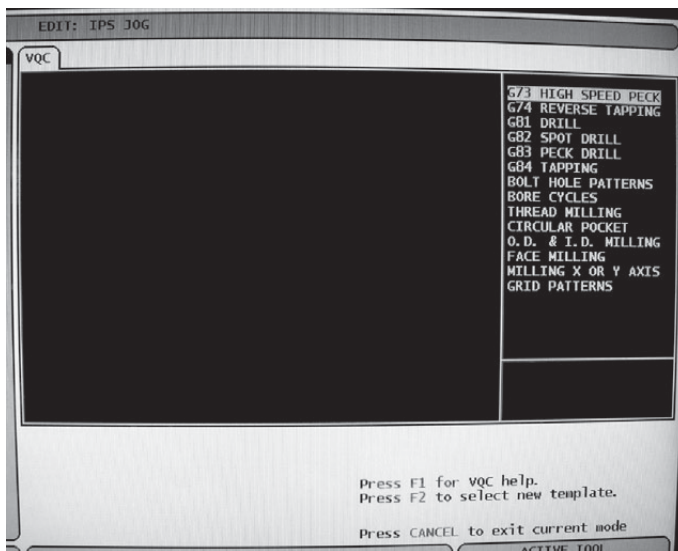
PROGRAMŲ RUOŠIMAS TAIKANT VIZUALINIO PROGRAMAVIMO PROGRAMINĘ ĮRANGĄ

Bendrosios žinios

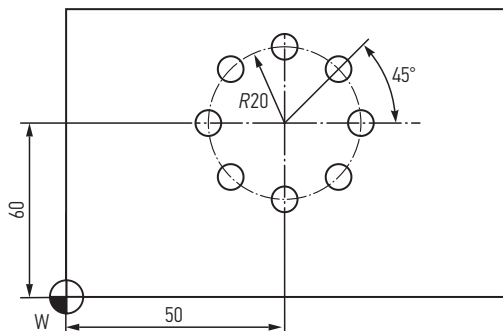
Rengti valdymo programas (arba tiesiog atskiras jų dalis) šiuolaikinių CNC staklių operatoriaus darbo vietoje galima ir naudojant vizualinio programavimo sistemas, kurių lygis priklauso nuo valdymo sistemos gamintojo. Taikant šias sistemas, programos rengiamos nerenkant klaviatūroje eilučių su kodais, o tiesiog dialogo režimu, atsakant į klausimus, išvedamus į programinio valdymo įrenginio vaizduoklį. Įvedus reikalingus duomenis, operatorius gauna G ir M kodais užrašytą programą, kurią gali iš karto paleisti vykdyti, redaguoti (papildyti) arba įterpti į kitą, jau parengtą programą. Vizualinio programavimo sistemas siūlo beveik visi staklių gamintojai, kai kurie iš jų (pvz., Japonų firmos „Mazak“) išstobulino jas taip, kad jos tapo pagrindine programų rengimo priemone (rankinis programų rinkimas G ir M kodais išlieka kaip pagalbinis režimas). Tokiu atveju operatorius net nemato G ir M kodais užrašytos programos, jam nebūtina net žinoti šių kodų (tačiau tai nereiškia, kad jam nereikia žinoti pagrindinių CNC staklių valdymo principų, ašių išdėstymo, judesių tipų, atliekamų operacijų, pjovimo režimų, įrankių geometrijos ir pan.). Nepaisant išvystymo lygio, bet kuri vizualinio programavimo sistema visada yra geras „papildas“ operatoriui šalia tradicinio programų rinkimo iš klaviatūros. Tuo ir bandysime įsitikinti šiame skyriuje.

Panagrinsime „HAAS“ firmos siūlomą vizualinio programavimo sistemą „Visual Quick Code“ arba tiesiog „VQC“. Ši programinė įranga siūloma su tekimo ir frezavimo staklėmis bei centrais. Norint paleisti VQC, vaizduoklyje reikia MDI režimu paspausti mygtuką *PRGRM/CONVRS*. Tada atsidarys VQC 13.1 pav. parodytas langas (parodytas frezavimo staklių VQC langas). Lange galima pasirinkti tam tikrą šablonų grupę, priklausomai nuo pageidaujamos operacijos. Gamykloje siūloma apie 100 šablonų, taip pat yra galimybė kurti savo šablonus. Pavyzdžiui, galima pasirinkti gręžimo šablonus su našaus gręžimo ir kapojimo (*G73 High-speed peck*), kairinių sriegių sriegimo (*G74 Reverse tapping*), gręžimo (*G81 Drill*), gręžimo su pauze (*G82 Spot drill*), gręžimo ir kapojimo (*G83 Peck*), dešinių sriegių sriegimo (*G84 Tapping*) ciklais. Taip pat galima pasirinkti skylių masyvų apdirbimo (*Bolt hole patterns*), ištekimo (*Bore cycles*), sriegio frezavimo šukutinėmis frezomis (*Thread milling*), apvalių kišenių frezavimo (*Circular pocket*), galinio frezavimo (*Face milling*) ir kitus šablonus.

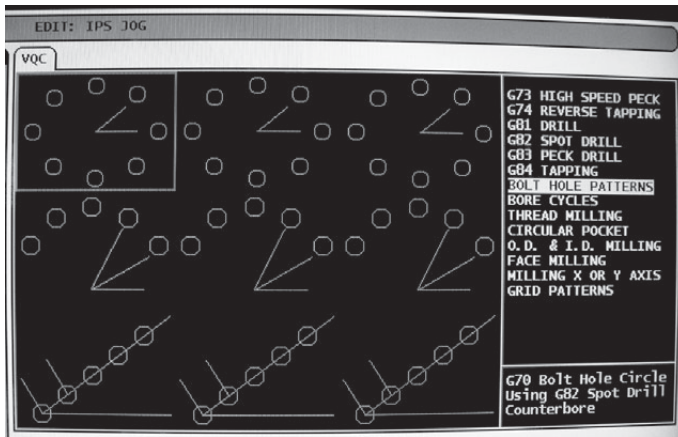
Rodyklėmis pasirinkus reikiamą šabloną ir patvirtinus mygtukų *Write/Enter* atsidaro kitas langas, kuriame reikia pasirinkti detalesnį šabloną. Sakykime, reikia vertikaliu-ju frezavimo centru išgręžti 8 skylių, išdėstytų 20 mm spinduliu apie tašką X50 Y60 (detales koordinacių sistemoje), masyvą. Detalės eskizas pateiktas 13.2 pav. Pasirenkame šabloną *Bolt hole patterns*, patvirtinus pasirinkimą atsidarys 13.3 pav. parodytas langas. Jame reikia patikslinti pasirinkimą, t. y. pasirinkti skylių išdėstymo būdą – pagal apskritimą (viršuje), pagal lanką (viduryje) ir pagal liniją (apačioje). Pasirinkę reikiamą šabloną (mums reikia viršutinio), judant rodyklėmis pagal horizontalę galima pasirinkti, kaip bus apdirbamos skylės, pvz., ciklu G82 (gręžimas su pauze), ciklu G83 (gręžimas ir kapojimas) arba ciklu G84 (dešiniųjų sriegių sriegimas sriegikliu).



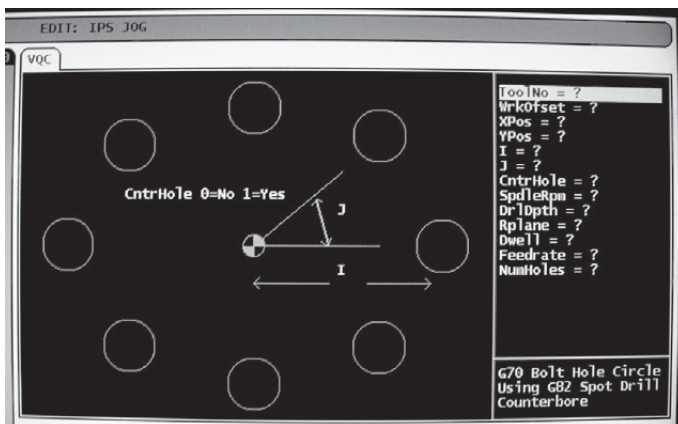
13.1 pav. „HAAS“ firmos apdirbimo centro „Visual Quick Code“ programos pagrindinis langas



13.2 pav. Detalė, kurios skylių masyvą apdirbimo programa sudaryta naudojant VQC programinę įrangą

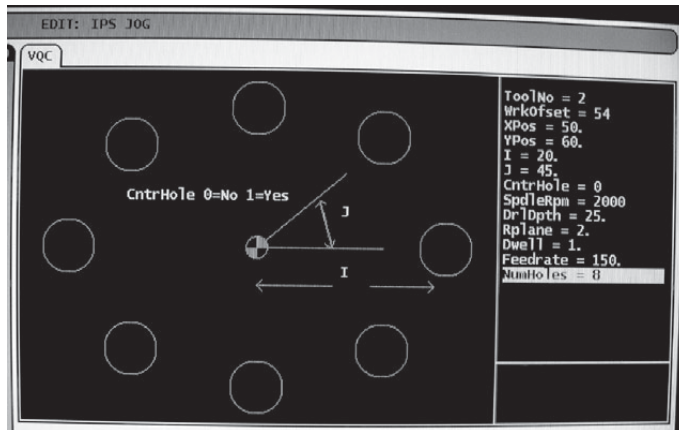


13.3 pav. Bolt hole patterns pagrindinis langas

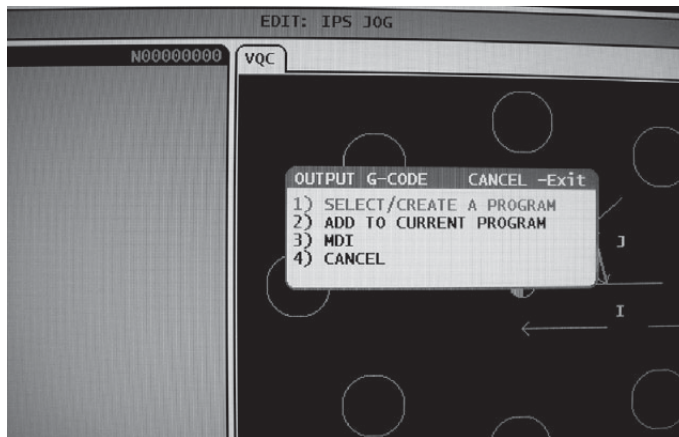


13.4 pav. VQC langas, atsidarantis pasirinkus skylių masyvo tipą

Sakykime, skylės bus gręžiamos ciklu G82 su pauze, t. y. pasirinksime viršutinį kairijį šabloną. Pasirinkus reikalingą šabloną ir patvirtinus mygtuku *Write/Enter*, vaizduoklyje atsiras langas, kurio kairėje matysime pasirinktą masyvą, dešinėje – sistemos klausimus (13.4 pav.). Sistema paprašys įvesti įrankio, kuriuo bus apdirbamos skylės, numerį detuvėje (*ToolNo*), detalės koordinatčių sistemą (*WrkOfset*), skylių masyvo centro koordinatės detalės koordinatčių sistemoje (*Xpos*, *Ypos*), skylių masyvo spindulį (*I*), pradinį kampą nuo 3.00 pozicijos laikrodžio ciferblate (*J*), suklio sukčius (*SpdleRpm*), skylės dugno Z koordinatę (*DrLDpth*), atsitraukimo pozicijos padėtį (*Rplane*), pauzės trukmę pasiekus skylės dugną (*Dwell*), pastūmą (*Feedrate*), skylių skaičių (*Numholes*). Be to, reikia nurodyti, ar reikia gręžti skylę masyvo centre (*CntrHole*, 0 – nereikia, 1 – reikia). Įvedus duomenis (13.5 pav.), sistema paklaus, kur



13.5 pav. VQC langas (13.4 pav.) su užpildytais programos parametrais



13.6 pav. Programos išsaugojimo būdo pasirinkimo langas

įdėti sukurtą programą. Bus siūlomi keturi pasirinkimai (13.6 pav.): sukurti naują programą (1, reikia įvesti programos vardą O...), pridėti prie redaguojamos (2, eilutės bus įterptos ten, kur yra žymeklis), sukurti MDI programą (3) arba atšaukti (*Cancel*). Skylių masyvo gręžimo programa O45623, sukurta naudojant VQC, pateikta 13.7 pav. Šią programą (joje, kaip galima matyti 13.7 pav., naudojamas kodas G70, skirtas „HAAS“ firmos valdymo sistemose apskritimu išdėstyty skylių masyvui aprašyti) galima paleisti, papildyti arba pakeisti bet kada, kaip ir bet kurią kitą surinktą klaviatūroje programą.

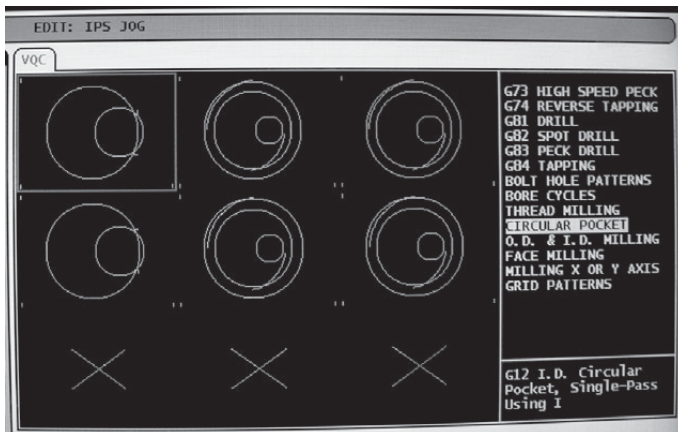
13.8 ir 13.9 pav. parodyti apvalių kišenių frezavimo (sukurtoje programoje bus naudojami kodai G12/G13, 11.2.3 skirsnis) šablonas ir jo parametrai, kuriuos reikia įvesti, norint gauti programą arba programos fragmentą tokiai kišenei frezuoti.

```

ACTIVE PROGRAM - 045623      (CYCLE START TO SIMULATE)
045623 ;
(G70 Bolt Hole Circle Using G82 Spot Drill Counterbore)
;
(ToolNo = 2) ;
(WrkOfset = 54) ;
(XPos = 50.) ;
(YPos = 60.) ;
(I = 20.) ;
(J = 45.) ;
(CntrHole = 0) ;
(SpdLeRpm = 2000) ;
(DrIldpth = 25.) ;
(RpPlane = 2.) ;
(Dwell = 1.) ;
(Feedrate = 150.) ;
(NumHoles = 8) ;
;
T2 M06 ;
G00 G90 G54 X50. Y60. ;
S2000 M03 ;
G43 H02 Z1. M08 ;
G82 G98 Z-25. R2. P1. F150. L0 ;
G70 I20. J45. L8 ;
G00 G80 Z1. M09 ;
G28 G91 Z0 M05 ;
M30 ;
;
;
;

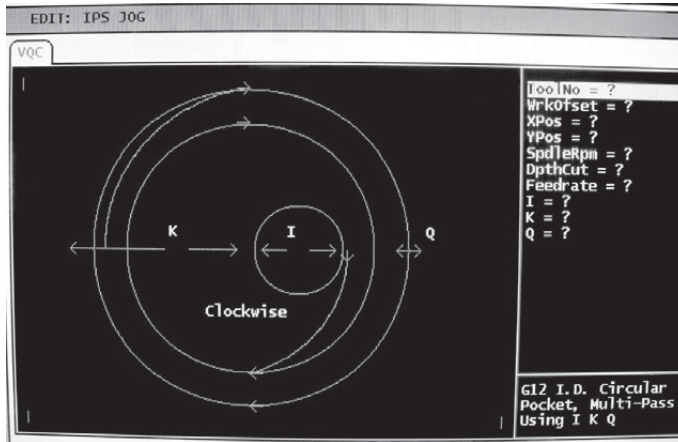
```

13.7 pav. Programa O45623, sukurta vizualinio programų rengimo redaktoriumi VQC

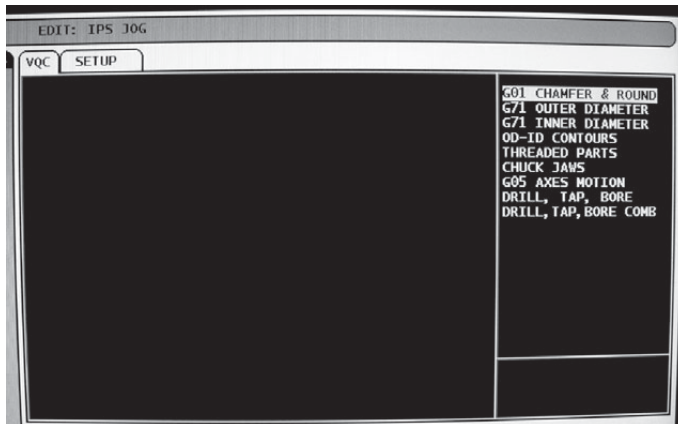


13.8 pav. Apvalių kišenių (*Circular pocket*) frezavimo šablonai

Panagrinėsime „HAAS“ firmos tekimo staklių programą „Visual Quick Code“. Pagrindinis VQC langas atrodo taip, kaip parodyta 13.10 pav. Jame galime matyti tokias šablonų grupes: nuožulnos ir suapvalinimai (*Chamfer & round*), išoriniai laipteliai (*G71 Outer diameter*), vidiniai laipteliai (*G71 Inner diameter*), išoriniai ir vidiniai fasoniniai paviršiai (*OD-ID Contours*), sriegiai (*Threaded parts*), šablonas griebtuvo kumšteliams ištekinti (*Chuck jaws*), gręžimas, sriegimas sriegikliais ir ištekimas (*Drill, tap, bore*) bei kitus.



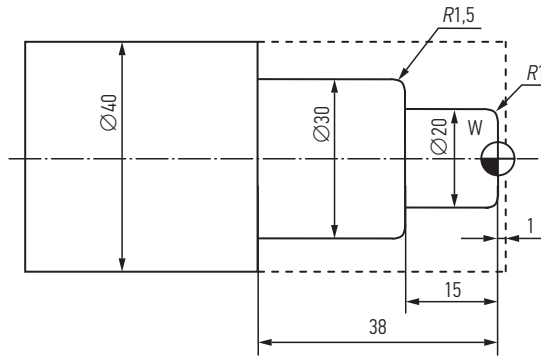
13.9 pav. Apvalios kišenės frezavimo ciklo G12 parametrai, reikalingi programai parengti



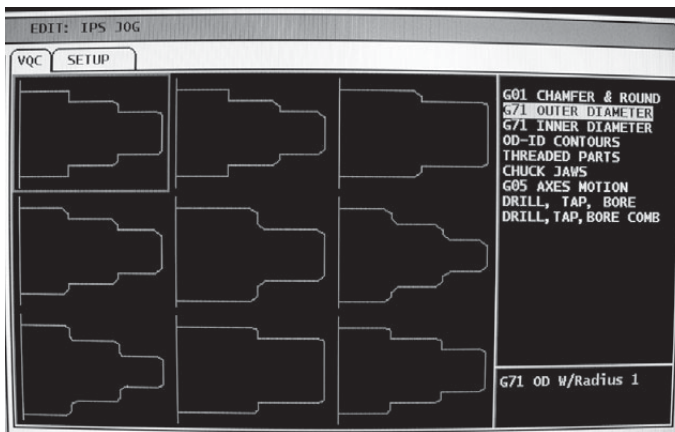
13.10 pav. Pagrindinis VQC langas tekimo staklėms

Sakykime, reikia tekinti 13.11 pav. pavaizduotą detalę. Laiptuotas velenas bus tekiamas iš strypo, kurio skersmuo – 40 mm. Programai sudaryti pasirinkime šablonų grupę *G71 Outer diameter*. Patvirtinę pasirinkimą pereisime į 13.12 pav. parodytą langą. Pasirinkime šabloną, esantį viršutiniame kairiajame vaizduoklio kampe. Patvirtinus pasirinkimą pereinama į kitą langą, kuriame reikia nurodyti programai sudaryti reikalingus parametrus (13.13 pav.).

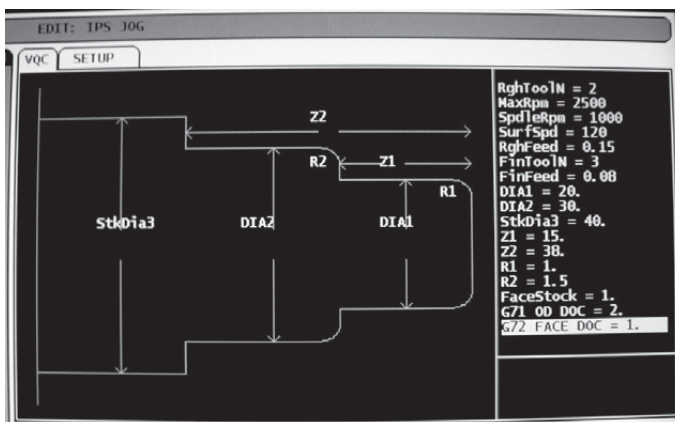
Sistema prašys įvesti: įrankio, kuriuo bus atliekamas rupusis tekimas, numerį (*RghToolN*), didžiausius sūkius, kurie nebus viršijami tekiant galą (*MaxRpm*), suklio sūkius (*SpdleRpm*), pjovimo greitį, kuris bus palaikomas tekiant galą (*SurfSpd*),



13.11 pav. Laiptuotas velenas, kurio apdirbimo programai parengti naudojama VQC programinė įranga



13.12 pav. G71 Outer diameter grupės detalių šablonai



13.13 pav. Pasirinkto šablono parametrai

pastūmą rupiajam tekinimui (*RghFeed*), įrankio, kuriuo bus atliekamas glotnūs tekinimas, numerį (*FinToolN*), pastūmą glotniajam tekinimui (*FinFeed*), pirmo ir antro laiptelio skersmenis (*DIA1* ir *DIA2*), ruošinio skersmenį (*StkDia3*), laiptelių ilgius (*Z1* ir *Z2*), suapvalinimo spindulius (*R1* ir *R2*), užlaidą galui tekinti (*FaceStock*), peilio išilginės eigos pjovimo gylį (jis atitinka adreso D cikle G71 (žr. 11.3.2 skirsnį) tekinant (*G71 OD DOC*) ir peilio skersinės eigos pjovimo gylį tekinant galą (*G72 FACE DOC*). Įvedus šiuos parametrus, pasirodys langas, kuriame reikia pasirinkti, kur įrašyti programą (13.6 pav.). Pasirinksime *Select/Create Program* ir nurodysime programos vardą O99899, kuri bus sukurta. Ši programa parodyta toliau. Ją galima redaguoti (ištrinti komentarus, nereikalingus judesius (nedaryti glotniojo tekinimo G70 ir pan.), papildyti (pirašyti programos fragmentą detalei atpjauti), įterpti į kitą, jau sudarytą programą per mainų sritį (*Clipboard*), arba tiesiog paleisti vykdyti prieš tai suderinus įrankius, esančius 2-ame ir 3-iame revolverinės galvutės lizduose.

```
%
O99899
(G71 OD W/Radius 1);
(RghToolN = 2);
(MaxRpm = 2500);
(SpdleRpm = 1000);
(SurfSpd = 120);
(RghFeed = 0.15);
(FinToolN = 3);
(FinFeed = 0.08);
(DIA1 = 20.);
(DIA2 = 30.);
(StkDia3 = 40.);
(Z1 = 15.);
(Z2 = 38.);
(R1 = 1.);
(R2 = 1.5);
(FaceStock = 1.);
(G71 OD DOC = 2.);
(G72 FACE DOC = 1.);
;
T2;
G50 S2500;
G97 S1000 M03;
G96 S120 M08;
G00 Z3.;
G00 X42. Z1.02;
G72 P101 Q102 D1. U0.02 W0.004 F0.15;
```

```
N101 G00 Z0;  
G01 X-0.07;  
N102 G00 W0.1;  
G71 P103 Q104 D2. U0.02 W0.004 F0.15;  
N103 G00 X17.;  
G01 G42 Z0;  
G01 X18.;  
G03 X20. Z-1. R1.;  
G01 Z-15.;  
G01 X27.;  
G03 X30. Z-16.5 R1.5;  
G01 Z-38.;  
G01 X40.;  
N104 G40 X42.;  
G97 S1000 M09;  
G28;  
M01;  
;  
T3;  
G50 S2500;  
G97 S1000 M03;  
G96 S120 M08;  
G00 Z3.;  
G00 X20.1 Z1.1;  
G01 Z0 F0.05;  
X-0.07 F0.005;  
G00 X42. W0.1;  
G70 P103 Q104 F0.08;  
G97 S1000 M09;  
G00 G28;  
M30;  
%
```

Kontroliniai klausimai

1. Kas yra vizualinio programų rengimo programinė įranga? Kaip ją naudojant rengiamos programos?
2. Kokioms operacijoms, atliekamoms „HAAS“ firmos apdirbimo centrais, galima rengti programas naudojant „Visual Quick Code“ programinę įrangą? Kokioms operacijoms, atliekamoms „HAAS“ firmos tekinimo staklėmis, galima rengti programas naudojant VQC?

MAKROPROGRAMAVIMAS

14.1. Bendrosios žinios

Makroprograma, arba programa su *makrokintamaisiais*, pasižymi lankstumu, kurio neturi paprasta valdymo programa be kintamųjų, nors turėdama vidinius ciklus ir paprogrames. Makroprogramavimo galimybės iš tikrųjų neturi ribų. Makrokintamaisiais galima valdyti ne tik staklių judesius (taip pat kaip paleidus paprastą programą), bet ir valdymo sistemos būklę. Pavyzdžiui, galima paleisti vykdyti tam tikrą valdymo programą, priklausomai nuo kintamųjų reikšmės (pvz., pirmadienį paleidžiama viena programa, antradienį kita ir pan.). Makrokintamaisiais galima perduoti naujus duomenis (pvz., naujas detalės koordinacių sistemos pradžios kompensacijas) į programą, kuri kiekvieną kartą bus vykdoma jau su kitais parametrais (šiuo atveju kitoje koordinacių sistemoje) ir pan. Įsivaizduokime, kad turime programą, kurią vykdant centrinio pjovimo pirštine freza frezuojamas griovelis (panašus į parodytą 12.10 pav.). Norint jį išfrezuoti reikia suteikti frezai iš pradžių pastūmą Z ašies kryptimi, o paskui – X ašies kryptimi. Šių pastūmų reikšmės dažniausiai nėra lygios viena kitai, vertikaliaji pastūma paprastai yra mažesnė (ji pasirenkama pagal įrankių gamintojo rekomendacijas, tačiau dabar tai nėra svarbu). Tai reiškia, kad reikia užprogramuoti dvi pastūmas, nes sistema visą laiką naudoja paskutinę užprogramuotą pastūmą. Programos fragmentas, kuriame užprogramuoti minėti judesiai, atrodo taip:

...;

... (programa);

...;

G00 X50.0 Y30.0 (greitasis įrankio pozicionavimas virš griovelio pradžios taško XY plokštumoje);

G43 H01 Z2.0 (greitasis įrankio pozicionavimas virš griovelio pradžios taško Z ašies kryptimi);

G01 Z-3.0 F50.0 M08 (įrankio įsipjovimas darbinio gyliu su 50 mm/min pastūma, įjungiamas TAS siurblys);

X180.0 F100.0 (griovelio frezavimas 100 mm/min pastūmos greičiu);

Z3.0 M09 (įrankio atitraukimas, TAS siurblio išjungimas);

...;

... (programos tęsinys);

...;

M30 (programos pabaiga, grįžimas į pradžią);

Sakykime, partijomis apdirbamos vienodos pagal formą, pagamintos iš skirtingų medžiagų (iš minkštojo plieno ir sunkiai apdirbamo lydinio) detalės. Tai reiškia, kad kiekvienu atveju reikia keisti pastūmas, nes pastūma, taikoma minkštajam plienui, gali būti per didelė sunkiai apdirbamam lydiniiui, o pastūma lydiniiui bus labai neproduktyvi apdirbant plieną. Čia gali būti panaudoti makrokintamieji, tai yra:

```

...;
... (programa);
...;
#1=30.0;
#2=50.0;
G00 X50.0 Y30.0 (greitasis įrankio pozicionavimas virš griovelio pradžios taško XY plokštumoje);
G43 H01 Z2.0 (greitasis įrankio pozicionavimas virš griovelio pradžios taško Z ašies kryptimi);
G01 Z-3.0 F#1 M08 (įrankio įsijovimas darbiniiu gyliu su pastūma, nurodyta kintamuoju #1,
įjungiamas TAS siurblys);
X180.0 F#2 (griovelio frezavimas su pastūma, nurodyta kintamuoju #2);
Z3.0 M09 (įrankio atitraukimas, TAS siurblio išjungimas);
...;
... (programos tęsinys);
...;
M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

```

Panaudojus makrokintamuosius #1 ir #2 galima keisti pastūmos reikšmes (jas galima keisti ne tik programoje, bet ir specialiame makrokintamųjų ekrane) priklausomai nuo to, kokia medžiaga apdirbama. Pateiktas pavyzdys yra įvadinis, labai paprastas ir jokiū būdu neatskleidžia visų makrokintamųjų naudojimo galimybių.

Makrokintamieji dažniausiai naudojami, kai yra tokie atvejai:

1. Panašių detalių grupės.
 2. Įrankių kompensacijų ir detalės koordinačių sistemų valdymas.
 3. Vartotojo ciklų sudarymas.
 4. Įvairūs įrankio judesiai, pvz., vienodos krypties, tačiau skirtingų ilgių.
 5. Pranešimų generavimas.
 6. Sistemos režimų perjungimas (mastelio, koordinačių sistemos pasukimo ir pan.).
 7. Aktyvioji kontrolė (gauti duomenys gali būti patikrinti su nustatytais ir priklausomai nuo rezultato, iš karto gali būti pakoreguotos įrankių trajektorijos).
- Šis sąrašas yra ne visas, čia pateiktos tik pagrindinės naudojimo sritys.

Paminėtina, kad operuoti makrokintamaisiais galima ne visose valdymo sistemose, tai dažniausiai yra papildoma sistemų gamintojų parinktis. Senesnėse sistemose visai nebuvo tokios galimybės.

Panagrinėsimė „HAAS“ firmos valdymo sistemų makrokintamuosius, dauguma kurių suderinami su naudojamais „Fanuc“ firmos 10T/15T valdymo sistemose.

Sistemoje operuojama lokaliaisiais, globaliaisiais ir sisteminiiais makrokintamaisiais. Šie kintamieji turi skirtingus numerius, atlieka skirtingas funkcijas. Juos taikant galioja skirtingos taisyklės, todėl apžvelgsime kiekvienos grupės kintamuosius atskirai.

14.2. Lokalieji kintamieji

Lokaliųjų kintamųjų yra 33. Jiems priskirti numeriai #1–#33. Jų reikšmės išlieka tik vykdant makroprogramą. Jai pasibaigus programoje naudojamų kintamųjų #1–#33 reikšmės bus panaikintos ir taps neapibrėžtos. Paleidus programą iš naujo, jų reikšmės bus pakeistos į reikšmes, perduotas MDI režimu, arba į priskirtas programoje.

Lokaliųjų kintamųjų reikšmės į makroprogramą gali būti perduotos kodu G65. Šis kodas naudojamas MDI režimu (taip pat gali būti užrašytas ir programoje), o jo formatas yra toks:

G65 P... L... makrokintamieji;

Paleidus tokią eilutę bus L kartų (L adresas nėra privalomas, be jo makroprograma bus paleista tik vieną kartą) paleista makroprograma P... Be to, kartu galima perduoti ir makrokintamųjų reikšmes. Pavyzdžiui, eilutė:

G65 P56000 X150.0 Y120.0;

ne tik paleis programą O56000, bet ir priskirs kintamiesiems #24 ir #25 reikšmes 150 ir 120 atitinkamai. Jeigu šie kintamieji naudojami programoje O56000, pvz., eilutėje:

N50 G81 X#24 Y#25 Z-10.0 R2.0 F175.0;

ši eilutė bus vykdoma kaip tokia:

N50 G81 X150.0 Y120.0 Z-10.0 R2.0 F175.0;

Kintamųjų #24 ir #25 reikšmės bus naudojamos tik vykdant programą (jeigu nurodyto adreso L reikšmė nelygi 1, programa bus vykdoma L kartų su tomis pačiomis kintamųjų #24 ir #25 reikšmėmis), pasibaigus programai, abiejų kintamųjų reikšmės bus numestos. Tai galėsime matyti ir valdymo įrenginio vaizduoklyje, makrokintamųjų lentelėje.

Paleidus MDI režimu kitą kartą eilutę:

G65 P56000 X220.3 Y220.3;

kintamiesiems #24 ir #25 bus priskirtos naujos reikšmės – 220,3 kiekvienam. Programa O56000 bus vykdoma su naujomis lokaliųjų makrokintamųjų reikšmėmis, t. y. eilutė N50 bus vykdoma taip:

N50 G81 X220.3 Y220.3 Z-10.0 R2.0 F175.0;

Pasibaigus programai kintamųjų #24 ir #25 reikšmės vėl taps neapibrėžtos ir bus pakeistos tik tada, kai bus surinkta ir paleista eilutė su G65 kodu MDI režimu. Jeigu eilutėje su G65 nebus nurodyta tam tikra reikšmė, atitinkamam kintamajam bus priskirta neapibrėžta reikšmė (neapibrėžta nereiškia nulinė) ir jokio veiksmo neįvyks. Pavyzdžiui, jeigu mūsų pavyzdyje paleisime tokią eilutę:

G65 P56000 X220.3;

programos O56000 eilutė N50 bus traktuojama taip:

N50 G81 X220.3 Z-10.0 R2.0 F175.0;

ir judesys Y ašies kryptimi neįvyks.

Lokalieji makrokintamieji #1–#33 yra susieti su adresais A–Z (14.1 lentelė). Tai labai patogu perduodant jų reikšmes MDI režimu.

14.1 lentelė. Lokaliųjų makrokintamųjų ryšys su adresais A–Z

Adresas	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
Kintamasis	1	2	3	7	8	9	–	11	4	5	6	–	13	–	–
Adresas	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z				
Kintamasis	–	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26				

Jeigu norime padaryti adreso A (sukimosi apie ašį X ašies) reikšmę kintamuoju makroprogramoje O..., joje po šio adreso turime naudoti atitinkamo kintamojo numerį A#1. Priskirti šiam kintamajam tam tikrą reikšmę galima paleidus eilutę G65 P... A... arba pakeitus kintamųjų lentelėje 1-ojo kintamojo reikšmę nauja ir paleidus makroprogramą O... mygtuku *Cycle Start*. Makroprograma O... bus vykdoma su nauja A adreso reikšme. Norint padaryti kintamą (valdomą) adreso F reikšmę, makroprogramoje O... naudojamas kodas F#9, o priskirti naują pastūmos reikšmę galima eilute G65 P... F... arba pakeitus kintamojo 9 reikšmę kintamųjų lentelėje nauja. Tokiu būdu galima patogiai valdyti kintamuosius neatidarant programos. Todėl mūsų pavyzdyje adresų X ir Y reikšmėms perduoti naudojome kintamuosius #24 ir #25. Be abejo, priskirti jiems galima ir kitus kintamuosius, pvz., #1 ir #2. Tada makroprogramos O56000 eilutė N50 turėjo būti užrašyta taip:

N50 G81 X#1 Y#2 Z-10.0 R2.0 F175.0;

Norint perduoti žodžius X150 Y120, reikia MDI režimu surinkti ir paleisti tokią eilutę:

G65 P56000 A150.0 B120.0;

Toks užrašymas, be abejo, gali klaidinti operatorių. Juk reikia žinoti, kad adresas A atitinka X adresą, o B – Y adresą. Gerokai paprasčiau ir patogiau naudoti adresus X ir Y taip, kaip jie nurodyti pačioje makroprogramoje.

Makrokintamiesiems galima priskirti ir alternatyvias reikšmes, kaip parodyta 14.2 lentelėje. Tokiu būdu galima perduoti kelias tų pačių adresų reikšmes ir jas naudoti skirtingose makroprogramos eilutėse ir cikluose. Pavyzdžiui, eilute:

G65 P56001 I15.0 J3.0 K5.0 I12.0 J1.0 K3.0;

į makroprogramą galima perduoti kelias tų pačių adresų I, J ir K reikšmes. Pvz., jeigu makroprogramoje O56001 yra kelios eilutės su ciklu G83:

...;
 N55 G83 I#4 J#5 K#6 Z-30.0 R2.0 P1.5 F50.0;
 ...;
 N85 G83 I#7 J#8 K#9 Z-25.0 R2.0 P1.5 F50.0;
 ...;

eilutė N55 bus vykdoma taip:

N55 G83 I15.0 J3.0 K5.0 Z-30.0 R2.0 P1.5 F50.0;

o tos pačios makroprogramos O56001 eilutė N85 bus vykdoma taip:

N85 G83 I12.0 J1.0 K3.0 Z-30.0 R2.0 P1.5 F50.0;

14.2 lentelė. Lokaliųjų makrokintamųjų ryšys su papildomais adresais

Adresas	A	B	C	I	J	K	I	J	K	I	J	K	I	J	K
Kintamasis	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Adresas	I	J	K	I	J	K	I	J	K	I	J	K	I	J	K
Kintamasis	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Adresas	I	J	K												
Kintamasis	31	32	33												

Pažymėtina, kad kintamieji #10, #12, #14–#16 ir #27–#33 neturi susietų adresų, išskyrus alternatyvius I, J ir K. Taip daroma tam, kad nebūtų galima perduoti G, L, N, O ir P adresų reikšmių ir taip sumažinti klaidos atsiradimo riziką. Tai nereiškia, kad šių adresų reikšmės iš viso negali būti perduotos. Tai galima atlikti, tačiau reikia naudoti nesusietus kintamuosius. Pavyzdžiui, programoje O66235 eilutė N35:

O66235
 ...;
 ...;
 ...;
 N35 G#1 X#24 Y#25 F#9;
 ...;
 ...;
 ...;
 M30;

MDI režimu surinkus ir paleidus eilutę G65 P66235 A1.0 X120.0 Y150.5 F250.0, bus įvykdyta taip:

N35 G01 X120.0 Y150.5 F250.0;

Judesys į tašką X120 Y150,5 bus atliktas pagal tiesę, kodu G01 su pastūma 250 mm/min. MDI režimu surinkus ir paleidus eilutę G65 P66235 A0 X120.0 Y150.5

programos eilutė N35 bus vykdoma taip:

N35 G00 X120.0 Y150.5;

Judesys į tą patį tašką X120 Y150,5 bus atliktas pagreitinant, kodu G00, pastūmos reikšmė, kuri nebuvo perduota, liks neapibrėžta ir programoje bus ignoruojama.

Nenurodžius makrokintamajam dešimtainės trupmenos taško, kai staklės dirba metrinėje sistemoje, reikšmė bus priskirta pagal 14.3 lentelę. Pavyzdžiui, eilutėje:

G65 P1235 X5 Y10 D5;

makrokintamiesiems #24, #25 ir #7 bus priskirtos reikšmės 0,005, 0,010 ir 5 atitinkamai.

Tai yra labai svarbu, nes gali būti rimtos avarijos priežastis.

14.3 lentelė. Lokaliųjų makrokintamųjų mažiausios reikšmės (nenurodžius skyrimo taško)

Adresas	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
Kintamasis	,001	,001	,001	1,	1,	1,	-	1,	,001	,001	,001	-	1,
Adresas	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z
Kintamasis	-	-	-	,001	,001	1,	1,	,001	,001	,001	,001	,001	,001

Lokalesiems kintamiesiems reikšmes galima priskirti ir pačioje makroprogramoje, panašiai kaip tai buvo daroma 14.1 poskyryje. Jų reikšmes keisti tokiu atveju galima tik redaguojant programą. Kintamųjų asociatyvumas čia neturi tokios prasmės, kaip perduodant reikšmes iš išorės kodu G65. Makroprograma paleidžiama taip pat, kaip ir paprastos programos, tai yra mygtuku *Cycle Start*. Reikšmė kintamajam priskiriama nuo atitinkamos programos eilutės ir išsaugoma iki programos pabaigos. Paskui kintamojo reikšmė tampa neapibrėžta.

Makroprogramoje lokalesiems kintamiesiems galima priskirti ir kitų kintamųjų reikšmes, tarp jų ir iš kitų kintamųjų grupių. Su lokaliaisiais kintamaisiais galima atlikti aritmetines ir logines operacijas, kurios bus apžvelgtos vėliau.

14.3. Globalieji kintamieji

Globalieji makrokintamieji yra tokie, kurių reikšmės, pasibaigus programai, nenumetamos. Jų reikšmės išlieka net išjungus stakles iš tinklo (pažymėtina, kad taip būna ne visose sistemose). Globalieji kintamieji negali būti perduoti iš išorės, jiems reikiamas reikšmes galima priskirti makrokintamųjų ekrane arba pačioje programoje. Šios reikšmės išliks, jeigu nebus iš naujo priskirtos makroprogramoje arba pakeistos valdymo įrenginio makrokintamųjų lentelėje. Tokiu atveju ties makrokintamuoju atsiras nauja reikšmė, kuri bus išsaugota ir naudojama toliau.

Globalieji kintamieji nepasižymi asociatyvumu su adresais, nes jų reikšmės negali būti perduotos iš išorės. Pagal nustatytuosius parametrus jų reikšmės yra nulinės, o ne neapibrėžtos, kaip lokaliųjų kintamųjų.

Globaliųjų kintamųjų yra 497, jų numeriai sistemoje yra tokie: #100–#199, #500–#699 ir #800–#999. Tokiais numeriais į juos galima kreiptis programoje. Pateiksime programos fragmentą iš 14.1 poskyrio:

```
...;
... (programa);
...;
N45 #101=30.0 (globaliajam kintamajam #101 priskirti reikšmę 30);
N50 #102=50.0 (globaliajam kintamajam #102 priskirti reikšmę 50);
N55 G00 X50.0 Y30.0 (greitasis įrankio pozicionavimas virš griovelio pradžios taško XY plokštumoje);
N60 G43 H01 Z2.0 (greitasis įrankio pozicionavimas virš griovelio pradžios taško Z ašies kryptimi);
N65 G01 Z-3.0 F#101 M08 (įrankio įsipjovimas darbinio gyliu su pastūma, nurodyta globaliuoju kintamuoju #101, įjungiamas TAS siurblys);
N70 X180.0 F#102 (griovelio frezavimas su pastūma, nurodyta globaliuoju kintamuoju #102);
N75 Z3.0 M09 (įrankio atitraukimas, TAS siurblio išjungimas);
...;
... (programos tęsinys);
...;
N105 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);
```

Kintamiesiems #101 ir #102 reikšmės 30 ir 50 gali būti priskirtos ne tik programoje, bet ir makrokintamųjų lentelėje, įvedant prie šių kintamųjų reikšmes 30.0 ir 50.0 atitinkamai. Tada paleisti programą galima be eilučių N45 ir N50, kurios tampa nebereikalingos.

Makroprogramoje globaliesiems kintamiesiems galima priskirti kitų kintamųjų (taip pat ir kitų grupių kintamųjų) reikšmes. Su jais galima atlikti aritmetines ir logines operacijas, kurios bus apžvelgtos vėliau. Reikia atsiminti, kad šios grupės kintamajam priskirta paskutinė reikšmė visada išliks valdymo sistemos atmintyje. Paleidžiant programą iš naujo visi užprogramuoti veiksmai bus atlikti būtent su paskutine reikšme.

14.4. Sisteminiai kintamieji

Likę kintamieji vadinami sisteminiiais. Jie reikalingi norint pakeisti valdymo sistemos darbo sąlygas. Sisteminiams kintamiesiems reikšmės gali būti priskirtos arba nuskaitytos. Pirmuoju atveju galima tiesiogiai pakeisti valdymo sistemos būklę (pvz., priskirti naujas detalės koordinacijų sistemos G54 pradžios kompensacijų reikšmes). Antruoju atveju galima programuoti kažkokius veiksmus, priklausomai nuo nuskaitytos sisteminio kintamojo reikšmės (pvz., nuskaityti datą ir priklausomai nuo jos paleisti tam

tikro skaičiaus graviravimo makroprogramą). Kai kurių sisteminių kintamųjų reikšmės gali būti naudojamos tik skaityti (*Read Only*). Jos negali būti modifikuotos. Tokiu atveju nuskaitytas reikšmes galima priskirti kitiems kintamiesiems (globaliesiems arba lokalesiems). Paskui programoje su šių kintamųjų reikšmėmis galima atlikti visus reikalingus veiksmus (pvz., palyginti su kita reikšme ir priklausomai nuo rezultatų nukreipti programos vykdymą į tam tikrą eilutę).

Sisteminių kintamųjų negalima matyti makrokintamųjų puslapyje kaip lokaliųjų ir globaliųjų kintamųjų. Todėl priskirti jiems tam tikrą reikšmę galima tik programoje (pvz., eilute #...=1.0). Tas pat galioja ir nuskaitant. Nuskaityti sisteminio kintamojo reikšmę reiškia priskirti jo reikšmę kitos grupės kintamajam, pvz., #101=#3001. Tokiu atveju globaliajam kintamajam #101 bus priskirta sisteminio kintamojo #3001 (milisekundžių laikmačio) reikšmė. Toliau visus veiksmus atliekame su kintamuoju #101.

Pateiksime „HAAS“ firmos valdymo sistemos sisteminių kintamųjų sąrašą.

- #0 Neapibrėžtas kintamasis (tik skaityti)
- #700–#749 Paslėpti kintamieji, rezervuoti gamintojo
- #750–#751 Duomenų perdavimo iš nuoseklios jungties Nr. 2 (tik skaityti)
- #1000–#1063 64 diskretiniai įėjimai (tik skaityti)
- #1064–#1068 Didžiausios ašių X , Y , Z , A ir B apkrovos
- #1094 TAS lygis (tik skaityti)
- #1098 Suklio apkrova, kai naudojama pavara *Haas vector* (tik skaityti)
- #1100–#1139 40 diskretinių išėjimų
- #1140–#1155 16 papildomų relinių išėjimų
- #1264–#1268 Didžiausios ašių C , U , V , W ir T apkrovos
- #1601–#1800 Įrankių Nr. 1–200 drožlių griovelių skaičius
- #1801–#2000 Didžiausia užregistruota įrankių Nr. 1–200 vibracija
- #2001–#2200 Įrankių Nr. 1–200 ilgio kompensacija
- #2201–#2400 Įrankių Nr. 1–200 ilgio dilimo kompensacija
- #2401–#2600 Įrankių Nr. 1–200 skersmens/spindulio kompensacija
- #2601–#2800 Įrankių Nr. 1–200 skersmens/spindulio dilimo kompensacija
- #3000 Programuojamas aliarmas
- #3001 Milisekundžių laikmatis
- #3002 Valandų laikmatis
- #3003 Pavienių eilučių režimo valdymas
- #3004 Sistemos funkcijų blokavimas
- #3006 Programuojamas sustojimas su pranešimu
- #3011 Metai, mėnuo, diena
- #3012 Valanda, minutė, sekundė
- #3020 Įjungimo laikmatis
- #3021 Ciklo pradžios laikmatis
- #3022 Pastūmos laikmatis
- #3023 Apdirbamos detalės laikmatis

- #3024 Paskutinės apdirbtos detalės laikmatis (tik skaityti)
- #3025 Priešpaskutinės apdirbtos detalės laikmatis (tik skaityti)
- #3026 Įrankis suklyje (tik skaityti)
- #3027 Suklio sūkliai (tik skaityti)
- #3028 Pakrautos paletės numeris (tik skaityti)
- #3030 Pavienių eilučių režimas (tik skaityti)
- #3031 Patikra (tik skaityti)
- #3032 Eilutės nevykdymas (tik skaityti)
- #3033 Papildomas sustojimas (tik skaityti)
- #3201–#3400 Tikrasis įrankių Nr. 1–200 skersmuo
- #3401–#3600 Programuojamos TAS tūtos pozicija įrankiams Nr. 1–200
- #3901 M30 skaitiklis 1
- #3902 M30 skaitiklis 2
- #4001–#4021 G kodai, naudojami paskutinėje programos eilutėje
- #4101–#4126 Adresų A–Z reikšmės paskutinėje eilutėje
- #5001–#5005 Paskutinė užprogramuota pozicija X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu aktyvioje detalės koordinačių sistemoje
- #5021–#5025 Einamoji įrankio pozicija X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu staklių koordinačių sistemoje
- #5041–#5045 Įrankio pozicija X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu aktyvioje detalės koordinačių sistemoje įvertinant eilučių skaitymą į priekį
- #5061–#5069 Paskutinė praleidimo signalo pozicija pagal X, Y, Z, A, B, C, U, V ir W ašis
- #5081–#5085 Taikoma kompensacija (X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu atitinkamai)
- #5201–#5205 G52 kompensacija X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #5221–#5225 G54 kompensacija X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #5241–#5245 G55 kompensacija X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #5261–#5265 G56 kompensacija X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #5281–#5285 G57 kompensacija X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #5301–#5305 G58 kompensacija X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #5321–#5325 G59 kompensacija X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #5401–#5500 Įrankio darbo su pastūma laikmatis (sekundėmis)
- #5501–#5600 Įrankio naudojimo laikmatis (sekundėmis)
- #5601–#5699 Įrankių Nr. 1–200 patvarumo apribojimas
- #5701–#5800 Įrankių Nr. 1–200 kvietimų į darbo poziciją skaičius
- #5801–#5900 Didžiausia įrankių Nr. 1–200 apkrova
- #5901–#6000 Įrankių Nr. 1–200 apkrovos apribojimas
- #6001–#6277 Nustatymai (tik skaityti)
- #6501–#6999 Parametrai (tik skaityti)
- #7001–#7006 Papildoma detalės koordinačių pradžia G110 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu

- #7021–#7026 Papildoma detalės koordinačių pradžia G111 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7041–#7046 Papildoma detalės koordinačių pradžia G112 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7061–#7066 Papildoma detalės koordinačių pradžia G113 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7081–#7086 Papildoma detalės koordinačių pradžia G114 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7101–#7106 Papildoma detalės koordinačių pradžia G115 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7121–#7126 Papildoma detalės koordinačių pradžia G116 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7141–#7146 Papildoma detalės koordinačių pradžia G117 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7161–#7166 Papildoma detalės koordinačių pradžia G118 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7181–#7186 Papildoma detalės koordinačių pradžia G119 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7201–#7206 Papildoma detalės koordinačių pradžia G120 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7221–#7226 Papildoma detalės koordinačių pradžia G121 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7241–#7246 Papildoma detalės koordinačių pradžia G122 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7261–#7266 Papildoma detalės koordinačių pradžia G123 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7281–#7286 Papildoma detalės koordinačių pradžia G124 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7301–#7306 Papildoma detalės koordinačių pradžia G125 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7321–#7326 Papildoma detalės koordinačių pradžia G126 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7341–#7346 Papildoma detalės koordinačių pradžia G127 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7361–#7366 Papildoma detalės koordinačių pradžia G128 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7381–#7386 Papildoma detalės koordinačių pradžia G129 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #7501–#7506 Palečių eiliškumas
- #7601–#7606 Palečių būklė
- #7701–#7706 Programų, skirtų paletėms, numeriai

- #7801–#7806 Palečių skaitiklis
- #14001–#14006 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P1 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14021–#14026 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P2 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14041–#14046 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P3 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14061–#14066 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P4 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14081–#14086 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P5 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14101–#14106 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P6 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14121–#14126 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P7 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14141–#14146 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P8 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14161–#14166 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P9 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14181–#14186 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P10 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14201–#14206 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P11 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14221–#14221 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P12 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14241–#14246 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P13 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14261–#14266 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P14 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14281–#14286 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P15 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14301–#14306 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P16 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14321–#14326 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P17 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14341–#14346 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P18 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14361–#14366 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P19 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14381–#14386 Papildoma detalės koordinačių pradžia G154 P20 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu

- #14401–#14406 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P21 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14421–#14426 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P22 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14441–#14446 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P23 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14461–#14466 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P24 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14481–#14486 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P25 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14501–#14506 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P26 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14521–#14526 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P27 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14541–#14546 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P28 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14561–#14566 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P29 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14581–#14586 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P30 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14781–#14786 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P40 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #14981–#14986 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P50 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #15181–#15186 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P60 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #15381–#15386 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P70 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #15581–#15586 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P80 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #15781–#15786 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P90 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #15881–#15886 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P95 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #15901–#15906 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P96 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #15921–#15926 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P97 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #15941–#15946 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P98 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu
- #15961–#15966 Papildoma detalės koordinacių pradžia G154 P99 X, Y, Z, A ir B ašių atžvilgiu

Apžvelgsime pagrindinius šios grupės kintamuosius išsamiau.

Kintamasis #0 yra nematomas kintamųjų sąrašė. Jo reikšmė yra neapibrėžta, reikšmės priskirti jam negalima, ji tik nuskaitoma. Toks kintamasis yra naudingas, kai reikia patikrinti, ar kito kintamojo reikšmė nėra neapibrėžta ir, priklausomai nuo rezultato, nukreipti programos vykdymą į vieną arba kitą programos eilutę (jeigu kintamasis neapibrėžtas, galima sustabdyti programos vykdymą programuojamu aliarmu, jeigu reikšmė yra apibrėžta, programa gali būti vykdoma toliau).

Kintamieji #700–#749 yra panašūs į globaliuosius kintamuosius, tik nematomi kintamųjų sąrašė. Jie rezervuoti vidiniam valdymo sistemos naudojimui. Tai reiškia, kad šie kintamieji gali būti naudojami gamintojo sudarytose programose ir cikluose (pvz., teksto graviravimo G47), todėl geriausia vartotojams savo sudarytose makroprogramose jų nenaudoti.

Kintamieji #750 ir #751 naudojami darbui su nuosekliąja jungtimi (*Serial port*) 2. Kintamasis #750 tikrina, ar laukia perdavimo duomenys per jungtį RS232. Jeigu gražinamas skaičius 1, tai reiškia, kad duomenys laukia ir gali būti priimti; jei reikšmė 0 – duomenų nėra. Kintamuoju #751 galima nuskaityti pirmąjį simbolį iš įvesties buferio, jeigu duomenys laukia, t. y. kai kintamojo #750 reikšmė 1.

Kintamieji #1000–#1063 skirti darbui su išoriniais staklių įrenginiais (robotai, konvejeriai ir kita prie staklių įėjimų prijungta įranga). Reikšmės, atitinkančios šių įrenginių būklę (dažniausiai 1 – įjungta, 0 – išjungta), programoje gali būti nuskaitytos, palygintos su norimomis reikšmėmis, ir priklausomai nuo rezultato programa gali būti vykdoma vienaip arba kitaip.

Kintamieji #1064–#1068 ir #1264–#1268 saugo didžiausias užfiksuotas staklių ašių apkrovas. Šių apkrovų reikšmės makroprogramoje galima nuskaityti, palyginti su leistinomis ir priklausomai nuo rezultato nukreipti programą į kitą jos vietą, pavyzdžiui, nutraukti programuojamu aliarmu. Kintamųjų reikšmės gali būti nustatytos ant nulio išjungiant ir vėl įjungiant stakles arba programoje priskiriant jiems reikšmę 0, pavyzdžiui, #1064 = 0. Kintamieji #1064–#1068 saugo ašių X, Y, Z, A ir B apkrovas atitinkamai, o kintamieji #1264–#1268 – C, U, V, W ir T.

Kintamasis #1094 saugo reikšmę, atitinkančią TAS lygį tepimo ir aušinimo sistemos bake. Ši reikšmė gali būti tik nuskaityta.

Kintamieji #1100–#1139 ir #1140–#1155 naudojami diskretiniams išėjimams valdyti, tai yra keisti jų būvį. Prie šių išėjimų gali būti prijungtos papildomos pompos, zondai, tvirtinimo įtaisai ir pan. Jei išėjimai prijungti per reles, reikšmė 1 įjungia relę, reikšmė 0 išjungia relę. Pažymėtina, kad kai kurie iš šių kintamųjų (ir atitinkami išėjimai) gali būti jau rezervuoti staklių valdymo sistemos, todėl naudoti juos reikia labai atsargiai. Geriau, tai prieš darant, pasikonsultuoti su firmos atstovais. Kintamųjų (ir išėjimų) skaičius taip pat priklauso nuo staklių modelio ir komplektacijos, todėl gali skirtis.

Kintamieji #1601–#1800 skirti įrankių drožlių griovelių skaičiui nurodyti arba nuskaityti. Kintamasis #1601 nurodo įrankio dėtuvės lizde Nr. 1 drožlių griovelių skaičių,

kintamasis #1602 – įrankio Nr. 2 drožlių griovelių skaičių ir t. t. iki įrankio Nr. 200. Vykdamas makroprogramos eilutę:

#1601=3;

įrankiui Nr. 1 bus priskirtas drožlių griovelių skaičius 3. Šis skaičius taip pat pasirodys ir įrankių ilgių kompensacijų lentelės (9.8 pav.) stulpelyje *Flutes* ties įrankiu Nr. 1. Nuskaityti įrankio drožlių griovelių skaičių gali būti naudinga tada, kai ta pati pastūmos reikšmė, mm/dančiui, naudojama keliems įrankiams su skirtingais griovelių skaičiais, o pastūma, mm/min, skaičiuojama pačioje makroprogramoje. Toks pavyzdys pateiktas 14.6 posk.

Kintamieji #1801–#2000 leidžia nuskaityti didžiausias užfiksuotas įrankių (nuo Nr. 1 iki Nr. 200 atitinkamai) vibracijų reikšmes. Šios reikšmės toliau gali būti naudojamos pavyzdžiui palyginti su ribinėmis reikšmėmis programoje. Viršijant leistiną reikšmę programa gali būti nutraukiama programuojamu aliarmu. Kaip ir apkrovos kintamųjų #1064–#1068 ir #1264–#1268, kintamųjų #1801–#2000 reikšmės gali būti „numestos“ išjungiant ir vėl įjungiant stakles arba programoje priskiriant kintamiesiems reikšmę 0, pvz., #1802=0.

Sisteminiai kintamieji #2001–#2200 leidžia nurodyti arba nuskaityti įrankių Nr. 1–200 ilgių kompensacijas. Pavyzdžiui, eilutė #2002=-250.36 priskirs įrankiui dėtuvės lizde Nr. 2 ilgio kompensacijos reikšmę -250,36 mm, kuri atsiras įrankių ilgių kompensacijų lentelėje, *Length Geometry* stulpelyje (9.8 pav.) ties įrankiu Nr. 2. Ši reikšmė nuo eilutės vykdymo bus naudojama, kai taikoma įrankio ilgio kompensacija kodu G43, tai yra G43 Z... H02. Įrankių ilgio kompensacijos reikšmės gali būti ne tik priskirtos, jos taip pat gali būti nuskaitytos, su jomis galima atlikti įvairias aritmetines ir logines operacijas, kurios bus nagrinėjamos kitame poskyryje.

Kintamieji #2201–#2400 naudojami panašiai kaip ir #2001–#2200, tačiau jais galima nurodyti (arba nuskaityti) įrankių Nr. 1–200 dilimo kompensacijų pagal ilgį reikšmes. Nurodyta reikšmė bus priskirta atitinkamam įrankiui ir atsiras ilgių kompensacijų lentelėje (9.8 pav.), stulpelyje *Length Wear*. Ji bus pritaikyta (pridėta arba atimta priklausomai nuo ženklų) kartu su ilgio kompensacija kodu G43 H...

Kintamieji #2401–#2600 skirti nurodyti arba nuskaityti įrankių Nr. 1–200 skersmens/spindulio kompensacijų reikšmėms frezavimo arba tekinimo staklėse. Nurodyta skersmens/spindulio reikšmė atsiranda įrankio kompensacijų lentelėje *D(DIA) Geometry* (9.8 pav.) arba *Radius* (9.27 pav.) stulpelyje ir bus taikoma, kai aktyvūs kodai G41/G42 D...

Kintamieji #2601–#2800 skirti įrankių Nr. 1–200 skersmens/spindulio dilimo kompensacijai nurodyti. Šios reikšmės priklausomai nuo ženklų bus pridėamos arba atimamos iš skersmens/spindulio kompensacijos, kai aktyvūs kodai G41 D... arba G42 D...

Kintamasis #3000 leidžia sustabdyti programą aliarmu, panašiai kaip tai daro pati valdymo sistema, pavyzdžiui, kai įrankis perkraunamas, arba paspaudus mygtuką *Emergency Stop*. Šiuo atveju programuotojas pavojaus signalą programuoja pats pri-

klausomai nuo veiksmo su kintamaisiais rezultato. Pavyzdžiui, operatorius gali per klaidą priskirti neteisingą reikšmę kintamajam. Priskirta reikšmė palyginama su ribinėmis ir, jeigu ji yra neteisinga, programa sustabdoma. Sakykime, kintamojo #1 reikšmė negali viršyti 100. Tai patikrinti leis toks programos fragmentas:

```
000056
```

```
...;
```

```
...;
```

```
...;
```

```
IF[#1 LT 100.0] GOTO1 (kintamojo reikšmė tikrinama ir, jei mažesnė už 100, programa vykdoma nuo eilutės N1, jei sąlyga netenkinama, programa vykdoma nuo kitos eilutės);
```

```
#3000=1 (neteisinga #1 reikšmė);
```

```
N1 ...;
```

```
...;
```

```
...;
```

Jei operatorius MDI režimu paleis eilutę G65 P56 A105.0, kintamajam #1 bus priskirta reikšmė 105. Toliau programoje ji bus palyginta su ribine reikšme 100 ir viršijant ją perėjimas į eilutę N1 neįvyks, o bus vykdoma eilutė #3000=1, kuri sustabdys programos vykdymą programuojamu aliarmu 1001. Vaizduoklyje pasirodys pranešimas „neteisinga #1 reikšmė“. Aliarmą reikės atšaukti mygtuku *Reset*, o programą paleisti iš naujo.

Aliarmai programuojami priskiriant kintamajam #3000 reikšmes nuo 1 iki 999. Valdymo sistema pridės šį skaičių prie 1000, kuris ir bus aliarmo numeris (nuo 1001 iki 1999), atvaizduojamas specialiaame aliarmų ekrane. Vėliau juos galima peržiūrėti ir identifikuoti aliarmų sąrašė. Skliaustuose užrašomas pranešimas, jei reikia, kad jis būtų atvaizduotas vaizduoklyje.

Aliarmai Nr. 1–999 yra pačios „HAAS“ firmos valdymo sistemos vidiniai aliarmai (pvz., 102 „SERVOS OFF“ (servopavara išjungta)), todėl jų užprogramuoti negalima.

Kintamieji #3001 ir #3002 grąžina laikmačių reikšmes. Pirmasis kintamasis grąžina milisekundžių laikmačio, kuris atnaujinamas kas 20 ms, reikšmes, kitas – valandų laikmačio reikšmes. Abu laikmačiai yra nepriklausomi ir gali būti nustatomi atskirai vienas nuo kito. Šie laikmačiai nepertraukiamai atskaičiuoja laiką nuo staklių įjungimo į tinklą, pridėdant laiką prie esamos reikšmės. Laikmačiai nustatomi į nulį stakles įjungus į tinklą. Nustatyti į nulį laikmačius galima ir makroprogramoje priskiriant kintamajam #3001 arba #3002 0 (arba kitokią) reikšmę, pvz., #3001=0. Tokiu būdu nuskaičius toliau programoje kintamojo #3001 ar #3002 reikšmę, programuotojas gali nustatyti laiką, praėjusį nuo nustatymo į nulį. Turėdamas šį laiką jis gali programuoti reikiamos trukmės pauzes (panašiai kaip kodu G04), nuo laiko priklausomus staklių ir kitų įrenginių veiksmus, nustatyti laiką, reikalingą tam tikram staklių veiksmui atlikti, ir pan. Laikmačio naudojimo pavyzdys yra pateiktas kitame poskyryje.

Milisekundžių laikmačio limitas – 497 dienos.

Kintamasis #3003 reikalingas pavienių eilučių (*Single Block*) funkcijai valdyti pačioje programoje, nepaisant to, kad pavienių eilučių režimas įjungtas mygtuku *Single Block*. Jeigu kintamajam #3003 priskirta reikšmė 1, mygtukas *Single Block* bus ignoruojamas ir programos eilutėms vykdyti nereikės kiekvieną kartą spausti mygtuko *Cycle Start*. Jei kintamojo reikšmė yra 0 ir paspaustas *Single Block* mygtukas, valdymo sistema dirbs pavienių eilučių režimu. Pavyzdžiui, programos fragmente, pateiktame toliau, eilutės N01–N02 bus vykdomos nepertraukiamai, nepaisant to, kad yra aktyvus pavienių eilučių vykdymo režimas, o eilutės N03 ir tolesnės – pavienių eilučių režimu, t. y. kiekvienai iš jų vykdyti reikės spausti *Cycle Start* mygtuką.

```
...;
#3003=1;
N01 G21 G54 G90;
N02 T01 M06;
#3003=0;
N03 G00 X220.0 Y130.6;
N04 G43 Z5.0 H01;
N05 ...;
...;
...;
```

Šis kintamasis gali būti naudingas, kai reikia, kad dalis programos eilučių būtų vykdoma pavienių eilučių režimu, o dalis – nepertraukiamai. Tokiu atveju nereikia įjungti/išjungti pavienių eilučių režimo *Single Block* mygtuku operatoriaus valdymo pulte.

Kintamasis #3004 naudojamas kai kuriems sistemos darbo funkcijoms blokuoti. Jam galima priskirti reikšmes 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7. Kintamasis priklausomai nuo priskirtos reikšmės vykdant programą valdo galimybę sustabdyti įrankio pastumą mygtuku *Feed Hold*, didinti arba mažinti užprogramuotą pastumą mygtukais *Feed Rate* operatoriaus valdymo pulto skyriuje *Overrides*, taip pat tikslaus sustabdymo *Exact Stop* funkciją. Galimos kintamojo #3004 reikšmės ir funkcijų draudimai pateikti 14.4 lentelėje.

Kintamuoju #3006 programuojamas sustojimas, panašiai kaip kodu M00. Vykiant eilutę, kurioje šiam kintamajam priskiriama kokia nors reikšmė, sistema sustabdys programos vykdymą ir nevykdys kitų programos eilučių tol, kol nebus paspaustas mygtukas *Cycle Start*. Jį paspaudus programa bus tęsiama nuo kitos eilutės po eilutės su #3006. Eilutėje su #3006 apvaliuose skliaustuose galima užprogramuoti ne didesnę kaip 15 simbolių pranešimą, kuris bus parodomas programinio valdymo įrenginio vaizduoklyje, kai programa sustos. Pavyzdžiui, eilutė gali būti tokia:

```
...;
#3006=1 (sp Cycle Start);
...;
```

Pranešimas *sp Cycle Start* bus rodomas vaizduoklyje sustojus programai.

14.4 lentelė. Galimos kintamojo #3004 reikšmės ir funkcijos

Kintamojo #3004 reikšmė	Sistemos funkcija		
	pastūmos sustabdymas mygtuku <i>Feed Hold</i>	programuotos pastūmos reikšmės didinimas/mažinimas mygtukais <i>Feed Rate</i> valdymo pulto skyriuje <i>Overrides</i>	tikslus sustabdymas (<i>Exact Stop</i>)
0	Galimas	Galimas	Galimas
1	Negalimas	Galimas	Galimas
2	Galimas	Negalimas	Galimas
3	Negalimas	Negalimas	Galimas
4	Galimas	Galimas	Negalimas
5	Negalimas	Galimas	Negalimas
6	Galimas	Negalimas	Negalimas
7	Negalimas	Negalimas	Negalimas

Kintamasis #3011 grąžina einamosios dienos datą tokiu formatu: metai, mėnuo, diena. Grąžinamas skaičius atrodo taip: 90503. Čia pirmasis skaičius reiškia paskutinį metų skaičių, kiti du skaičiai – mėnesį, paskutiniai du skaičiai – dieną. Šį skaičių galima panaudoti, pavyzdžiui, atitinkamoms makroprogramos paprogramėms paleisti, priklausomai nuo datos, tam, kad tam tikromis dienomis būtų paleista viena programos dalis, kitomis – kita.

Kintamasis #3012 leidžia nuskaityti valandą, minutę, sekundę tuo laiko momentu, kai į jį kreipiasi. Nuskaitomas skaičius, pvz., 162536, pirmieji du skaičiai nurodo valandą, kiti du – minutes ir paskutiniai du – sekundes.

Kintamieji #3020–#3025 leidžia nuskaityti reikšmes, pagal kurias galima nustatyti, kiek laiko staklės buvo įjungtos (#3020), kiek trunka apdirbimo ciklas nuo programos paleidimo (#3021), kiek laiko buvo dirbama su pastūma (#3022). Nuskaitomi skaičiai, išreikšti sekundėmis. Kintamųjų reikšmės gali būti ir nustatomos į nulį, programoje suteikus joms 0 reikšmes. Kintamasis #3023 saugo einamojo ciklo trukmę, s, t. y. laiką, skaičiuojamą nuo programos paleidimo momento iki nuskaitymo. Kintamasis #3024 saugo paskutinės įvykdytos programos trukmę, s. Pagaliau kintamasis #3025 saugo priešpaskutinės įvykdytos programos trukmę, s.

Kintamieji #3026–#3028 leidžia nuskaityti įrankio, esančio suklyje, numerį dėtuvėje (#3026), suklio sūkius (#3027) ir pakrautos paletės numerį (#3028).

Kintamieji #3030–#3033 skirti kai kurių režimų būklei patikrinti. Taip kintamuoju #3030 galima patikrinti, ar įjungtas pavienių eilučių (*Single Block*) režimas. Jei režimas

įjungtas, jo reikšmė 1, priešingu atveju – 0. Nuskaičius kintamojo #3031 reikšmę galima nustatyti, ar aktyvus programos patikros (*Dry Run*) režimas. Kintamojo #3032 reikšmė nurodo eilučių praleidimo (*Block Delete*) režimo būklę. Kintamasis #3033 tikrina, ar aktyvus yra papildomo sustojimo (*Option Stop*) režimas.

Kintamieji #3201–#3400 leidžia nurodyti arba nuskaityti tikruosius įrankių Nr. 1–200 skersmenis atitinkamai. Šie skaičiai saugomi įrankių kompensacijų lentelės stulpelyje *Actual Diameter* ties atitinkamu įrankio numeriu.

Kintamieji #3401–#3600 leidžia nurodyti arba nuskaityti makroprogramoje programuojamos TAS tūtos poziciją (sveikieji skaičiai nuo 1 iki 20) įrankiams nuo Nr. 1 iki Nr. 200 atitinkamai, jeigu staklėse yra programuojama tūta. Šie skaičiai saugomi įrankių kompensacijų lentelės *Coolant Position* stulpelyje (9.8 pav.). Tokiu būdu kiekvienam įrankiui gali būti priskirta optimali tūtos pozicija, kurią tūta užima, kai pasirenkamas tam tikras įrankis kodu T... M06.

Kintamieji #3901 ir #3902 yra programos pabaigos kodų skaitikliai. Abu šie kintamieji saugo skaičius, kurie atitinka M30 kodų vykdymo skaičių. Tokie skaitikliai gali būti naudingi norint nutraukti apdirbimą po tam tikro programos įvykdymų skaičiaus. Makroprogramą galima parašyti taip, kad, apdirbus reikiamą detalių skaičių, ji sustotų automatiškai ir operatoriui nereikėtų skaičiuoti, kiek detalių pagaminta šia programa. Abu skaitikliai gali būti nustatomi į nulį priskyrus kintamiesiems #3901 arba #3902 reikšmę 0.

Kintamieji #4001–#4021 saugo informaciją apie tai, koks iš modalinių G kodų buvo naudojamas paskutinėje prieš nuskaitytą eilutę. „HAAS“ firmos staklių modaliniai G kodai suskirstyti grupėmis nuo 1 iki 21. Kintamųjų skaičius atitinka šių grupių skaičių. Taigi jeigu reikia programoje nustatyti, koks iš 01 grupės G-kodų (G00, G01, G02 arba G03) buvo naudojamas paskutinis, reikia nuskaityti kintamojo #4001 reikšmę. Norint nustatyti, koks iš 02 grupės G kodų buvo naudojamas paskutinis, reikia nuskaityti kintamojo #4002 reikšmę ir t. t. Negalima nustatyti tik 00 grupės G kodų reikšmės, nes nemodaliniams G kodams atitinkamo kintamojo nenumatyta. Pavyzdžiui, vykdant fragmentą:

```
...;
G90 G17 G54;
T01 M06;
S2000 M03;
G00 X50.6 Y220.3;
G43 Z5.0 H01;
G01 Z-10.0 F80.0;
#101=#4001;
#102=#4003;
...;
```

kintamajam #101 bus priskirta reikšmė 1.0, nes paskutinis 01 grupės G kodas yra G01. Kintamajam #102 bus priskirta reikšmė 90.0, nes paskutinis 03 grupės kodas yra G90.

Nuskaitytos reikšmės programoje gali būti naudojamos toliau G adresų reikšmėms valdyti.

Kintamieji #4101–#4126 saugo informaciją apie kitų adresų nuo A iki Z (išskyrus G) reikšmes naudojamas paskutinėje apdorotoje programos eilutėje. Kintamųjų numeriai (atmetus pirmuosius du skaičius) atitinka adresus pagal 14.1 lentelę. Taigi paskutinė adreso A reikšmė gali būti nuskaityta kintamuoju #4101, X – #4124 ir pan. Pavyzdžiui, vykdant programos fragmentą:

```
...;
G90 G17 G54;
T01 M06;
S2000 M03;
G00 X50.6 Y220.3;
G43 Z5.0 H01;
G01 Z-10.0 F80.0;
#101=#4126;
#102=#4119;
...;
```

kintamajam #101 bus priskirta reikšmė –10,0, nes paskutinė adreso Z reikšmė yra –10. Kintamajam #102 bus priskirta reikšmė 2000.0, nes paskutinė adreso S reikšmė yra 2000.

Per kintamuosius #5001–#5005 programuotojas gali nuskaityti paskutines užprogramuotas įrankio koordinatas aktyvioje detalės koordinačių sistemoje. Gali būti nuskaitytos X (#5001), Y (#5002), Z (#5003), A (#5004), B (#5005) ašių koordinatės.

Pavyzdžiui, fragmentas:

```
...;
G00 X50.6 Y220.3;
G43 Z5.0 H01;
G01 Z-10.0 F80.0;
#101=#5001;
#102=#5003;
...;
```

kintamajam #101 priskirs reikšmę 50,6, o kintamajam #102 – reikšmę –10.

Kintamojo #5003 (Z) reikšmė nuskaityta įvertinant įrankio ilgio kompensaciją.

Kintamaisiais #5021–#5025 galima nuskaityti įrankio paskutines X, Y, Z, A ir B koordinatas staklių, o ne detalės koordinačių sistemoje. Skirtingai nuo #5001–#5005 šios reikšmės negali būti nuskaitytos įrankių judesių metu, o nuskaityta gali būti tik einamoji pozicija, kurioje įrankis jau yra. Kintamojo #5023 (Z) reikšmė nuskaityta su įrankio ilgio kompensacija.

Kintamaisiais #5041–#5045 galima nuskaityti įrankio X, Y, Z, A ir B koordinatas aktyviojoje detalės koordinačių sistemoje (pvz., G54), įvertinant eilučių skaitymą į priekį.

Pavyzdžiui, vykdant programos fragmentą:

```
...;
G00 X50.6 Y220.3;
G43 Z5.0 H01;
G01 Z-10.0 F80.0;
#101=#5041;
G01 X25.0 F155.0;
...;
```

priklausomai nuo to, kiek eilučių nuskaitoma į priekį („HAAS“ sistemoje šis skaičius nurodomas kodu G103), kintamajam #101 gali būti priskirta reikšmė arba 50,6 arba 25.

Kintamojo #5043 (Z) reikšmė gaunama su įrankio ilgio kompensacija.

Kintamaisiais #5061–#5069 galima nustatyti koordinates X, Y, Z, A, B, C, U, V ir W, prie kurių buvo paskutinis praleidimo signalas. Šios koordinatės yra aktyvioje detalės koordinacių sistemoje ir gali būti gautos judesio metu. Šios reikšmės dažniausiai naudojamos ruošiant programas automatiniam staklių darbui su įrankių ir detalių matavimo zondais.

Kintamieji #5081–#5085 skirti aktyviųjų (taikomų) kompensacijų reikšmėms nustatyti. Kintamasis #5081 saugo taikomos X ašies kryptimi (pvz., frezos spindulio/skersmens kompensacijos reikšmę frezavimo staklėse, kuri pritaikoma kodais G41/G42) kompensacijos reikšmę. Kintamasis #5082 daro tą patį Y ašies kryptimi, #5083 – Z ašies kryptimi (pvz., įrankio ilgio kompensaciją, taikomą frezavimo staklėse kodu G43), #5084 – A ašies atžvilgiu, #5085 – B ašies atžvilgiu. Norint nuskaityti kompensacijos reikšmę, ji pirmiausiai turi būti pritaikyta, o paskui nuskaityta. Pavyzdžiui, vykdant programos fragmentą:

```
...;
T2 M06;
...;
#105=#5083;
G00 X152.0;
G43 H02 Z5.0;
...;
```

kintamojo #105 reikšmė bus lygi nuliui, nes jokia ilgio kompensacija pagal Z ašį dar nepritaikyta. Padėtis pasikeis, kai programos fragmentas atrodys taip:

```
...;
T2 M06;
...;
G00 X152.0;
G43 H02 Z5.0;
...;
#105=#5083;
...;
```

Šiuo atveju kintamojo #105 reikšmė bus lygi įrankio, esančio dėtuvės lizde Nr. 2 ilgio kompensacijai, kurios reikšmė saugoma įrankių kompensacijų lentelėje.

Kintamieji #5221–#5225; #5241–#5245; #5261–#5265; #5281–#5285; #5301–#5305; #5321–#5325 skirti pagrindinių detalės koordinačių sistemų G54, G55, G56, G57, G58, G59 pradžių kompensacijoms *X*, *Y*, *Z*, *A* ir *B* ašių atžvilgiu nustatyti arba nuskaityti. Nustatant reikšmė atsirad detalės koordinačių sistemų pradžių kompensacijų lentelėje (9.8 pav., *Work Zero Offset*) ir bus taikoma nuo naujos reikšmės priskyrimo vietos tol, kol reikšmė bus pakeista arba kol bus pereita į kitą koordinačių sistemą (pvz., G55). Pavyzdžiui, eilutėmis

#5221=–256.0;
#5222=–300.456;

bus nustatyta nauja detalės koordinačių sistemos G54 pradžia pagal *X* ir *Y* ašis –256 ir –300,456 atitinkamai. Šios reikšmės bus naudojamos kaip detalės *X* ir *Y* nulis įrankio judesiams atlikti.

Eilutės:

#3=#5221;
#4=#5222;

leis nuskaityti ir lokalesiems kintamiesiems #3 bei #4 priskirti reikšmes, atitinkančias *X* ir *Y* detalės koordinačių sistemos G54 pradžios kompensacijas –256 ir –300,456.

Nuskaityti arba priskirti galima ne tik pagrindinių, bet ir papildomų detalės koordinačių sistemų pradžių kompensacijų reikšmes. Tam naudojami sisteminiai kintamieji #7001–#7386 ir #14001–#15966.

Kintamaisiais #5401–#5500 galima nuskaityti laiką (sekundėmis), kurį kiekvienas įrankis nuo Nr. 1 iki Nr. 200 dirbo su pastūma. Kintamieji #5501–#5600 leidžia nustatyti, kiek laiko įrankis buvo suklyje nepriklausomai nuo to, dirbo jis su pastūma ar buvo varinėjamas pagreitintai. Reikšmė nuskaityta sekundėmis. Kintamieji #5601–#5699 leidžia įrankiams Nr. 1–200 priskirti patvarumo ribas, kurios atvaizduojamos įrankio patvarumo (*Tool Life*) lentelės stulpelyje *Alarm*. Šios ribos programuojamos minutėmis, pasiekus ribą, programa bus sustabdyta aliarmu. Kintamieji #5701–#5800 leidžia nustatyti, kiek kartų įrankis iš dėtuvės lizdų Nr. 1–200 buvo kviečiamas į darbo poziciją, t. y. nuskaitytas skaičius iš patvarumo (*Tool Life*) lentelės stulpelio *Usage*. Visi kintamieji gali būti nustatyti į nulį priskiriant atitinkamam kintamajam reikšmę 0.

Kintamieji #5801–#5900 leidžia nuskaityti darbo metu nustatytas didžiausias įrankių Nr. 1–200 apkrovimo reikšmes, kurias taip pat galima matyti ir specialiu programinio valdymo įrenginio vaizduoklio režimu, įrankių apkrovimo lentelės (*Tool Load*) stulpelyje *Max*. Reikšmės išreiškiamos procentais. Kintamieji #5901–#6000 skirti įrankių Nr. 1–200 leistinai apkrovai riboti, priskiriant jiems atitinkamas reikšmes, procentais. Viršijus šias reikšmes staklės bus sustabdytos. Nurodyta reikšmė atsirad *Tool Load* lentelėje stulpelyje *Limit*.

Kintamieji #6001–#6277 suteikia prieigą prie sistemos nustatymų (*Settings*). Jų reikšmės, jeigu yra skaičiai, o ne raidės (pvz., *dimensioning* – *mm* arba *inch* (coliai)), gali būti tik nuskaitytos. Nustatymų numeriai turi atitikti kintamųjų numerius. Pavyzdžiui, norint nustatyti staklių serijos numerį (nustatymas 26), reikia nuskaityti kintamojo #6026 reikšmę ir pan.

Kintamieji #6501–#6999 saugo staklių parametrų reikšmes. Naudodamas šiuos kintamuosius programuotojas gali nuskaityti staklių parametrų reikšmes, tačiau tik nuskaityti. Parametrų reikšmes galima peržiūrėti ir keisti specialiame vaizduoklio puslapyje *Parameters*, kurį galima atidaryti paspaudus mygtuką *PARAM/DGNOS* programinio valdymo įrenginio pulte.

14.5. Veiksmai, atliekami su makrokintamaisiais

Aritmetiniai veiksmai

Su makrokintamaisiais galima atlikti keturis aritmetinius veiksmus, t. y. kintamieji programoje gali būti sudedami, atimami, dalijami arba dauginami vieni su kitais arba su skaičiais. Tam naudojami atitinkami operatoriai, pavyzdžiui:

#8=#4+#5 (sudėti lokaliųjų kintamųjų #4 ir #5 reikšmes ir gautą reikšmę priskirti lokaliajam kintamajam #8);

#105=#105+2.3 (prie globaliojo kintamojo #105 pridėti skaičių 2,3 ir gautą reikšmę priskirti tam pačiam kintamajam #105);

#107=#1-#5 (iš lokalojo kintamojo #1 reikšmės atimti lokalojo kintamojo #5 reikšmę ir gautą reikšmę priskirti globaliajam kintamajam #107);

#107=25.0-#1 (iš 25 atimti lokalojo kintamojo #1 reikšmę ir gautą reikšmę priskirti globaliajam kintamajam #107);

#5=#1*#2 (sudauginti lokaliųjų kintamųjų #1 ir #2 reikšmes ir gautą reikšmę priskirti lokaliajam kintamajam #5);

#105=#1*#1 (lokalojo kintamojo #1 reikšmę pakelti kvadratu ir gautą reikšmę priskirti globaliajam kintamajam #105);

#5=#1/#2 (lokalojo kintamojo #1 reikšmę padalyti iš kintamojo #2 reikšmės ir gautą reikšmę priskirti lokaliajam kintamajam #5);

#5=#1/3.0 (lokalojo kintamojo #1 reikšmę padalyti iš 3 ir gautą reikšmę priskirti lokaliajam kintamajam #5);

Aritmetinius veiksmus galima atlikti ir su sisteminiiais kintamaisiais. Jeigu jie skirti tik skaityti, rezultatą galima priskirti kitam kintamajam (pvz., globaliajam):

#105=#3001+2000.0 (prie milisekundžių laikmačio reikšmės pridėti 2 sekundes (2000 ms) ir rezultatą priskirti kintamajam #105);

Jeigu sisteminis kintamasis skirtas ne tik skaityti – galutinę reikšmę galima priskirti pačiam sisteminiam kintamajam, pavyzdžiui:

#5221=#5221+2.0 (G54 koordinatinių sistemos pradžios kompensaciją X ašies kryptimi sumažinti 2 mm);

Be to, aritmetinius veiksmus galima atlikti ir su didesniu negu du kintamųjų arba skaičių skaičiumi, pavyzdžiui:

#8=#3+#4+#5 (sudėti lokaliųjų kintamųjų #3, #4 ir #5 reikšmes ir gautą reikšmę priskirti lokaliajam kintamajam #8);

...;

#1=5.0 (lokaliajam kintamajam #1 priskirti reikšmę 5);

#2=2.0 (lokaliajam kintamajam #2 priskirti reikšmę 2);

#3=3.0 (lokaliajam kintamajam #3 priskirti reikšmę 3);

#108=#1+#2+#3 (globaliajam kintamajam #108 priskirti reikšmę 10 (5 + 2 + 3));

#109=[#1+#2+#3]*9 (globaliajam kintamajam #109 priskirti reikšmę 90 ((5 + 2 + 3)9));

...;

Funkcijos

Dirbant su makrokintamaisiais galima naudoti įvairias matematinės funkcijas:

SIN[...] (sinusas, argumento ... reikšmė nurodoma laipsniais);

COS[...] (kosinusas, argumento ... reikšmė nurodoma laipsniais);

TAN[...] (tangentas, argumento ... reikšmė nurodoma laipsniais);

ASIN[...] (arksinusas, argumento ... reikšmė nurodoma kaip dešimtainė trupmena, galutinė reikšmė nuskaitoma laipsniais);

ACOS[...] (arkkosinusas, argumento ... reikšmė nurodoma kaip dešimtainė trupmena, galutinė reikšmė nuskaitoma laipsniais);

ATAN[...] (arktangentas, argumento ... reikšmė nurodoma kaip dešimtainė trupmena, galutinė reikšmė nuskaitoma laipsniais);

SQRT[...] (kvadratinė šaknis, argumento ... reikšmė nurodoma kaip dešimtainė trupmena, galutinė reikšmė nuskaitoma taip pat kaip dešimtainė trupmena);

ABS[...] (absoliučioji argumento ... reikšmė);

ROUND[...] (suapvalina argumento ... reikšmę iki artimiausio skaičiaus (ne visada sveikojo));

FIX[...] (atmetama argumento ... trupmeninė dalis ir nuskaitomas sveikasis skaičius);

Pavyzdžiui, įvykdžius programos fragmentą:

#3=45.0;

#105=SIN[#3];

globaliajam kintamajam #105 bus priskirta reikšmė $\sin 45^\circ$, tiksliau 0,707107. Galimos operacijos ne tik su kintamaisiais, bet ir su skaičiais, pavyzdžiui:

#105=SIN[45.0];

Funkcija „apvalinti“, arba ROUND, reikšmes pateikia dvejopai priklausomai nuo to, kaip ji naudojama. Jeigu ši funkcija naudojama atliekant tiesioginius veiksmus su

makrokintamaisiais arba skaičiais, argumento reikšmė bus suapvalinta iki artimiausio sveikojo skaičiaus pagal matematikos taisyklę, pagal kurią trupmeninė argumento dalis, didesnė arba lygi 0,5, apvalinama iki didesnio sveikojo skaičiaus, o mažesnė už 0,5 apvalinama iki mažesnio sveikojo skaičiaus. Pavyzdžiui, įvykdžius fragmentą:

```
#3=45.35;
#105=ROUND[#3];
```

globaliajam kintamajam #105 bus priskirta reikšmė 45. Jeigu vykdomas programos fragmentas:

```
#3=45.51;
#1=ROUND[#3];
```

lokaliajam kintamajam #1 bus priskirta reikšmė 46.

Jeigu funkcija ROUND naudojama adresų išraiškose, argumento reikšmė apvalinama ne iki sveikojo, bet iki artimiausio *reikšmingo* skaičiaus. Taigi kai staklėmis dirbama metrinėje sistemoje, koordinatės galima nurodyti vieno mikrometro tikslumu, t. y. galima naudoti tris skaičius po kablelio (colinėje sistemoje – keturi skaičiai po kablelio), trys skaičiai po kablelio leidžiami ir kampų dydžiams nurodyti. Dirbant su kintamaisiais leidžiama naudoti šešis skaičius po kablelio, todėl eilutės, pateiktos toliau, bus vykdomos taip ir tik taip, kaip nurodyta komentaruose nurodytuose skliaustuose.

```
#1=25.033435 (lokaliajam kintamajam #1 priskiriama reikšmė 25,033435);
#2=100.2536 (lokaliajam kintamajam #2 priskiriama reikšmė 100,2536);
...;
...;
...;
G00 X[ROUND[#1]+ROUND[#1]] Y[ROUND[#2]+ROUND[#2]] (įrankis pagreitintai juda į tašką
X50,066 Y200,508 (25,033 + 25,033 = 50,066 ir 100,254 + 100,254 = 200,508));
...;
```

Jeigu programos fragmentas būtų užrašytas taip, kaip pateikta toliau, viskas būtų kitaip:

```
#1=25.033435 (lokaliajam kintamajam #1 priskiriama reikšmė 25,033435);
#2=100.2536 (lokaliajam kintamajam #2 priskiriama reikšmė 100,2536);
...;
...;
...;
G00 X[#1+#1] Y[#2+#2] (įrankis pagreitintai juda į tašką X50,067 Y200,507 (25,033435 +
25,033435 = 50,06687 ⇒ 50,067 ir 100,2536 + 100,2536 = 200,5072 ⇒ 200,507));
...;
```

Dar kitaip būtų, jei fragmentas būtų toks:

```
#1=25.033435 (lokaliajam kintamajam #1 priskiriama reikšmė 25,033435);
#2=100.2536 (lokaliajam kintamajam #2 priskiriama reikšmė 100,2536);
...;
...;
...;
#1=ROUND[#1] (lokaliajam kintamajam #1 priskiriama suapvalinta kintamojo #1 reikšmė 25);
#2=ROUND[#2] (lokaliajam kintamajam #2 priskiriama suapvalinta kintamojo #2 reikšmė 100);
G00 X[#1+#1] Y[#2+#2] (įrankis pagreitintai juda į tašką X50 Y200 (25 + 25 = 50 ir 100 + 100 = 200));
...;
```

Funkcija FIX, skirtingai nuo funkcijos ROUND, *atmeta* trupmeninę argumento dalį, o neapvalina jo iki artimiausio skaičiaus. Nepriklausomai nuo to, kaip naudojama funkcija FIX, ji grąžina sveikąjį skaičių. Šių funkcijų veikimo skirtumas paaiškinamas toliau pateiktais pavyzdžiais su komentarais skliaustuose.

```
...;
#109=COS[45.] (globaliajam kintamajam #109 priskiriama reikšmė  $\cos 45^\circ - 0,707107$ );
#111=ROUND[#109] (globaliajam kintamajam #111 priskiriama suapvalinta kintamojo #109 reikšmė - 1);
#112=FIX[#109] (globaliajam kintamajam #112 priskiriama kintamojo #109 reikšmė be trupmeninės dalies - 0);
...;
...;
#1=5.2 (lokaliajam kintamajam #1 priskiriama reikšmė 5,2);
#2=ROUND[#1] (lokaliajam kintamajam #2 priskiriama suapvalinta kintamojo #1 reikšmė - 5);
#3=FIX[#1] (lokaliajam kintamajam #3 priskiriama kintamojo #1 reikšmė be trupmeninės dalies - 5);
...;
...;
#1=25.533435 (lokaliajam kintamajam #1 priskiriama reikšmė 25,533435);
#2=100.2536 (lokaliajam kintamajam #2 priskiriama reikšmė 100,2536);
...;
...;
...;
G00 X[ROUND[#1]+ROUND[#1]] Y[ROUND[#2]+ROUND[#2]] (įrankis pagreitintai juda į tašką X51,066 Y200,508 (25,533 + 25,533 = 51,066 ir 100,254 + 100,254 = 200,508));
...;
...;
#1=25.533435 (lokaliajam kintamajam #1 priskiriama reikšmė 25,533435);
#2=100.2536 (lokaliajam kintamajam #2 priskiriama reikšmė 100,2536);
...;
...;
```

...;

G00 X[FIX[#1]+FIX[#1]] Y[FIX[#2]+FIX[#2]] (įrankis pagreitintai juda į tašką X50,000 Y200,000 (25 + 25 = 50 ir 100 + 100 = 200));

...;

Iš pateiktų pavyzdžių matoma, kad vietoje kintamojo numerio adreso reikšmei nurodyti gali būti naudojama iš karto aritmetinė išraiška. Pavyzdžiui, toliau pateikti programų fragmentai bus interpretuoti visiškai identiškai:

...;

#1=120.5;

#3=25.0;

#4=#1+SIN[#3];

G01 X#4 F220.0;

...;

...;

#1=120.5;

#3=25.0;

G01 X[#1+SIN[#3]] F220.0;

...;

...;

G01 X[120.5+SIN[25.0]] F220.0;

...;

Kai vietoje adreso reikšmės nurodoma išraiška, ji turi būti užrašyta kvadratinuose skliaustuose.

Į kintamojo reikšmę gali būti kreipiamasi ir netiesiogiai. Tokiu atveju kintamojo numeris nurodomas tarp kvadratinių skliaustų, o prieš skliaustus rašomas dar vienas ženklas #. Pavyzdžiui,

#1=120.0;

#[#1]=25.0;

eilutė #[#1]=25.0 globaliajam kintamajam #120 priskirs reikšmę 25. Kita eilutė:

#3=#[5200.0+21.0];

lokaliajam kintamajam #3 priskirs sisteminio kintamojo #5221 reikšmę.

Bulio ir loginiai operatoriai

Šie operatoriai dažniausiai naudojami sąlyginėse išraiškose, nors taip būna ne visada. Jie leidžia palyginti makrokintamųjų reikšmes (arba jų reikšmes su skaičiais) ir priklausomai nuo rezultato programos vykdymą nukreipti į tam tikrą eilutę. Yra 6 Bulio operatoriai:

EQ (*Equal to* – lygus kokiam nors reikšmei);

NE (*Not equal to* – nelygus kokiam nors reikšmei);

GT (*Greater than* – didesnis už kokią nors reikšmę);

LT (*Less than* – mažesnis už kokią nors reikšmę);

GE (*Greater than or equal to* – didesnis arba lygus kokiam nors reikšmei);

LE (*Less than or equal to* – mažesnis arba lygus kokiam nors reikšmei);

Išvardyti operatoriai dažnai naudojami su loginiais operatoriais OR (arba) ir AND (ir). Be to, naudojamas operatorius IF (jeigu) su perėjimo operatoriumi GOTO... (per-eiti į eilutę ...) arba vykdymo THEN (tada), taip pat ciklo operatorius WHILE ... DO (kol tenkinama sąlyga ... vykdyti programą iki eilutės *n*). Pateiksime keletą pavyzdžių.

IF[#3 GE 5.0] THEN#3=25.0 (patikrinti, ar lokalojo kintamojo #3 reikšmė yra didesnė arba lygi 5 ir, jeigu sąlyga tenkinama, priskirti kintamajam #3 reikšmę 25. Jei sąlyga netenkinama, vykdoma kita programos eilutė);

IF[#3 NE 4.5] GOTO2 (patikrinti, ar lokalojo kintamojo #3 reikšmė nelygi 4,5 ir, jeigu sąlyga tenkinama, programos vykdymą tęsti nuo eilutės N2. Jei sąlyga netenkinama, vykdoma kita programos eilutė);

IF[#105 EQ 0.0]AND[#106 LT 10.0]] GOTO1 (patikrinti, ar globaliojo kintamojo #105 reikšmė lygi 0, o globaliojo kintamojo #106 reikšmė yra mažesnė už 10, ir, jeigu abi sąlygos tenkinamos, programa vykdoma nuo eilutės N1. Jei kuri nors arba abi sąlygos netenkinamos, vykdoma kita programos eilutė);

IF[#105 EQ 0.0]OR[#106 LT 10.0]] GOTO1 (patikrinti, ar globaliojo kintamojo #105 reikšmė lygi 0, o globaliojo kintamojo #106 reikšmė mažesnė už 10, ir, jeigu kokios nors iš šių sąlygų tenkinama, programą vykdyti nuo eilutės N1. Jei abi sąlygos netenkinamos, vykdoma kita programos eilutė);

WHILE[#3 LT 25.0] DO1 (kartoti programos fragmentą nuo šios eilutės iki eilutės END1 tol, kol lokalojo kintamojo #3 reikšmė mažesnė už 25);

...;

...;

...;

END1 (ciklo pabaiga);

...;

Vietoje operatoriaus GOTO... „HAAS“ firmos valdymo sistemoje gali būti naudojamas M kodas M99 P... Taip anksčiau užrašyta eilutė IF[#3 NE 4.5] GOTO2 gali būti užrašyta ir taip:

IF[#3 NE 4.5] M99 P2;

Rezultatas tas pats – programa toliau bus vykdoma nuo eilutės N2, jeigu tenkinama sąlyga #3 ≠ 4,5, priešingu atveju programa bus vykdoma nuo kitos eilutės. Operatorius GOTO... gali būti naudojamas ne tik makroprogramose, bet ir paprastose programose (net jeigu staklėse nėra makroprogramavimo funkcijos), kai reikia pereiti į kitą programos vietą, panašiai kaip su kodu M99 P... (žr. 12.2 posk.).

Operatorių IF galima ir nenurodyti, pavyzdžiui:

[#3 NE 4.5] M99 P2;

[#3 NE 4.5] GOTO2;

Toks sutrumpintas užrašymas makroprogramose taip pat gali būti naudojamas.

Naudojant operatorių GOTO, eilutės, prie kurios reikia pereiti, numeris gali būti nurodytas ne tik kaip skaičius, bet ir kaip makrokintamojo numeris arba kaip matematinis reiškiny. Ir vienu, ir kitu atveju kintamojo arba reiškinio galutinė reikšmė bus suapvalinta iki artimiausio sveiką skaičiaus, paskui įvyks perėjimas. Pavyzdžiui, vykdant programos fragmentą:

```

...;
#2=1.2 (lokaliajam kintamajam #2 priskiriama reikšmė 1,2);
IF[#3 LT 4.0] GOTO#2 (patikrinti, ar lokaliojo kintamojo #3 reikšmė yra ne didesnė už 4; jeigu sąlyga tenkinama, pereiti prie eilutės, kurios numeris nurodytas kintamuoju #2. Jo reikšmė bus suapvalinta iki 1, programa bus vykdoma nuo eilutės N1);
#3000=1 (programuojamas aliarmas);
N1 ... (programos eilutė N1, nuo kurios bus vykdoma programa, jeigu tenkinama sąlyga #3 < 4);
...;

```

valdymo sistema vykdančią perėjimą GOTO#2 (*tik vykdančią perėjimą*, atliekant kitas operacijas bus naudojama reikšmė 1,2) suapvalins kintamojo #2 reikšmę iki 1 ir nukreips programą į eilutę N1. Jeigu programos fragmentas būtų užrašytas taip:

```

...;
#115=25.536 (globaliajam kintamajam #115 priskiriama reikšmė 25,536);
IF[#3 LT 4.0] GOTO#115;
...;

```

perėjimas vyktų į programos eilutę N26 todėl, kad kintamojo #115 reikšmė 25,536 būtų suapvalinta iki artimiausio didesnio sveikojo skaičiaus 26. Pagal apvalinimo taisyklę tam skaičiaus 25,536 trupmeninė dalis turi būti didesnė arba lygi 0,5, kaip ir yra.

Panašiai galima naudoti ir matematinės išraiškas, kurias galima atlikti su skaičiais ir su kintamaisiais. Šiuo atveju išraiška nurodoma tarp kvadratinių skliaustų, panašiai kaip:

```

GOTO[SIN45.] (perėjimas į eilutę N1, nes  $\sin 45^\circ$  reikšmė 0,707107 bus suapvalinta iki 1);
...;
#115=25.536 (globaliajam kintamajam #115 priskiriama reikšmė 25,536);
GOTO[#115+2.0] (perėjimas į eilutę N28 ( $25,536+2=27,536 \Rightarrow 28$ ));
...;
...;
#1=1.0 (lokaliajam kintamajam #1 priskiriama reikšmė 1);
IF[#3 LT 4.0] GOTO[#1+#1]*3] (perėjimas į eilutę N6 ( $((1+1) \times 3=6 \Rightarrow 6)$ ), jei tenkinama sąlyga #3 < 4);
...;

```

Operatorius THEN (tada) naudojamas priskyrimo operacijose, pavyzdžiui:

```

IF[#3 LT 4.0] THEN#1=0 (patikrinti, ar tenkinama sąlyga #3 < 4 ir, jeigu taip, lokaliam kintamajam #1 priskiriama reikšmė 0);
IF[#3 LT 4.0] THEN G01 X120.5 Y100.0 F#9 (patikrinti, ar tenkinama sąlyga #3 < 4, ir jeigu taip, įrankiui suteikiamas tiesinis judesys į tašką X120,5 Y100 su pastūma, nurodyta kintamuoju #9);

```

Vykdančią IF ... THEN ... eilutes, eilutės dalis, einanti po THEN, vykdoma tik tada, kai tenkinama nurodyta sąlyga. Priešingu atveju ji ignoruojama, o programa vykdoma nuo kitos eilutės.

Operatorius WHILE naudojamas tais atvejais, kai reikia pakartoti programos dalį tam tikrą kartų skaičių, priklausomai nuo užprogramuotų sąlygų. Tai panašu į paprogramės kartojimą naudojant skaitiklį L (pvz., M98 P... L3), tačiau kur kas lanksčiau, nes galima programuoti dar ir sąlygas. Tokių eilučių bendra struktūra tokia:

```
WHILE [sąlyga, kuri turi būti tenkinama] D0n;
...;
...;
...;
ENDn;
```

Programos eilutės, esančios tarp eilučių WHILE (galima naudoti ir sutrumpintą operatorių WH) ir END, bus vykdomos tol, kol bus tenkinama sąlyga, pateikta po WHILE. Jeigu sąlyga netenkinama, programa bus vykdoma toliau nuo kitos eilutės po ENDn. n gali būti sveikasis skaičius nuo 1 iki 3. Tai reiškia, kad makroprogramoje gali būti tik trys įstatyti ciklai DO–END.

Pateiksime keletą pavyzdžių. Pirmasis programos fragmentas valdymo sistemai leidžia išlaikyti 1000 ms (arba 1 s) pauzę, kurios metu nebus nieko daroma. Panašų rezultatą galima pasiekti naudojant kodą G04.

```
...;
#3001=0 (milisekundžių laikmatis nustatomas į nulį);
WHILE[#3001 LE 1000.0] D01 (vykdyti programą iki žymės 1, kol tenkinama sąlyga
#3001 ≤ 1000 ms arba kol milisekundžių laikmačio reikšmė nebus 1000 ms (1 s));
END1 (ciklo pabaiga);
... (programos tęsinys);
```

Kitame pavyzdyje pateikta makroprograma, kuri leidžia ruošinyje gręžti 5×5 skylių masyvą (skyllių skaičių galima nesunkiai pakeisti), skylių žingsnis – 20 mm (žingsnis gali būti taip pat nesudėtingai pakeistas).

```
025345
(makroprograma skylių masyvui gręžti);
N01 G90 G54 (absoliučiosios koordinatės, detalės koordinačių sistema G54);
N02 T01 M06 (spiralinis grąžtas iš detuvės lizdo Nr. 1 įstatomas į suklij);
N03 S1600 M03 (įrankiui suteikiami 1600 sūk./min sūkiai, kryptis – pagal laikrodžio rodyklę);
N04 #101=100.0 (globaliajam kintamajam #101 priskiriama reikšmė 100);
N05 #102=100.0 (globaliajam kintamajam #102 priskiriama reikšmė 100);
N06 #103=#102 (globaliajam kintamajam #103 priskiriama globaliojo kintamojo #102 reikšmė,
šiuo atveju tai 100);
N07 #104=20.0 (globaliajam kintamajam #104 priskiriama reikšmė 20);
N08 G00 X#101 Y#102 (greitojo pozicionavimo judesys XY plokštumoje iki masyvo dešinėsios
viršutinės skylės, šiuo atveju jos koordinatės X100 Y100);
N09 G43 Z5.0 H01 M08 (greitojo pozicionavimo judesys Z ašies kryptimi 5 mm aukščiau detalės
```

Z0, pritaikant ilgio kompensaciją iš 1-os ilgių kompensacijų lentelės eilutės, įjungiamas TAS siurblys);

N10 WHILE[#101 GT 0] D01 (pradedamas ciklas Nr. 1 ir vykdomas iki eilutės END1);

N11 #102=#103 (kintamojo #102 reikšmė prilyginama kintamajam #103, t. y. 100);

N12 WHILE[#102 GT 0] D02 (pradedamas ciklas Nr. 2 ir vykdomas iki eilutės END2);

N13 G99 G81 X#101 Y#102 Z-10.0 R2.0 F150.0 (gręžimo ciklas atliekamas einamojoje įrankio pozicijoje X ir Y ašių atžvilgiu);

N14 #102=#102-#104 (skylės Y koordinatė sumažinama žingsniu #104);

N15 END2 (ciklo Nr. 2 pabaiga);

N16 #101=#101-#104 (skylės X koordinatė sumažinama žingsniu #104);

N17 END1 (ciklo Nr. 1 pabaiga);

N18 G00 Z15.0 M09 (įrankis atitraukiamas nuo detalės paviršiaus, nutraukiamas TAS tiekimas);

N19 G28 Z15.0 (suklio galvutė grįžta į staklių nulį pagal Z ašį iš įrankio taško Z15);

N20 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Pakomentuosime programos veikimą. Kintamieji #101 ir #102 nurodo pirmosios masyvo skylės, kuri yra viršutiniame dešiniajame kampe, X ir Y koordinatės atitinkamai. Mūsų atveju X100 Y100. Jeigu reikalingos kitos koordinatės, bereikia kintamiesiems #101 ir #102 priskirti kitas reikšmes. Kintamasis #104 nurodo skylių žingsnį, kuris duotuoju atveju yra vienodas X ir Y ašių kryptimis 20 mm. Eilutėje N10 pradedamas pirmasis ciklas, kuris bus kartojamas nuo eilutės N10 iki eilutės N17 END1 tol, kol kintamojo #101 reikšmė bus didesnė už nulį. Kas vyks, kai jis bus pradėtas vykdyti pirmą kartą? Bus įvykdyta eilutė N11, kurioje kintamajam #102 (nurodo Y koordinatė) bus dar kartą priskirta ta pati reikšmė 100. Toliau eilutėje N12 programa aptiks įstatytą ciklą Nr. 2, kuris bus kartojamas nuo N12 iki eilutės N15 END2 tol, kol kintamojo #102 reikšmė viršys 0. Toliau vykdant eilutę N13 bus išgręžiama pirmoji skylė, kurios centro koordinatės yra X100 Y100, t. y. einamojoje įrankio pozicijoje. Eilutėje N14 kintamojo #102 reikšmė sumažės žingsniu – 20 mm ir nauja jo reikšmė bus $100 - 20 = 80$ mm. Ši reikšmė yra didesnė už 0, todėl ciklas 2 bus pakartotas ir skylė bus išgręžta pozicijoje X100 Y80. Kartojant ciklą kintamojo #102 reikšmė bus vėl sumažinta 20 mm eilutėje N14 – ji bus 60. Šis skaičius didesnis už 0, todėl ciklas Nr. 2 bus kartojamas ir skylė gręžiama pozicijoje X100 Y60. Kitą kartą X100 Y40 ir pagaliau X100 Y20. Ciklas Nr. 2 pasibaigs ir sistema pradės vykdyti eilutę N16, kurioje kintamojo #101 (kuris nurodo X koordinatę) reikšmė sumažės žingsniu #104, t. y. 20 mm. 80 yra skaičius, kuris didesnis už 0, sąlyga eilutėje N10 tenkinama, todėl ciklas Nr. 1 bus kartojamas iki eilutės N17 END1, tačiau su nauja kintamojo #101 reikšme 80 mm. Tokiu būdu penkis kartus bus vėl atliktas ciklas Nr. 2, tik skylių X pozicija pasikeis vietoje 100 į 80. Taip bus išgręžtos skylės, kurių centrų koordinatės X80 Y100; X80 Y80; X80 Y60; X80 Y40; X80 Y20. Kartojant ciklą Nr. 1 dar kartą, kai kintamojo #101 reikšmė sumažės 20 mm eilutėje N16, ruošinyje bus išgręžtos skylės, kurių centrų koordinatės X60 Y100; X60 Y80; X60 Y60; X60 Y40; X60 Y20. Ciklas Nr. 1 bus sustabdytas, kai kintamojo #101 reikšmė bus 0 mm. Atliekant paskutinį kartą

bus išgręžtos skylės, kurių centrų koordinatės: X20 Y100; X20 Y80; X20 Y60; X20 Y40; X20 Y20. Visas masyvas bus išgręžtas.

Programoje O25345 eilutės N11 reikia, nes, prieš pradėdant naują skylių masyvo stulpelį, įrankį būtina grąžinti į poziciją Y100. Atliekant ciklą Nr. 2, įrankis atsiduria pozicijoje Y20, kurioje ciklas baigiasi, kai netenkinama sąlyga N12 eilutėje.

Operatorius WHILE programoje gali būti ir nenaudojamas, o naudojami tik operatoriai DOn ENDn, panašiai kaip pateikta toliau:

```
D01;
...;
...;
...;
END1;
```

Tokiu atveju ciklas pasidaro begalinis ir jį nutraukti galima tik mygtukais *Emergency Stop* arba *Reset*.

14.6. Programų su makrokintamaisiais pavyzdžiai

1-asis pavyzdys. Parašyti makroprogramą savaitės dienų pavadinimams graviruoti. Tegul skirtingomis savaitės dienomis detalėje bus graviruojami užrašai: Pr, A, T, K, Pn.

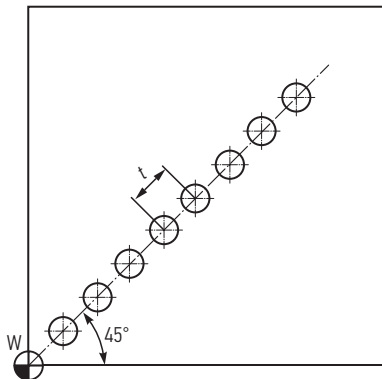
```
000005
(Makroprograma savaitės dienoms graviruoti);
G90 G54 (absoliučiosios koordinatės, koordinacių sistema G54)
T08 M06 (įrankis Nr. 8 – graviravimo freza įstatoma į sukli);
S1500 M03 (frezai suteikiami 1500 suk./min sukiai, sukimosi kryptis – pagal laikrodžio
rodyklę);
G00 X50.0 Y50.0 (greitojo pozicionavimo judesys į užrašo pradžią XY plokštumoje);
G43 Z5.0 H08 M08 (pagreitintas įrankio nuleidimas 5 mm aukščiau detalės Z0 pritaikant įrankio
ilgio kompensaciją iš 8-os kompensacijų lentelės eilutės);
IF[#7 NE #0]AND[#7 GE 1.0]AND[#7 LE 5.0] GOTO 15 (sąlygų patikrinimas. Jeigu kintamasis
#7 yra apibrėžtas ir yra skaičius, didesnis arba lygus 1, taip pat mažesnis arba lygus 5, kas
atitinka savaitės dienas nuo pirmadienio iki penktadienio, programa pereina į eilutę N15. Kitaip
vykdoma kita eilutė, kurioje programuojamas aliarmas);
#3000=1 (neteisingas skaičius);
N15 #7=FIX[#7] (jeigu per klaidą įvestas trupmeninis skaičius, nuo kintamojo #7 reikšmės
atmetama trupmeninė dalis);
GOTO#7 (programa nukreipiama į eilutes N1, N2, N3, N4 arba N5, priklausomai nuo kintamojo
#7 reikšmės);
N1 G47 P0 J15.0 R2.0 Z-1.0 F120.0 E50.0 (Pr);
GOTO 6 (programos nukreipimas į eilutę N6);
N2 G47 P0 J15.0 R2.0 Z-1.0 F120.0 E50.0 (A);
GOTO 6 (programos nukreipimas į eilutę N6);
```

N3 G47 P0 J15.0 R2.0 Z-1.0 F120.0 E50.0 (T);
 GOTO 6 (programos nukreipimas į eilutę N6);
 N4 G47 P0 J15.0 R2.0 Z-1.0 F120.0 E50.0 (K);
 GOTO 6 (programos nukreipimas į eilutę N6);
 N5 G47 P0 J15.0 R2.0 Z-1.0 F120.0 E50.0 (Pn);
 GOTO 6 (programos nukreipimas į eilutę N6);
 N6 G90 G00 Z200.0 M09 (pagreitintas įrankio atitraukimas į aukštį Z200 nuo detalės Z0, išjungiamas TAS tiekimas);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžia);

Lokaliajam kintamajam #7 pirmadienį reikia priskirti reikšmę 1 (paleisti MDI režimu eilutę G65 P00005 D1), antradienį šiam kintamajam reikia priskirti reikšmę 2 (G65 P00005 D2), trečiadienį – 3 (G65 P00005 D3) ir t. t. iki 5. Programa veiks teisingai net jeigu vietoje sveiką skaičiaus per klaidą bus įvestas trupmeninis skaičius, pvz., 1,7 vietoje 1. Eilutėje N15 trupmeninė dalis atmetama ir toliau naudojama nauja pataisyta kintamojo #7 reikšmė.

2-asis pavyzdys. Parengti programą skylėms, kurių centrai išdėstyti vienoje linijoje 45° kampu su detalės kraštinėmis, gręžti (14.1 pav.). Reikia, kad skylių skaičius ir tarpcentrinis atstumas t būtų keičiami ir perduodami į programą makrokintamaisiais.

O00006
 (makroprograma skylių masyvui gręžti);
 G90 G54 (absoliučiosios koordinatės, detalės koordinačių sistema G54);
 T01 M06 (iš dėtuovės lizdo įrankis Nr. 1 (spiralinis grąžtas) įstatomas į suklij);
 S1200 M03 (grąžtui suteikiami sukiai – 1200 suk./min, sukimosi kryptis – pagal laikrodžio rodyklę);
 G00 X0.0 Y0.0 (greitojo pozicionavimo judesys į detalės nulį XY plokštumoje);
 G43 Z5.0 H01 M08 (pagreitintas įrankio nuleidimas 5 mm aukščiau detalės Z0 pritaikant įrankio ilgio kompensaciją iš 1-os kompensacijų lentelės eilutės, įjungiamas TAS siurblys);



14.1 pav. Pagal O00006 programą apdirbama detalė

IF[#6 NE #0]AND[#24 GE 0.0] GOTO1 (sąlygų patikrinimas. Jeigu kintamasis #6 (skylių skaičius) yra apibrėžtas ir kintamasis #24 (žingsnis t) didesnis arba lygus 0, programa pereina į eilutę N1, kitaip vykdoma kita eilutė, kurioje programuojamas aliarmas);
 #3000=1 (neteisingas žingsnis arba skylių skaičius);
 N1 #6=FIX[#6] (jeigu per klaidą įvestas trupmeninis skaičius, nuo kintamojo #6 reikšmės atmetama trupmeninė dalis);
 #3=1.0 (lokaliajam kintamajam #3 priskiriama reikšmė 1);
 G99 G81 R2.0 Z-10.0 F115.0 L0 (programuojamas ciklas, jo parametrai R, F ir Z lieka atmintyje, tačiau ciklo vykdymas atidedamas);
 WHILE[#3 LE #6] DO1 (ciklas, kuris vykdomas iki eilutės END1 tol, kol lokaliajo kintamojo #3 reikšmė neviršys nurodyto kintamojo #6 skylių skaičiaus);
 G91 X[#24*COS[45.0]] Y[#24*SIN[45.0]] (vykdomas gręžimo ciklas G81 prieaugių režimu, perskaičiuojant išmatuotą pagal įstrižainę skylių tarpašinį atstumą į koordinacijas X ir Y prieaugius);
 #3=#3+1.0 (skaitiklio reikšmė didėja 1);
 END1 (ciklo pabaiga);
 G90 G00 Z20.0 M09 (absoliučiosios koordinatės, pagreitintas įrankio atitraukimas nuo detalės paviršiaus, TAS siurblio išjungimas);
 G28 Z20.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį per įrankio tašką Z20);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Programa veiks, kai operatorius jai perduos lokaliųjų kintamųjų #6 (skylių skaičius) ir #24 (skylių tarpašinis atstumas t , išmatuotas pagal įstrižainę (14.1 pav.)) reikšmes, t. y. adresais K ir X pagal 14.1 lentelę. Pavyzdžiui, kai reikia išgręžti 5 skyles, kurių tarpašinis atstumas – 25 mm, MDI režimu turi būti paleista tokia eilutė:

G65 P6 K5.0 X25.0;

Programa gali būti parengta naudojant specialų „HAAS“ firmos frezavimo staklių ciklą G72 (skylių, kurių centrai yra vienoje linijoje, gręžimas), nenaudojant ciklo WHILE... DO... Tokiu atveju programos eilutės bus:

...;

...;

N1 #6=FIX[#6] (jeigu per klaidą įvestas trupmeninis skaičius, nuo kintamojo #6 reikšmės atmetama trupmeninė dalis);
 G91 G00 X[#24*COS[45.0]] Y[#24*SIN[45.0]] (greitojo pozicionavimo judesys į pirmos skylės centrą XY plokštumoje);
 G90 G99 G81 R2.0 Z-10.0 F115.0 L0 (programuojamas ciklas, jo parametrai R, F ir Z lieka atmintyje, tačiau ciklo vykdymas atidedamas);
 G72 I#24 J45.0 L#6 (skylių eilė, kurių tarpašinis atstumas lygus kintamojo #24 reikšmei, o skylių skaičius – kintamojo #6 reikšmei);
 G80 G00 Z20.0 M09 (G81 ciklo atšaukimas, pagreitintas įrankio atitraukimas nuo detalės paviršiaus, TAS siurblio išjungimas);
 G28 Z20.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį pagal Z ašį per įrankio tašką Z20);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

3-iasis pavyzdys. Parašyti makroprogramą, kurią paleidus kas penktą dieną (05, 10, 15, 20, 25 ir 30 kiekvieno mėnesio dienomis) būtų paleidžiama viena programos dalis, o likusiomis dienomis – kita (tegu kas penktą dieną detalėse frezuojamas 5 mm ilgesnis pleištinis griovelis negu kitomis dienomis). Šioje programoje naudosime sisteminį kintamąjį #3011, kuris saugo metus, mėnesį ir dieną. Taip pat panaudosime dalybos iš 5 požymį, pagal kurį bet koks natūrinis skaičius dalijamas iš 5 be liekanos tik tada, kai paskutinis jo skaitmuo yra 0 arba 5. Programa atrodytų taip:

```

O00007
(kintamojo ilgio pleištinio griovelio frezavimas);
G90 G54 G17 (absoliučiosios koordinatės, koordinacių sistema G54, darbinė plokštuma – XY);
T03 M06 (įrankis Nr. 3 dėtuvėje – pirštinė freza įstatoma į suklij);
S1500 M03 (frezai suteikiami 1500 sūk./min sūkiai, sukimosi kryptis – pagal laikrodžio
rodyklę);
G00 X10.0 Y60.0 (greitojo pozicionavimo judesys į griovelio pradžią XY plokštumoje);
G43 Z5.0 H03 M08 (pagreitintas frezos nuleidimas 5 mm aukščiau detalės Z0 pritaikant įrankio
ilgio kompensaciją iš 3-ios kompensacijų lentelės eilutės, įjungiamas TAS siurblys);
G01 Z-5.0 F80.0 (kol nebus pasiektas griovelio dugnas 5 mm žemiau detalės Z0, įrankiui
suteikiama pastūma Z ašies kryptimi);
#105=ROUND[#3011/5] (globaliajam kintamajam #105 priskiriama sisteminio kintamojo #3011
(metai, mėnuo, diena) reikšmė, padalinta iš 5, reikšmė suapvalinama iki artimiausio sveikojo
skaičiaus);
#106=#3011/5-#105 (globaliajam kintamajam #106 priskiriama reikšmė, gauta atėmus
pataisytą iki sveikojo skaičiaus kintamojo #3011, dalinto iš 5, reikšmę iš netaisytos šio
kintamojo reikšmės, padalintos iš 5);
IF[#106 LE 0.000003]AND[#106 GE -0.000003]] GOT01 (tikrinama sąlyga, kad kintamasis
#106, t. y. skirtumas tarp suapvalintos kintamojo #3011/5 reikšmės ir tikrosios, yra lygus 0.
Jeigu ši sąlyga tenkinama, vadinasi, programos paleidimo data yra 05, 10, 15, 20, 25 arba 30
ir programa peršoka į eilutę N1. Priešingu atveju vykdoma kita eilutė. Kintamojo #106 reikšmė
ne lyginama su 0, o tikrinama, ar ji yra tarp reikšmių -0,000003 ir +0,000003. Taip daroma
norint išvengti netikslumų, susietų su kintamųjų saugojimu sistemoje. Jie gali būti saugomi tik
0,000001 tikslumu, todėl, pavyzdžiui, kintamojo reikšmė 3 gali būti saugoma kaip 2,999999,
3,000000 arba 3,000001. Sąlyga IF[#106 EQ 0.0] tokiu būdu gali būti klaidingai interpretuota);
#24=30.0 (lokaliajam kintamajam #24 priskirti reikšmę 30);
GOTO2 (pereiti į eilutę N2);
N1 #24=35.0 (lokaliajam kintamajam #24 priskirti reikšmę 35);
GOTO2 (pereiti į eilutę N2);
N2 G01 X#24 F150.0 (frezuoti griovelį, iki koordinatės X, nurodytos kintamuoju #24);
Z5.0 M09 (ištraukti frezą iš griovelio, nutraukti TAS tiekimą);
G28 Z5.0 (suklio galvutė grąžinama į staklių nulį Z ašies kryptimi per įrankio tašką Z5);
M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

```

Vykdam šią programą, globaliajam kintamajam #105 bus priskirta sisteminio kintamojo #3011 reikšmė, padalinta iš 5 ir suapvalinta iki artimiausio sveikojo skai-

čiaus. Taigi jei programa paleista, pavyzdžiui, 2009-05-28, kintamajam #105 priskiriama reikšmė $90528/5=18105,6 \Rightarrow 18106$. Paleidus programą 2009-05-21, reikšmė bus $90521/5=18104,2 \Rightarrow 18104$. Jeigu programa bus paleista 2009-05-30, kintamojo #105 reikšmė bus $90530/5=18106 \Rightarrow 18106$. Kitoje eilutėje kintamajam #106 bus priskirta reikšmė, lygi sisteminio kintamojo #3011, padalinto iš 5, ir suapvalinto šio santykio reikšmių skirtumui. Jei programa paleista 2009-05-28, kintamojo #106 reikšmė bus $18105,6 - 18106 = -0,4$; paleidus programą 2009-05-21 – $18104,2 - 18104 = 0,2$ ir pagaliau paleidus 2009-05-30 – $18106 - 18106 = 0$. Pastaruoju atveju turi būti frezuojamas ilgesnis griovelis, todėl toks atvejis turi būti išskirtas, tam ir sudaroma sąlyga, pagal kurią kintamojo #106 reikšmė turi būti tarp $-0,000003$ ir $0,000003$. Palyginti kintamojo reikšmę tiesiog su 0 būtų nebloga idėja, tačiau tokia programa gali neveikti. Taip gali atsitikti todėl, kad valdymo sistemoje kintamieji saugomi dvejetainėje sistemoje vieno reikšmingo skaičiaus tikslumu, kuris yra $0,000001$. Todėl kintamojo #106 reikšmė gali būti ne tik $0,000000$, bet ir $-0,000001$ arba $0,000001$. Dydžiu $0,000001$ gali skirtis ir kitos reikšmės, dėl to mėnesio 05, 10, 15, 20, 25 ir 30 dienomis gali atsirasti klaidų nuskaitant ir lyginant kintamųjų reikšmes. Likusiomis mėnesio dienomis kintamojo #106 reikšmė yra kur kas (pvz., 0,2, 0,4 ir pan.) didesnė už mažiausią reikšmingą kintamojo reikšmę, todėl tokius atvejus atskirti yra paprasčiau.

4-asis pavyzdys. Parengti makroprogramą detalei frezuoti, kuri įrankio judesiams atlikti apskaičiuotų pastūmos reikšmes, mm/min, ir suklio sūkius, sūk./min. Sakykime, iš įrankių katalogo žinomi ir į programą perduodami įrankių pastūmos reikšmė, išreikšta mm/dančiui, ir pjovimo greitis – m/min. Įrankio drožlių griovelių arba pjovimo briaunų skaičius turi būti įvestas frezavimo staklių kompensacijų lentelėje į stulpelį *Flutes*. Įrankio skersmuo taip pat turi būti įvestas į kompensacijų lentelės stulpelį *Actual Diameter*.

000008

(makroprograma, apskaičiuojanti pastūmą ir suklio sūkius);

G90 G54 G17 (absoliučiosios koordinatės, koordinačių sistema G54, darbinė plokštuma – XY);
T#20 M06 (įrankis, kurio numeris dėtuvėje atitinka perduoto kintamojo #20 reikšmę, įstatomas į sukli);

#105=#20+3200.0 (globaliajam kintamajam #105 priskiriama reikšmė, kuri yra įrankio suklyje numerio ir skaičiaus 3200 suma; tokiu būdu nustatomas reikiamas sisteminio kintamojo, kuriame saugomas įrankio skersmuo (iš intervalo #3201–#3400), numeris);

#106=#20+1600.0 (globaliajam kintamajam #106 priskiriama reikšmė, kuri yra įrankio suklyje numerio ir skaičiaus 1600 suma; tokiu būdu nustatomas reikiamas sisteminio kintamojo, kuriame saugomas įrankio drožlių griovelių skaičius (iš intervalo #1601–#1800), numeris);

#107=#[#105] (globaliajam kintamajam #107 priskiriama įrankio tikrojo skersmens reikšmė, kuri saugoma atitinkamu sisteminiu kintamuoju #3201–#3400; programa nustato jo numerį pagal tai, koks įrankis yra suklyje, t. y. pagal perduoto kintamojo #20 reikšmę);

#108=#[#106] (globaliajam kintamajam #108 priskiriama reikšmė lygi įrankio drožlių griovelių skaičiui, kuri saugoma atitinkamu sisteminiu kintamuoju #1601–#1800; programa nustato

reikiamo kintamojo numerį pagal įrankio, esančio suklyje, numerį, nurodomą lokaliuoju kintamuoju #20);

S[[1000*#22]/[3.14*#107]] M03 (įrankiui suteikiami sūkliai, kurie nustatomi pagal formulę $n = 1000v/\pi d$, čia v – pjovimo greitis, m/min, kurio reikšmė perduodama programai kintamuoju #22, o d – įrankio skersmuo, mm, kuris buvo nustatytas sisteminiais kintamaisiais #3201–#3400 ir saugomas kintamuoju #107);

G00 X-70.0 Y25.0 (greitojo pozicionavimo judesys į pradinį tašką XY plokštumoje);

G43 Z-5.0 H#20 (greitasis nuleidimas į darbinį gylį 5 mm žemiau detalės Z0);

G103 P1 (apribojamas eilučių apdorojimas į priekį iki 1-os eilutės, kad sistema spėtų nuskaityti sūklių reikšmę iš sisteminio kintamojo #3027. Detaliau apie G103 kodą žiūrėkite 6 pavyzdyje);

G01 X150.0 F[#9*#108*#3027] (tiesinis judesys į tašką X150 su pastūma, kurios reikšmė išreikšta mm/min, ir nustatyta pagal formulę: $s_m = s_z n$, čia s_z – pastūma, mm/dančiui, jos reikšmė perduodama į programą kintamuoju #9, z – įrankio drožlių griovelių skaičius, nustatytas sisteminiais kintamaisiais #1601–#1800 ir saugomas kintamuoju #108, n – suklio sūkliai, kurių reikšmė nustatyta sisteminio kintamuoju #3027);

...;

...;

...;

M30 (programos pabaiga ir grįžimas į jos pradžią);

Programa O00008 veiks, kai į ją bus perduotas įrankio numeris (kintamasis #20), pjovimo greitis (kintamasis #22) ir pastūma, išreikšta mm/dančiui (kintamasis #9). MDI režimu reikės surinkti eilutę, kurios formatas yra:

G65 P8 T... V... F...;

5-asis pavyzdys. Parengti programą tekinimo staklėms, kurioje naudojant makrokintamuosius galima būtų keisti griovelių tekinimo ciklo G75 parametrus, tokiu būdu keičiant griovelių skaičių, gylį ir pan.

O00009

(makroprograma kintamojo žingsnio grioveliams tekinti išoriniame detalės paviršiuje);

IF[#24 NE #0]AND[#26 NE #0]AND[#11 NE #0]] GOTO1 (tikrinama, ar ciklo pradžios X ir Z koordinatės (14.2 pav.) yra perduotos);

#3000=1 (nenurodytos X ir Z pradžios koordinatės ar gylis);

N1 IF[#26 LE 0.0]AND[#11 GT 0.0]] GOTO2 (tikrinama, ar perduota Z koordinatė yra neigiama arba lygi nuliui, o griovelio gylis yra teigiamas);

#3000=2 (Z koordinatė yra teigiama arba H yra neigiamas);

N2 IF[#2 NE #0]OR[#2 GE 0.0]] GOTO3 (tikrinama sąlyga, ar atstumas iki paskutinio griovelio krašto apibrėžtas arba teigiamas);

#3000=3 (B yra neigiamas);

N3 IF[#4 NE #0]OR[#4 GE 0.0]] GOTO4 (tikrinama sąlyga, ar atstumas I yra apibrėžtas arba teigiamas);

#3000=4 (I yra neigiamas);

N4 IF[#6 NE #0]OR[#4 GE 0.0]] GOTO5 (tikrinama sąlyga, ar griovelių žingsnis K (14.2 pav.) yra apibrėžtas arba teigiamas);

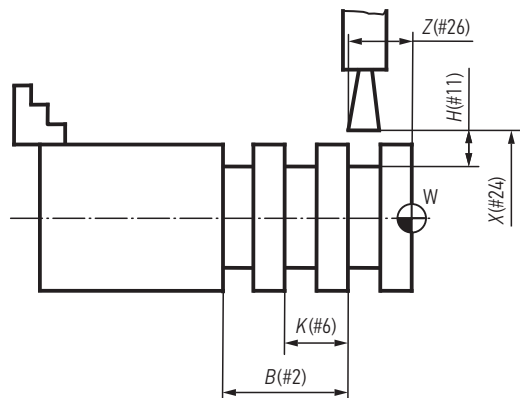
#3000=5 (griovelių žingsnis yra neigiamas);
 N5 G28 (revolverinė galvutė grąžinama į staklių nulį);
 T0101 (pasirenkamas įrankis Nr. 1 revolverinėje galvutėje – griovelių peilis);
 G97 S1200 M03 (paleidžiamas sukis suklys 1200 suk./min greičiu);
 G00 Z#26 (greitasis judesys į pradinį ciklo tašką pagal Z ašį);
 X#24 M08 (greitasis judesys į pradinį ciklo tašką pagal X ašį);
 G75 I#4 K#6 X[#24-2*#11] Z[#26-#2] F0.15 (ciklas G75 su parametrais, kurie perduodami lokaliaisiais kintamaisiais);
 G28 U0.0 (revolverinė galvutė grįžta į staklių nulį pagal X ašį per einamąjį tašką);
 G28 W0.0 (revolverinė galvutė grįžta į staklių nulį pagal Z ašį per einamąjį tašką);
 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

Programa teisingai veiks, jeigu detalės Z ašies nulis bus jos gale, o įrankio (radialiaja kryptimi nustatyto griovelių peilio) atraminis taškas bus arčiau griebtuvo esanti jo viršūnė. Ciklo pradinė Z koordinatė tokiu būdu negali būti teigiamas dydis. Į programą taip pat turi būti perduodamos šių lokaliųjų kintamųjų reikšmės (žr. ciklo G75 aprašą 11.3.2 skirsnyje): #24 – ciklo pradžios taško X pozicija, #26 – ciklo pradžios taško Z pozicija, #4 – peilio pertraukiamo judesio X ašies kryptimi dydis, teigiamas, išreikštas spinduliui (gali būti neperduotas, jeigu nereikia pertraukiamo judesio), #6 – griovelių žingsnis K , teigiamas dydis (gali būti ir neperduota, jeigu reikia vieno arba dviejų griovelių), #11 – griovelio gylis H nuo pradinės ciklo X pozicijos, pagal spindulį, teigiamas dydis, #2 – atstumas nuo pradinės peilio Z pozicijos iki paskutinio griovelio krašto B , teigiamas dydis (gali būti ir neperduota, jeigu reikia ištekinti tik vieną griovelį). Šie parametrai parodyti 14.2 pav.

MDI režimu surinktos eilutės formatas bus toks:

G65 P9 X... Z-... B... * H... I... * K... *;

čia * pažymėti ciklui atlikti nebūtini adresai.



14.2 pav. Makroprogramos O00009 kintamieji

6-asis pavyzdys. Pateiksime makroprogramos fragmentą, kuriame nuskaitoma milisekundžių laikmačio reikšmė po tam tikro atlikto judesio. Tokiu būdu nustatomas laikas, ms, reikalingas judesiui atlikti. Nustatytas laikas lyginamas po to su mažiausiu leistinu ir, jeigu jis didesnis, programa vykdoma toliau, priešingu atveju sustabdoma.

```
...;
G103 P1 (į priekį apdorojamų eilučių skaičius ribojamas iki 1);
#3001=0 (į nulį nustatomas milisekundžių laikmatis);
G01 X125.0 Y125.0 F#9 (tiesinės interpoliacijos judesys į tašką X125 Y125 su pastūma, nurodyta
lokaliajo kintamojo #9 reikšme);
#1=#3001 (lokaliajam kintamajam #1 priskiriama sisteminio kintamojo #3001 (laikmačio)
reikšmė);
IF[#1 GT 2000.0] GOTO1 (sąlygos, ar judesio trukmė yra didesnė už 2 s, tikrinimas, ją įvykdžius,
programa tęsiama nuo eilutės N1, priešingu atveju nuo kitos eilutės);
#3000=1 (didelė pastūma);
N1...;
... (programos tęsinys);
...;
```

Šiame pavyzdyje prieš nustatant laikmatį į nulį naudojamas kodas G103, kuris yra labai svarbus makroprogramavimui. Šiuo kodu ribojamas į priekį skaitomų ir apdorojamų eilučių skaičius („žiūrėk pirmyn“ funkcija). Duotuoju atveju apdorojamų į priekį, kol sistema vykdo einamąją eilutę, eilučių skaičius ribojamas iki 1. Kintamajam #1 bus priskirta tokia laikmačio #3001 reikšmė, kuri reikalinga judesiui atlikti. Priešingu atveju, jeigu apdorojamų į priekį eilučių skaičius būtų didesnis, sistema apdorotų eilutę #1=#3001 dar neįvykus judesiui ir kintamajam #1 būtų priskirta reikšmė 0. Panašiai buvo ir 4-ame pavyzdyje, kur suklydus dar nepradėtų suktis, o sistema jau bandytų nuskaityti jo sukčius iš kintamojo #3027. Atšaukti apribojimo režimą galima kodu G103 P0 arba tiesiog G103, nes dažniausiai riboti skaitymą į priekį nėra naudinga. Pavyzdžiui, kai atliekamos aritmetinės operacijos su kintamaisiais, ribojant apdorojimą į priekį, programa bus vykdoma lėčiau. Kur kas sparčiau, kai sistema atlieka operacijas jau vykdant judesiams arba kitas komandas. Adreso P reikšmės – nuo 0 iki 15. Skaitomų eilučių kiekis dažnai ribojamas įjungiant ir išjungiant, pavyzdžiui, įvairias reles, naudojant makrokintamuosius. Taigi be apribojimo makroprogramos fragmentas:

```
...;
...;
#1101=1 (įjungti išorinę relę Nr. 1);
G04 P5.0 (išlaikyti 5 s pauzę);
#1101=0 (išjungti relę Nr. 1);
...;
```

gali dirbti neteisingai, tai yra relė Nr. 1 bus išjungta neišlaikant 5 s pauzės, nes eilutė #1101=0 bus vykdoma iš karto po eilutės #1101=1. Programos fragmentas veiks teisingai tokiu atveju:

...;
 G103 P1;
 #1101=1 (įjungti išorinę relę Nr. 1);
 G04 P5.0 (išlaikyti 5 s pauzę);
 #1101=0 (išjungti relę Nr. 1);
 ...;

Eilučių vykdymas į priekį taikomas veiksams su makrokintamaisiais ir jokių būdu netaikomi judesių eilutėms, taip pat eilutėms, kuriose užprogramuotas suklio, TAS siurblio paleidimas, ir kitiems atvejams, t. y. kitas judesys bet kuriuo atveju prasidės tik pasibaigus prieš tai užprogramuotam judesiui, kai įrankis atsidurs nurodytame taške.

7-asis pavyzdys. Parengti programą savaitės dienų pavadinimams graviruoti, panašią į pateiktą 1-ame pavyzdyje, bet naudojant dialoginį kintamųjų reikšmių įvedimą iš klaviatūros.

Kintamųjų reikšmės galima įvesti ne tik MDI režimu kodu G65 ir kintamųjų lentelėje, tačiau ir iš klaviatūros dialogo metu. Šią įdomią galimybę „HAAS“ firmos sistemose suteikia kodas M109, kurio adresu P nurodomas kintamojo numeris (galima naudoti tik globaliuosius kintamuosius #500–#599), pavyzdžiui, M109 P505. Po tokios eilutės programa sustoja ir laukia įvesto skaičiaus arba raidės. Įvestas skaitmuo arba raidė pervedami į dešimtainę sistemą atitinkamai ASCII standartu (11.2.3 skirsnis, 11.3 lentelė) ir tampa kintamojo reikšmėmis, su kuriomis vėliau gali būti atliekamos operacijos. Skliaustuose eilutės gale galima nurodyti komentarus, kurie bus išvedami į programinio valdymo įrenginio vaizduoklį.

000010
 (Makroprograma savaitės dienoms graviruoti);
 N1 #505=0.0 (kintamojo #505 reikšmė tampa lygi 0);
 M109 P505 (Pradėti – T arba N?);
 (įvesti kintamojo #505 reikšmę iš klaviatūros, bus parodytas pranešimas „Pradėti – T arba N?“.
 Iš klaviatūros įvedama raidė T arba N);
 N2 IF[#505 EQ 0.0] GOTO2 (uždaras ciklas, kol nebus įvesta raidė T arba N arba kita reikšmė);
 IF[#505 EQ 84.0] GOTO3 (jeigu įvesta raidė T, programa pradedama vykdyti nuo eilutės N3.
 Kintamojo reikšmė lyginama su raidės T dešimtainiu ekvivalentu – skaičiumi 84 (11.3 lentelė));
 IF[#505 EQ 78.0] GOTO30 (jeigu įvesta raidė N, programa pradedama vykdyti nuo eilutės N30
 (programos pabaiga). Kintamojo reikšmė lyginama su raidės N dešimtainiu ekvivalentu –
 skaičiumi 78 (11.3 lentelė));
 GOTO1 (programa grįžta prie eilutės N1, jeigu buvo įvesta kita nei T ar N raidė);
 N3 G90 G54 (absoliučiosios koordinatės, koordinačių sistema G54)
 T08 M06 (įrankis Nr. 8 – graviravimo freza įstatoma į suklij);
 S1500 M03 (frezai suteikiami sukiai 1500 sūk./min, sukimosi kryptis – pagal laikrodžio
 rodyklę);
 G00 X50.0 Y50.0 (greitojo pozicionavimo judesys į užrašo pradžią XY plokštumoje);

G43 Z5.0 H08 M08 (greitasis įrankio nuleidimas 5 mm aukščiau detalės Z0 pritaikant įrankio ilgio kompensaciją iš 8-os kompensacijų lentelės eilutės);
 N4 #506=0.0 (kintamojo #506 reikšmė tampa lygi 0);
 M109 P506 (1–Pr, 2–A, 3–T, 4–K, 5–Pn);
 (įvesti kintamojo #506 reikšmę (1, 2, 3, 4 arba 5), atitinkančią savaitės dieną iš klaviatūros, bus parodytas pranešimas skliaustuose);
 N5 IF[#506 EQ 0.0] GOTO5 (uždaras ciklas, kol nebus įvestas koks nors skaičius 1–5 arba kitoks ženklas);
 #506=FIX[#506] (iš kintamojo #506 reikšmės atmetama trupmeninė dalis, jei buvo per klaidą įvesta);
 IF[#506 EQ 49.0] GOTO#506 (jeigu įvestas skaičius 1, programa pradedama vykdyti nuo eilutės N49. Kintamojo reikšmė lyginama su dešimtainiu skaičiaus ekvivalentu – skaičiumi 49 (11.3 lentelė));
 IF[#506 EQ 50.0] GOTO#506 (jeigu įvestas skaičius 2, programa pradedama vykdyti nuo eilutės N50. Kintamojo reikšmė lyginama su dešimtainiu skaičiaus ekvivalentu – skaičiumi 50 (11.3 lentelė));
 IF[#506 EQ 51.0] GOTO#506 (jeigu įvestas skaičius 3, programa pradedama vykdyti nuo eilutės N51. Kintamojo reikšmė lyginama su skaičiaus dešimtainiu ekvivalentu – skaičiumi 51 (11.3 lentelė));
 IF[#506 EQ 52.0] GOTO#506 (jeigu įvestas skaičius 4, programa pradedama vykdyti nuo eilutės N52. Kintamojo reikšmė lyginama su skaičiaus dešimtainiu ekvivalentu – skaičiumi 52 (11.3 lentelė));
 IF[#506 EQ 53.0] GOTO#506 (jeigu įvestas skaičius 5, programa pradedama vykdyti nuo eilutės N53. Kintamojo reikšmė lyginama su skaičiaus dešimtainiu ekvivalentu – skaičiumi 53 (11.3 lentelė));
 GOTO4 (grįžti į eilutę N4, jeigu buvo įvestas kitas skaičius, nepriklausantis intervalui 1–5);
 N49 G47 P0 J15.0 R2.0 Z-1.0 F120.0 E50.0 (Pr);
 GOTO 6 (programos nukreipimas į eilutę N6);
 N50 G47 P0 J15.0 R2.0 Z-1.0 F120.0 E50.0 (A);
 GOTO 6 (programos nukreipimas į eilutę N6);
 N51 G47 P0 J15.0 R2.0 Z-1.0 F120.0 E50.0 (T);
 GOTO 6 (programos nukreipimas į eilutę N6);
 N52 G47 P0 J15.0 R2.0 Z-1.0 F120.0 E50.0 (K);
 GOTO 6 (programos nukreipimas į eilutę N6);
 N53 G47 P0 J15.0 R2.0 Z-1.0 F120.0 E50.0 (Pn);
 GOTO 6 (programos nukreipimas į eilutę N6);
 N6 G90 G00 Z200.0 M09 (pagreitinamas įrankio atitraukimas nuo detalės paviršiaus į aukštį Z200 nuo detalės Z0, TAS tiekimo išjungimas);
 N30 M30 (programos pabaiga ir grįžimas į pradžią);

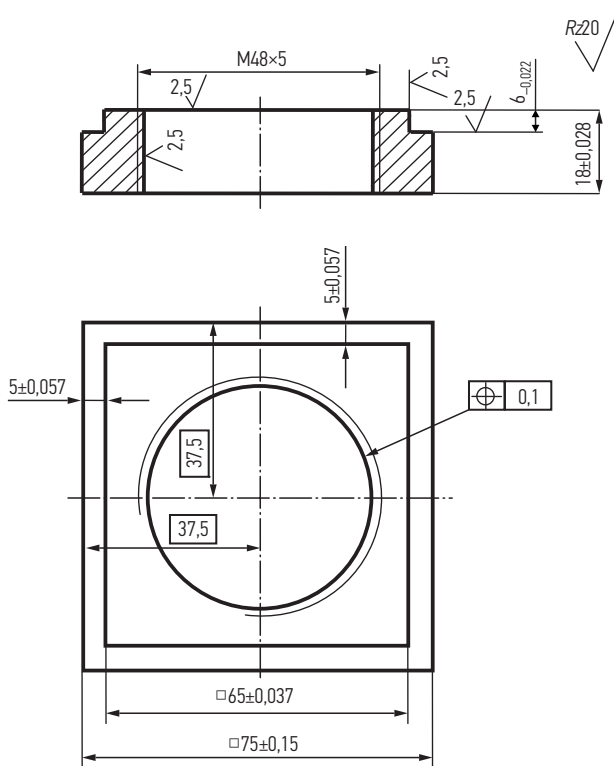
Kontroliniai klausimai

1. Kas yra makroprogama? Kokių teigiamų savybių turi makroprograma, palyginti su paprastąja? Kokiais atvejais tikslinga naudoti makroprogramas?
2. Kas yra lokalieji makrokintamieji? Kiek jų yra? Kuo jie ypatingi? Kaip perduoti jų reikšmes į makroprogramą? Koks kodo formatas?
3. Kas yra globalieji makrokintamieji? Kokie numeriai rezervuoti globaliesiems kintamiesiems „HAAS“ firmos valdymo sistemose? Kuo jie skiriasi nuo lokaliųjų kintamųjų?
4. Kokias aritmetines operacijas galima atlikti su makrokintamaisiais? Kokias trigonometrines funkcijas galima naudoti? Kaip užrašomos pagrindinės funkcijos?
5. Kokius Bulio ir loginius operatorius galima naudoti su makrokintamaisiais? Pateikite pavyzdžių.
6. Kam makroprogramose naudojami operatoriai IF... THEN..., WHILE... DO... ir IF... GOTO...? Pateikite pavyzdžių.
7. Parenkite makroprogramą 10.6 pav. parodytai detalei apdirbti taip, kad galima būtų pagal vieną programą, priklausomai nuo įvestų kintamųjų reikšmių, gauti langelius, parodytus 10.6 pav., a, b, c ir d. Sakykime, langelis detalėje jau padarytas, jo kontūrą reikia tiesiog apeiti freza.
8. Parenkite makroprogramą 10.15 pav. parodytai detalei apdirbti taip, kad galima būtų pagal vieną programą, priklausomai nuo įvestų kintamųjų reikšmių, gauti langelius, parodytus 10.15 pav., a ir b. Sakykime, langelis detalėje jau padarytas, jo kontūrą reikia tiesiog apeiti freza.
9. Parenkite makroprogramą 10.20 pav. parodytai detalei apdirbti taip, kad galima būtų pagal vieną programą, priklausomai nuo įvestų kintamųjų reikšmių, gauti griovelius, parodytus 10.20 pav., a ir b.
10. Parenkite makroprogramą skylėms gręžti 10.32 pav. parodytoje detalėje. Programą sudarykite taip, kad naudojant makrokintamuosius būtų galima nurodyti skylių skaičių ir kampo tarp jų dydį bei skylių centrų spindulį.
11. Parenkite makroprogramą „HAAS“ firmos frezavimo staklėms gręžti skylėms 12.8 pav. parodytoje detalėje. Programą parenkite taip, kad būtų galima gauti bet kokią $n \times m$ skylių masyvą, makrokintamaisiais nurodant žingsnį pagal X ir Y ašis. Pirmos skylės padėtis tegul taip pat bus nurodoma kintamaisiais. Programoje taip pat turėtų būti galimybė makrokintamaisiais nurodyti gręžto skersmenį, kurio reikšmė turi būti palyginta su įrankių skersmenų sisteminių kintamųjų reikšmėmis ir parinktas nurodyto skersmens įrankis iš dėtuvės. Jeigu reikiamo skersmens įrankio dėtuvėje nėra, programa turi būti priverstinai sustabdyta.

PRIEDAI

1 PRIEDAS

Veržlės apdirbimo programa ir „HAAS“ firmos
CNC vertikalojo apdirbimo centro VF-2 derinimo lapas



1 pav. Veržlė

CNC vertikalojo apdirbimo centro „HAAS“ VF-2 derinimo lapas				
Detalės pavadinimas:	Veržlė	Operatorius:	Vardenis Pavardenis	
Detalės medžiaga:	Plienas C15	Išdavimo data:	2010-04-20	
Detalės brėžinio žymuo:	VGTU 2010-01-32	Pagaminti iki:	2010-04-20	
Operacijos numeris:	010	Detalių skaičius:	36	
Operacijos pavadinimas:	Frezavimo, gręžimo, ištekimo, sriegimo			
Ruošinys:	75×75×20			
Programos pavadinimas:	O55546	Lapas:	1	
Tvirtinimo įtaisas:	Spaustuvai	Lapų:	3	
Operacijos turinys				
Pakopos Nr.	Pakopos aprašas			
1	Frezuoti detalės galą išlaikant matmenį 1			
2	Frezuoti iškyšą viena įrankio eiga XY plokštumoje išlaikant matmenis 2, 3 ir 4			
3	Gręžti detalės centre skylę Ø40 mm išlaikant matmenis 1, 5 ir 6			
4	Ištekinti skylę iki Ø42,59 mm išlaikant matmenis 1, 5 ir 6			
5	Sriegti sriegį išlaikant matmenis 1, 5, 6 ir 7			
Technologinis eskizas				
Pakopos Nr.	s, mm/min	v, m/min	n, sūk./min	t, mm
1	1000	219,8	700	2
2	230	40,8	1300	5
3	750	314	2500	20
4	300	247,5	1850	1,295
5	121	150	1590	2,885

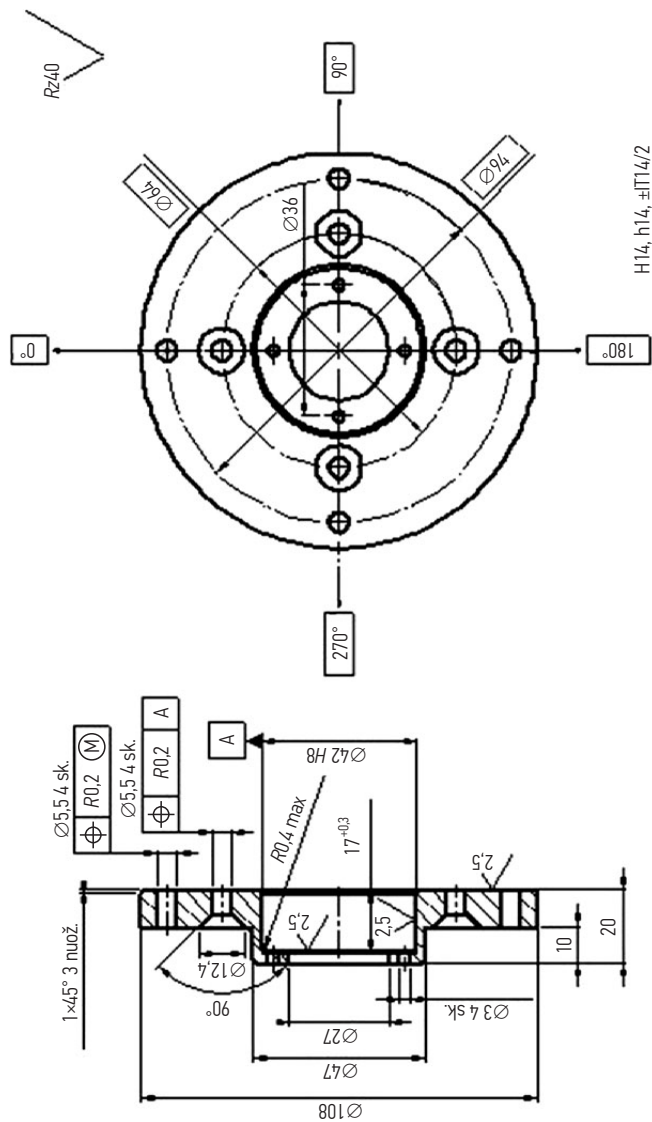
CNC vertikalojo apdirbimo centro „HAAS“ VF-2 derinimo lapas			
Detalės pavadinimas:	Veržlė	Lapas:	2
Detalės brėžinio žymuo:	VGTU 2010-01-32	Lapų:	3
Programos pavadinimas:	O55546		
Derinimo schema			
Pastabos:			
1. Naudoti spaustuvus su papildoma atrama ruošiniui atremti.			
2. Apatinei ruošinio plokštumai pakelti nurodytu atstumu (≥ 6 mm) virš spaustuvų bazavimo paviršiaus skirtas plokštelės išdėstyti skylės centro (G55) ir viena kitos atžvilgiu taip, kad ištekimo galvutės peilis ir sriegimo freza neliestų plokštelių išeinant iš ruošinio per apatinę jo plokštumą.			
3. Nurodytas atstumas 10–12 mm nuo spaustuvų žiaunų iki ruošinio viršutinės plokštumos turi būti išlaikytas taip pat ir nuo papildomos atramos paviršiaus.			

CNC vertikaliojo apdirbimo centro „HAAS“ VF-2 derinimo lapas				
Detalės pavadinimas:	Veržlė	Lapas:	3	
Detalės brėžinio žymuo:	VG TU 2010-01-32	Lapų:	3	
Programos pavadinimas:	O55546			
Programoje naudojami įrankiai				
Lizdo Nr.	Ilgio kompensacijos registro Nr.	Spindulio kompensacijos registro Nr.	Skersmuo, įrašomas į registrą	Aprašas
T1*	H01	Nenaudojamas	100	„Atorn“ firmos galinė freza S420-100-12 su 6 plokštelėmis SEKT 1204 (HC 4620 rūšis)
T3	H03	D03	9,997	„Carmon“ firmos CL1610000 HSS-Co pirštinė freza, Ø10 mm, z = 3
T4	H04	Nenaudojamas	40	„Kennametal“ firmos grąžtas DFS400R2WD32M (Ø40–41) su kietlydinio plokštelėmis SPPX120408FP (išorinė) ir DFT06T308MD (vidinė), KC7140 rūšis
T6	H06	Nenaudojamas	42,590	„Kennametal“ firmos ištekinimo galvutė KM40SVS1B100M, Ø42–53
T8	H08	D08	30,000	„Vargus“ firmos VARDEX sriegimo freza TMC25-5 124/003 su kietlydinio plokštele 515.0ISOTMVBX028/075
Pastabos:				
1. *Įrankio skersmuo didesnis už leistinąjį, todėl gretimuose dėtuvės lizduose neturi būti įrankių.				
2. Įrankių ilgių kompensacijų reikšmės nustatomos kiekvieno įrankio galu prisiliečiant prie viršutinės ruošinio plokštumos ir didinant gautą ilgio kompensaciją galinio frezavimo užlaidos dydžiu, t. y. 2 mm (žr. derinimo schemą).				

O55546
(programa verzei apdirbti);
N1 G21 G90 G54 G17 G80;
(galo frezavimas);
N2 T1 (galine freza S420-100-12);
N3 M06;
N4 S700 M03;
N5 G00 X-60.0 Y-32.0;
N6 G43 Z5.0 H01;
N7 G01 Z0.0 F1000.0 M08;
N8 X135.0;
N9 G00 Z5.0 M09;
(iskysos frezavimas);
N10 T3 M06 (pirstine freza CL16);
N11 S1300 M03;
N12 G00 X-7.0 Y2.0;
N13 G43 H03 Z2.0;
N14 G01 Z-6.0 F100.0 M08;
N15 G41 D03 Y-5.0 F230.0;
N16 X70.0;
N17 Y-70.0;
N18 X5.0;
N19 Y2.0;
N20 G40 X-7.0 M09;
N21 G00 Z2.0;
(skyles grezimas);
N22 T4 M06 (graztas DFS400R2WD32M);
N23 S2500 M03;
N24 G55 G00 X0.0 Y0.0;
N25 G43 Z2.0 H04 M08;
N26 G98 G81 Z-21.0 R1.0 F750.0;
N27 G80 M09;
(skyles istekinimas);
N28 T6 M06 (istekinimo galvute KM40SVS1B100M);
N29 S1850 M03;
N30 G00 X0.0 Y0.0;
N31 G43 Z4.0 H06;
N32 M08;
N33 G99 G85 R1.0 Z-22.0 F300.0;
N34 G80 M09;
(sriegio frezavimas);
N35 T8 M06 (sriegimo freza TMC25-5);
N36 S1590 M03;
N37 G00 X0.0 Y0.0;
N38 G43 Z2.0 H08;
N39 G91 Z-20.584;
N40 G01 G41 D08 X4.825 Y-19.356 F36.0;
N41 G03 X19.356 Y19.356 Z0.584 R19.356 F36.0 M08;
N42 G03 Z5.0 I-24.180 F121.0;
N43 G03 X-19.356 Y19.356 Z0.584 R19.356;
N44 G00 G40 X-4.825 Y-19.356 M09;
N45 G90 Z5.0;
N46 G28 Z5.0;
N47 M30;

2 PRIEDAS

Dangtelio apdirbimo programa ir „HAAS“ firmos CNC tekinimo centro SL-20 derinimo lapas



H14, h14, IT14/2

2 pav. Dangtelis

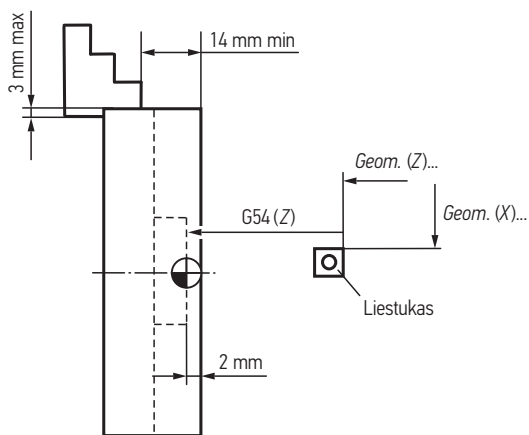
CNC tekinimo centro „HAAS“ SL-20 derinimo lapas			
Detalės pavadinimas:	Dangtelis	Operatorius:	Vardenis Pavardenis
Detalės medžiaga:	Plienas C45	Išdavimo data:	2010-04-20
Detalės brėžinio žymuo:	VG TU 2010-01-35	Pagaminti iki:	2010-04-22
Operacijos numeris:	005	Detalių skaičius:	10
Operacijos pavadinimas:	Galo tekinimo ir gręžimo		
Ruošiny:	Ø108×25		
Programos pavadinimas:	O55548	Lapas:	1
Tvirtinimo įtaisas:	Trijų kumštelių griebtuvas	Lapų:	3
Operacijos turinys			
Pakopos Nr.	Pakopos aprašas		
1	Tekinti galą nuimant 2 mm užlaidą ir išlaikant matmenį 1		
2	Tekinti paviršius rupiai, paliekant 1 mm užlaidą X ir Z ašių kryptimis		
3	Tekinti paviršius glotniai, išlaikant matmenis 2, 3 ir 4		
4	Gręžti skylę išlaikant matmenis 5 ir 1		
5	Gręžti 4 skylės išlaikant matmenis 6, 7 ir 8		
6	Gręžti 4 skylės išlaikant matmenis 9 ir 10		
	Gręžti 4 skylės išlaikant matmenis 11 ir 12		
7	Gilinti 4 skylės išlaikant matmenis 13 ir 14		
Technologinis eskizas			

Pakopos Nr.	s	v , m/min	n , sūk./min	t , mm
1	0,3 mm/sūk.	320	943,6–3000	2
2	0,25 mm/sūk.	320	943,6–2370	3
3	0,25 mm/sūk.	320	943,6–2370	1
4	0,08 mm/sūk.	237,4	2800	13,5
5	150 mm/min	18,84	2000	1,5
6	260 mm/min	44,9	2600	2,75
7	150 mm/min	24,9	640	3,45

CNC tekinimo centro „HAAS“ SL-20 derinimo lapas

Detalės pavadinimas:	Dangtelis	Lapas:	2
Detalės brėžinio žymuo:	VGTU 2010-01-35	Lapų:	3
Programos pavadinimas:	O55548		

Derinimo schema



Pastabos:

1. Naudoti griebtuvą su kietomis žiaunomis.
2. Nustatyti 260 psi slėgį hidraulinėje griebtuvo sistemoje.

CNC tekinimo centro „HAAS“ SL-20 derinimo lapas					
Detalės pavadinimas:		Dangtelis		Lapas:	3
Detalės brėžinio žymuo:		VGTU 2010-01-35		Lapų:	3
Programos pavadinimas:		O55548			
Programoje naudojami įrankiai					
Liz- do Nr.	Geometrijos ir spindulio kompensacijų registro Nr.	Dilimo kompen- sacijos registro Nr.	Viršūnės padėtis	Spindulys	Aprašas
T1	1	1	3	0,8	„Atorn“ firmos peilis SCLCR2525M12 su plokštele CCMT120408MP (HC6630 rūšis)
T3	3	3	0	Nenaudo- jamas	„Carmon“ firmos spiralinis grąžtas CL10100300, Ø3 mm, HSS-Co
T4	4	4	0	Nenaudo- jamas	„Carmon“ firmos spiralinis grąžtas CL10100550, Ø5,5 mm, HSS-Co QUARTZ
T5	5	5	0	Nenaudo- jamas	„Carmon“ firmos gilintuvas SV7412490, Ø12,4 mm HSS-Co
T7	7	7	0	Nenaudo- jamas	„Seco“ firmos surenkamas grąžtas SD70-27-54-32R7, plokštelės WCMX050308 ir WCMX080412-86 (T2000D ir T400D rūšis)
Pastabos:					
1. Įrankių geometrijos (ilgių) kompensacijų reikšmės nustatomos prisiliečiant prie įrankių derinimo įtaiso liestuko. Detalės koordinacių sistemos nulio padėčiai liestuko atžvilgiu kompensuoti Z ašies kryptimi naudoti G54 koordinacių sistemos pradžios Z stulpelį (žr. derinimo schemą).					

O55548

(dangtis priek.);

G21 G18 G54;

G28;

(galo tekinimas);

T101 (SCLCR2525M12);

G50 S3000;

S1000 M03;

G00 Z0.0;

X112.0;

G96 S320 M08;

G01 X-2.0 F0.3;

G00 Z3.0;

X112.0;

(profilio tekinimas);

G72 P100 Q101 D3.0 I1.0 K1.0 F0.25;

N100 G00 G41 Z-10.0;

G01 X47.0;

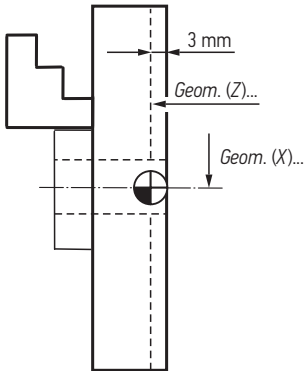
Z-1.0;

X43.0 Z1.0;

N101 G40 Z3.0;
G97 S2800 M09;
G00 Z120.0;
(27 mm sk. grezimas)
T707 (SD70-27-54-32R7);
Z5.0;
X0.0 M08;
G90 Z-25.0 F0.08;
G00 Z120.0 M09;
M05;
(3 mm 4 sk. grezimas);
T303 (CL10100300);
M19 P0;
M133 P2000;
G00 Z3.0;
M14;
G98 X36.0 M08;
G81 Z-6.0 R1.5 F150.0;
M19 P90;
G04 P1.0;
M14;
X36.0;
M19 P180;
G04 P1.0;
M14;
X36.0;
M19 P270;
G04 P1.0;
M14;
X36.0;
G00 X112.0 M09;
Z120.0;
M15;
M135;
(5,5 mm 8 sk. grezimas);
T404 (CL10100550);
M19 P0;
M133 P2600;
G00 Z-7.0;
M14;
X94.0 M08;
G81 Z-22.5 R-8.5 F260.0;
X64.0;
M19 P90;

G04 P1.0;
M14;
X64.0;
X94.0;
M19 P180;
G04 P1.0;
M14;
X94.0;
X64.0;
M19 P270;
G04 P1.0;
M14;
X64.0;
X94.0;
G00 X112.0 M09;
Z120.0;
M15;
M135;
(12,7 mm 4 sk. gilinimas);
T505 (SV7412490);
M19 P0;
M133 P640;
G00 Z-7.0;
M14;
X64.0 M08;
G82 Z-14.8 R-8.5 P800 F150.0;
M19 P90;
G04 P1.0;
M14;
X64.0;
M19 P180;
G04 P1.0;
M14;
X64.0;
M19 P270;
G04 P1.0;
M14;
X64.0;
G00 X112.0 M09;
G99 G28;
M15;
M135;
M30;

CNC tekinimo centro „HAAS“ SL-20 derinimo lapas				
Detalės pavadinimas:	Dangtelis	Operatorius:	Vardenis Pavardenis	
Detalės medžiaga:	Plienas C45	Išdavimo data:	2010-04-22	
Detalės brėžinio žymuo:	VG TU 2010-01-35	Pagaminti iki:	2010-04-23	
Operacijos numeris:	010	Detalių skaičius:	10	
Operacijos pavadinimas:	Galo tekinimo ir ištekinimo			
Ruošinys:	Ø108×23			
Programos pavadinimas:	O55549	Lapas:	1	
Tvirtinimo įtaisas:	Trijų kumštelių griebtuvas	Lapų:	3	
Operacijos turinys				
Pakopos Nr.	Pakopos aprašas			
1	Tekinti galą rupiai, nuimant 2,4 mm užlaidą			
2	Tekinti galą glotniai, išlaikant matmenį 1			
3	Ištekinėti paviršių rupiai, paliekant 0,3 mm užlaidą			
4	Ištekinėti paviršių glotniai, išlaikant matmenis 2, 3, 4 ir 5			
Technologinis eskizas				
<p>H14, h14, ±IT14/2</p>				
Pakopos Nr.	s, mm/sūk	v, m/min	n, sūk./min	t, mm
2	0,3	320	943,6–3774,5	2,4
3	0,16	320	943,6–3774,5	0,6
4	0,12	350	2533,3–3800	2
5	0,05	420	3040–3800	0,3

CNC tekinimo centro „HAAS“ SL-20 derinimo lapas			
Detalės pavadinimas:	Dangtelis	Lapas:	2
Detalės brėžinio žymuo:	VG TU 2010-01-35	Lapų:	3
Programos pavadinimas:	O55549		
Derinimo schema			
 <p>The diagram shows a cross-section of a part with a vertical dashed line representing the Z-axis. A horizontal dimension of 3 mm is indicated from the Z-axis to the right edge of the part. A coordinate system is shown with the Z-axis pointing left and the X-axis pointing down. The part has a complex profile with a circular feature on the right side.</p>			
Pastabos:			
1. Naudoti griebtuvą su kietomis žiaunomis.			
2. Nustatyti 260 psi slėgį hidraulinėje griebtuvo sistemoje.			

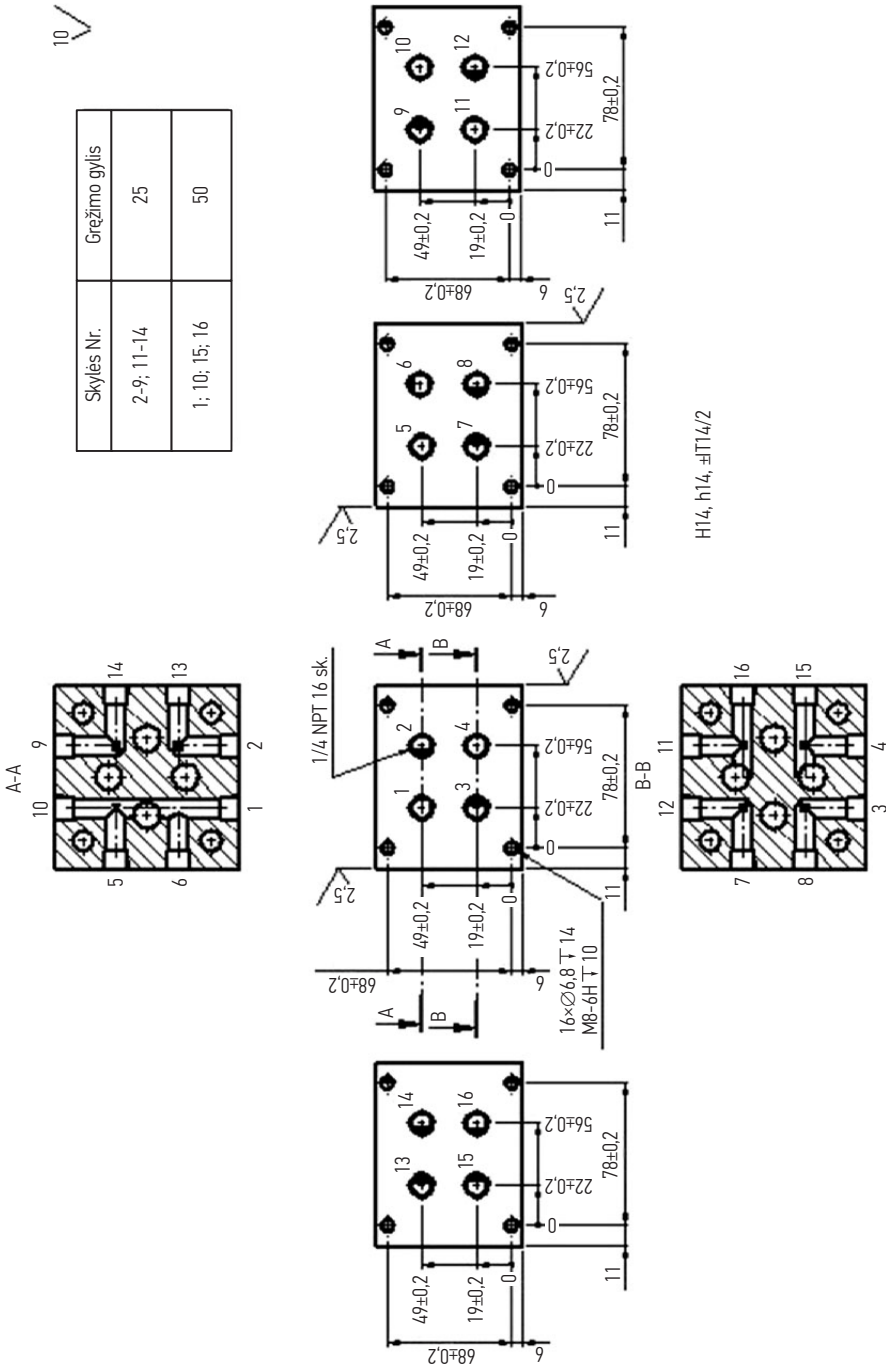
CNC tekinimo centro „HAAS“ SL-20 derinimo lapas					
Detalės pavadinimas:	Dangtelis	Lapas:	3		
Detalės brėžinio žymuo:	VG TU 2010-01-35	Lapų:	3		
Programos pavadinimas:	O55549				
Programoje naudojami įrankiai					
Liz- do Nr.	Geometrijos ir spindulio kompensacijų registro Nr.	Dilimo kompensacijos registro Nr.	Viršūnės padėtis	Spindulys	Aprašas
T1	1	1	3	0,8	„Atorn“ firmos peilis SCLCR2525M12 su plokštele CCMT120408MP (HC6630 rūšis)
T8	8	8	2	0,2	„Atorn“ firmos peilis S16RPCLNR09 su plokštele CNMG090302MN (HC6620 rūšis)
Pastabos:					
1. Įrankių geometrijos (ilgių) kompensacijų reikšmės nustatomos kiekvienu įrankiu prisiliečiant prie ruošinio. Nuo nustatytos prisilietus prie ruošinio galo Z kompensacijos reikšmės reikia atimti užlaidą galui tekinti, t. y. 3 mm. X kompensacijos reikšmė gaunama prisilietus prie ruošinio šoninio paviršiaus ir atėmus iš gautos reikšmės ruošinio skersmenį.					

055549
(dangtis uzpak.);
G21 G18 G54;
G28;
(rupusis galo tekinimas);
T101 (SCLCR2525M12);
S1000 M03;
G00 Z3.5;
X112.0;
G96 S320 M08;
G94 X25.0 Z0.6 F0.3;
(glotnūsīs galo tekinimas);
Z0.0 F0.16;
G97 S1000;
G00 Z120.0 M09;
(rupusis istekinimas);
T808 (S16RPCLNR09);

G00 Z2.0;
X25.0;
G96 S350 M08;
G71 P103 Q104 U-0.6 W0.3 D2.0 F0.12;
N103 G00 G41 X48.0;
G01 X42.0 Z-1.0;
Z-17.0;
X27.0;
Z-21.0;
N104 G40 X25.0;
(glotnūsīs istekinimas);
G70 P103 Q104 F0.05 S420;
G97 S1000;
G00 X112.0 M09;
G28;
M30;

3 PRIEDAS

Hidraulinio apdirbimo programa ir „HAAS“ firmos CNC horizontaliojo apdirbimo centro HS-1R derinimo lapas

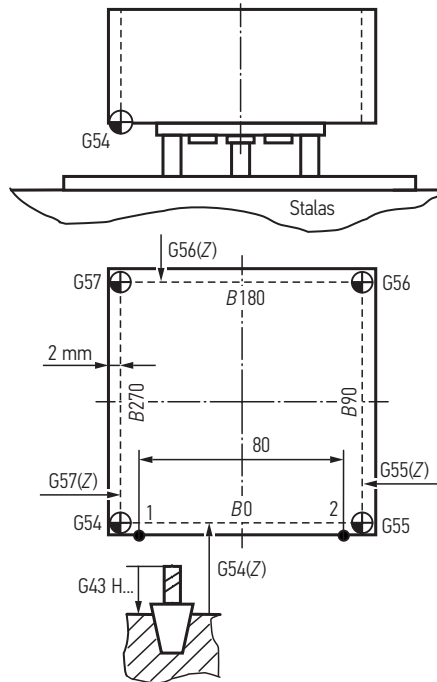


3 pav. Hidraulinis modulis (parodyti tik apdirbimui reikalingi matmenys)

Pakopos Nr.	s , mm/min	v , m/min	n , sūk./min	t , mm
1	800	144,4	460	2
2	500	45	1790	4
3	400	36,9	1060	5,55
4	738	22,7	523	1,308
5	500	48	2248	3,4
6	1250	25,1	1000	0,811

CNC horizontaliojo apdirbimo centro „HAAS“ HS-1R derinimo lapas			
Detalės pavadinimas:	Hidraulinis modulis	Lapas:	2
Detalės brėžinio žymuo:	VGTU 2010-01-38	Lapų:	3
Programos pavadinimas:	O55560		

Derinimo schema



Pastabos:

1. Ruošiny s tvirtinamas prie įtaiso trimis varžtais M8. Prieš užveržiant galutinai patikrinti šoninės ruošinio plokštumos lygiagretumą staklių ašies X atžvilgiu. Patikrinimui naudoti suklyje įtvirtintą 0,01 padalos vertės indikatorių, jo rodmenų skirtumas matavimo taškuose 1 ir 2 neturi viršyti 0,06 mm.
2. Detalės koordinacijų sistemos pradžios G54–G57 pasirenkamos kiekvienos detalės šoninės plokštumos apatiniame kairiajame kampe. Kompensacijų dydžiai pagal X ir Y staklių ašis nustatomi prisilietimo prie ruošinio metodu. Į lentelę įrašomos neigiamos reikšmės. X ašies kompensacijos reikšmė, gauta įrankiu prisilietus prie ruošinio šono, turi būti sumažinta 2 mm (užlaida galui frezuoti), kaip parodyta schemoje. B ašies kompensacijų stulpelyje paliekami nuliai.
3. Į įrankio ilgių kompensacijų lentelės eilutes H01, H03–H07 įrašomos teigiamos įrankių ilgių kompensacijų reikšmės, išmatuotos stende taip, kaip parodyta derinimo schemoje. Nevienodi atstumai tarp kiekvieno įrankio galo iki ruošinio šoninio paviršiaus stalo kampinėse padėtyse B0, B90, B180 ir B270 kompensuojami detalės koordinacijų sistemų pradžių G54–G57 kompensacijų Z reikšmėmis. Šios kompensacijos nustatomos prisilietimo metodu nuo suklio galo iki ruošinio šoninio paviršiaus kiekvienoje kampinėje stalo padėtyje ir įrašomos į detalės koordinacijų sistemų pradžių G54–G57 kompensacijų lentelės Z ašies stulpelį su neigiamu ženklu. Prisilietimo metodu nustatytos kompensacijos reikšmė turi būti didinama 2 mm (užlaida galui frezuoti), kaip parodyta schemoje.

CNC horizontaliojo apdirbimo centro „HAAS“ HS-1R derinimo lapas				
Detalės pavadinimas:	Hidraulinis modulis	Lapas:	3	
Detalės brėžinio žymuo:	VG TU 2010-01-38	Lapų:	3	
Programos pavadinimas:	O55560			
Programoje naudojami įrankiai				
Lizdo Nr.	Ilgio kompensacijos registro Nr.	Spindulio kompensacijos registro Nr.	Skersmuo, įrašomas į registrą	Aprašas
T1*	H01	Nenaudojamas	–	„Atorn“ firmos galinė freza S420-100-12 su 6 plokštelėmis SEKT 1204AFS (HW 4410 rūšis)
T3	H03	Nenaudojamas	–	„Carmon“ firmos CL10200080 TITANITE žymėjimo grąžtas, Ø8 mm
T4	H04	Nenaudojamas	–	„Carmon“ firmos CL104R01110 QUARTZ spiralinis grąžtas, Ø11,1 mm
T5	H06	Nenaudojamas	–	„Carmon“ firmos NPT sriegiklis N59000104 1/4_18
T6	H06	Nenaudojamas	–	Carmon“ firmos CL10100680 TITANITE spiralinis grąžtas, Ø6,8 mm
T7	H07	Nenaudojamas	–	Carmon“ firmos M52400008 sriegiklis M8×1,25
T12	Nenaudojamas	Nenaudojamas	–	„Atorn“ firmos skaitmeninis indikatorius 40-80-77, 0–12,5 mm, padalos vertė – 0,01 mm
Pastabos:				
1. *Įrankio skersmuo didesnis už leistinąjį, todėl gretimuose dėtuvės lizduose neturi būti įrankių.				
2. Įrankių ilgių kompensacijų reikšmės nustatomos derinimo stende, kaip parodyta derinimo schemeje. Į ilgių kompensacijų lentelę įrašomos teigiamos kompensacijų reikšmės.				

055560
 (hidr. modulis);
 G21 G17 G54;
 G91 G28 Z0.0;
 G28 X0.0 Y0.0;
 G28 B0.0;
 T1 M06 (S420-100-12);
 S460 M03;
 M98 P55561;
 G55;
 M98 P55561;
 G56;
 M98 P55561;
 G57;
 M98 P55561;
 G28 Z0.0 Y0.0;
 (zymejimas);
 T3 M06 (CL10200080);
 S1790 M03;
 G90 G54 G00 X33.0 Y25.0;
 G43 H03 Z6.0;
 M98 P55562;
 G90 G55;
 M98 P55562;
 G90 G56;
 M98 P55562;
 G90 G57;
 M98 P55562;
 G28 Z0.0;
 (grezimas);
 T4 M06 (CL104R01110);
 S1060 M03;
 G54 G90 G00 X33.0 Y25.0;
 G43 H04 Z80.0 M08;
 G99 G83 R2.0 Q14.0 Z-35.0 F400.0;
 X67.0;
 Y55.0;
 G98 X33.0 Z-50.0;
 G00 B90.0;
 G55 X33.0 Y25.0;
 G99 G83 R2.0 Q14.0 Z-50.0;
 X67.0;

Y55.0 Z-35.0;
 G98 X33.0;
 G00 B180.0;
 G56 X33.0 Y25.0;
 G99 G83 R2.0 Q14.0 Z-35.0;
 X67.0;
 Y55.0 Z-50.0;
 G98 X33.0 Z-35.0;
 G00 B270.0;
 G57 X33.0 Y25.0;
 G99 G83 R2.0 Q14.0 Z-35.0;
 X67.0;
 Y55.0;
 G98 X33.0;
 G00 B0.0;
 G91 G28 Z0.0 Y0.0;
 (sriegimas);
 T5 M06;
 S523 M03;
 G90 G54 X33.0 Y25.0;
 G43 H05 Z10.0;
 M98 P55563;
 G90 G55;
 M98 P55563;
 G90 G56;
 M98 P55563;
 G90 G57;
 M98 P55563;
 G28 Z0.0 Y0.0;
 (grezimas);
 T6 M06 (CL10100680);
 S2248 M03;
 G90 G00 B0.0;
 G54 X11.0 Y6.0;
 G43 Z5.0 H06;
 M98 P55564;
 G55;
 M98 P55564;
 G56;
 M98 P55564;
 G57;
 M98 P55564;

G28 Z0.0 Y0.0;
(sriegimas M8);
T7 M06 (M52400008);
S1000 M03;
G90 G00 B0.0;
G54 X11.0 Y6.0;
G43 Z10.0 H07;
M98 P55566;
G55;
M98 P55566;
G56;
M98 P55566;
G57;
M98 P55566;
G90 G54;
G28;
M30;

O55561
(galo frez.);
G90 G00 X-55.0 Y45.0;
G43 H01 Z5.0 M08;
G01 Z0.0 F500.0;
X155.0 F800.0;
G00 Z80.0 M09;
G91 B90.0;
M99;

O55562
(zymejimas);
M08;
G00 X33.0 Y25.0;
G99 G82 R2.0 Z-4.0 P500 F500.0;
G91 X34.0;
Y30.0;
X-34.0;
G00 Z80.0 M09;
B90.0;
M99;

O55563
(sriegimas);
M08;

G00 X33.0 Y25.0;
G99 G84 R5.0 Z-13.52 F738.0;
G91 X34.0;
Y30.0;
X-34.0;
G00 Z80.0 M09;
B90.0;
M99;

O55564;
(grezimas 6,8);
G90 G99 G81 Z-15.68 R2.0 F500.0 L0;
M98 P55565;
M99;

O55566;
(sriegimas M8);
G90 G99 G84 Z-12.0 R5.0 F1250.0 L0;
M98 P55565;
M99;

O55565
(grezimas, sriegimas);
M08;
X11.0 Y6.0;
Y74.0;
X89.0;
Y6.0;
G91 G00 Z50.0 M09;
B90.0;
M99;

SANTRUMPOS

- APC – *Automatic Pallet Changer* (Automatinis palečių keitimo įrenginys)
 APL – *Automatic Parts Loader* (Automatinis detalių pakrovimo įrenginys)
 ASCII – *American Standard Code for Information Interchange*
 (Amerikos informacijos mainų koduotės standartas)
 ATC – *Automatic Tool Changer* (Automatinis įrankių keitimo įrenginys)
 CAD – *Computer Aided Design* (Projektavimas kompiuteriu)
 CAM – *Computer Aided Manufacturing* (Gamybos valdymas kompiuteriu)
 CCW – *Counterclockwise* (Prieš laikrodžio rodyklę)
 CNC – *Computer Numerical Control* (Kompiuterinis skaitmeninis programinis valdymas)
 CRC – *Cutter Radius Compensation* (Įrankio spindulio kompensacija)
 CSS – *Constant Surface Speed* (Pastovus pjovimo greitis)
 CW – *Clockwise* (Pagal laikrodžio rodyklę)
 EIA – *Electronic Industries Alliance* (Elektronikos pramonės šakų aljansas)
 EOB – *End of Block* (Eilutės pabaigos ženklo mygtukas)
 HSS – *High Speed Steel* (Greitapjovis plienas)
 HSS-Co – *High Speed Steel-Cobalt* (Greitapjovis plienas su padidintu kobalto kiekiu)
 ID (I.D.) – *Inner Diameter* (Vidinis skersmuo)
 ISO – *International Organization for Standardization* (Tarptautinė standartų organizacija)
 IT – *ISO Tolerances* (ISO nuokrypiai)
 JAV – Jungtinės Amerikos Valstijos
 MDI – *Manual Data Input* (Rankinio duomenų įvedimo režimas)
 NC – *Numerical Control* (Skaitmeninis programinis valdymas)
 NPT – *National Pipe Thread* (JAV kūginių vamzdinių sriegių standartas)
 OD (O.D.) – *Outer Diameter* (Išorinis skersmuo)
 PG – *Panzergewinde* (Vokietijos sriegių standartas)
 PV – programinis valdymas
 TAS – tepimo ir aušinimo skystis
 TPI – *Threads per Inch* (Vijų skaičius viename colyje)
 TSC – *Through Spindle Coolant* (TAS tiekimas per suklio skylę)
 USB – *Universal Serial Bus* (Universalioji jungtis)
 VQC – *Visual Quick Code* (Vizualinio programų rengimo programinė įranga, naudojama „HAAS“ firmos CNC staklių programoms rengti)

TRUMPAS SĄVOKŲ ŽODYNAS

Apskritiminės interpoliacijos judesys – CNC staklių įrankio pjojimo (pastūmos) judesys, kurio metu įrankio atraminis taškas juda iš pradinio judesio taško į galinį apskritimo lanko trajektorija. Lanko centrinis kampas gali būti nuo 0 iki 360°. Apskritiminės interpoliacijos judesys gali būti atliktas pagal ir prieš laikrodžio rodyklę, programoje apskritiminės interpoliacijos režimas nurodomas kodais G02/G03.

Arkliukas – judantis kreipiamosiomis išilgai ruošinio ašies tekinimo staklių (taip pat apvaliojo šlifavimo staklių, frezavimo staklių su dalijimo galvute ir pan.) įtaisas, kuriame yra kūginis centras ruošinio laisvajam galui palaikyti. Centro kūgis spaudžiamas į anksčiau išgręžtos ruošinio centro skylės paviršių, tokiu būdu laisvasis ruošinio galas veikiant pjojimo jėgai lieka savo vietoje ir neatsilenkia. Vietoje centro gali būti tvirtinamas įrankis, pvz., grąžtas skylėms, kurių ašys yra lygiagrečios su ruošinio ašimi, gręžti.

Ašinė skylė – skylė, kurios ašis sutampa su sukimosi kūno formos detalės ašimi.

Ašinis įrankis – ašmeninis įrankis, kurio pagrindinis pjojimo judesys yra sukamasis (aplink savo ašies), o pastūmos judesio kryptis sutampa su pagrindinio pjojimo judesio ašimi. Prie ašinių įrankių priskiriami visų tipų grąžtai, gilintuvai, plėstuvai, sriegikliai, ištekinimo galvutės, taip pat gali būti priskiriamos pirštinės frezos kai kuriose operacijose, nors dažniausiai jų pastūmos judesio kryptis nesutampa su įrankio ašimi.

Atitraukimo judesys – CNC staklių įrankio judesys nuo apdirbto paviršiaus, programuojamas po įrankio pastūmos judesio (-ių). Atitraukimo judesys reikalingas tam, kad įrankis, nekabindamas detalės, galėtų pagreitintai grįžti į keitimo poziciją arba judėti į pradinį tašką kitai eigai atlikti. Šis judesys taip pat naudojamas spindulio kompensacijai atšaukti, jo metu dažnai nutraukimas TAS tiekimas ir pan.

Atitraukimo pozicija – įrankio atraminio taško pozicija detalės koordinačių sistemoje Z ašies atžvilgiu, naudojama gręžimo, ištekinimo, taip pat frezavimo vidiniuose cikluose. Į atitraukimo poziciją įrankis pagreitintai nukreipiamas prieš atliekant vidinio ciklo pastūmos eigą arba eigas, taip pat grįžta atlikęs vidinį ciklą arba jo atskiras eigas.

Atraminis taškas – įrankio arba staklių darbo junginio taškas, kurio koordinatės detalės arba staklių koordinačių sistemoje valdomos programa arba rankinio ašų perstūmimo režimu. Kaip tekinimo peilio atraminis taškas laikoma jo viršūnė, frezos – ašies ir galinės pjojimo briaunos susikirtimo taškas, spiralinio grąžto – skersės ir ašies susikirtimo taškas. Frezavimo staklių arba apdirbimo centro suklio galvutės

atraminis taškas yra suklio galo ir ašies susikirtimo taškas, tekinimo staklių revolverinės galvutės atraminis taškas – galinės plokštumos ir ašies susikirtimo taškas.

Aukštimitis – matavimo įrankis detalės aukščiui matuoti.

Automatinis įrankių keitiklis – CNC frezavimo staklių arba apdirbimo centrų, taip pat tekinimo centrų su atskira frezavimo galvute įrenginys (manipulatorius), esantis tarp įrankių dėtuves ir suklio galvutės ir keičiantis pagal programą įrankius suklyje įrankiais, esančiais dėtuveje.

Avarinio sustabdymo mygtukas – didelis raudonos spalvos spaudžiamas mygtukas (*Emergency Stop*) programinio valdymo įrenginio operatoriaus pulte. Naudojamas CNC staklių valdymo programos avariniam nutraukimui. Sustabdo įrankio poslinkius pagal visas valdomas ašis, suklius, TAS siurblių ir t. t. Tolesnis darbas su staklėmis po paspaudimo galimas tik ištraukus mygtuką į pradinį padėtį ir numetus sugeneruotą valdymo sistemos aliarmą mygtuku *Reset*.

Bazavimas – pastovios padėties suteikimas ruošiniui staklių koordinacių sistemos atžvilgiu.

CAD (*Computer Aided Design*) – kompiuterio ir specialios programinės įrangos naudojimas projektuoti ir konstrukcinei dokumentacijai rengti.

CAM (*Computer Aided Manufacturing*) – kompiuterio ir specialios programinės įrangos naudojimas gamybai planuoti ir valdyti, siekiant užtikrinti sklandų ir efektyvų įmonės užsakymų vykdymą. Paprastai laikoma, kad CAM apsiriboja tik CNC įrengimų valdymo programų paruošimu naudojant kompiuterį ir tam skirtą programinę įrangą. Nors tai labai siauras apibrėžimas, būtent jo laikėsi autoriai šioje knygoje. Ruošiant valdymo programas CAM programinė įranga paprastai naudojami CAD terpėje sukurti trijų matmenų (3D) modeliai.

Centravimo grąžtas – asmeninis ašinis pjovimo įrankis centro skylėms sudaryti velenų galiniuose paviršiuose. Darbo dalis yra centro skylės formos, t. y. turi cilindrinis ir kūginius elementus.

Centrinio pjovimo pirštinė freza – pirštinė freza, kurios galinės pjovimo briaunos pasiekia frezos ašį. Tokiai frezai pastūmos judesys į metalą gali būti suteiktas ir vien tik staklių Z ašies kryptimi, t. y. freza gali gręžti kaip, pvz., spiralinis grąžtas.

Centro ieškiklis – gręžimo ir frezavimo staklių įtaisas, skirtas cilindrinų ar kūginių ruošinių padėčiai ant staklių stalo nustatyti suklio ašies atžvilgiu (suklio ir ruošinio ašims sutaptinti). Naudojamas derinant stakles apdirbimui, nustatant minėtų tipų detalių koordinacių sistemos pradžios kompensacijas.

Ciklo laikas – laikas, sunaudojamas CNC staklėmis duotajai programai atlikti nuo pirmos iki paskutinės eilutės. Į ciklo laiką įeina pastūmos ir pagalbiniams įrankio judesiams sunaudojamas laikas, taip pat laikas, skirtas kitų staklių įrenginių (pvz., įrankių keitiklio, palečių keitimo įrenginio, strypo tiekimo įrenginio) darbui. Ciklo laikas yra vienetinis CNC staklėmis atliekamos operacijos laikas, be laiko, skirto ruošiniui pastatyti, tvirtinti ir nuimti, taip pat be darbo vietos priežiūrai ir poilsiui skirto laiko.

CNC horizontaliosios frezavimo staklės (CNC horizontalusis apdirbimo centras) – tai metalo pjovimo staklės, kurių suklio ašis yra horizontali ir lygiagreti su stalo plokštuma, turinčios CNC programinio valdymo įrenginį ir galinčios, naudojant kaip pagrindinį įrankį galinę frezą, vienu metu vykdyti pjovimo pastūmos judesius mažiausiai dvių valdomų (koordinacinių) ašių (X ir Y) kryptimis. Staklių tipai ir konstrukcijos plačiau apžvelgtos I vadovėlio dalyje.

CNC staklių derinimas – CNC staklių ir detalės koordinacinių sistemų surišimas prieš paleidžiant programą, t. y. įvairių kompensacijų nustatymas, įvedimas, koregavimas. Derinant tikrinama programa vaizdinės patikros režimu, taip pat apdirbama bandomoji detalė.

CNC staklių operatorius – specialiai apmokytas žemesnės kvalifikacijos darbininkas, prižiūrintis programinio valdymo staklių (vienų arba kelių) darbą, t. y. keičiantis apdirbtas detales ruošiniais, taip pat atšipusius įrankius jau suderintais naujais, paleidžiantis programuotojų parengtas programas. Toks apibrėžimas yra klasikinis ir tinka daugiau XX a. antrajai pusei, šiuo metu tokių operatorių yra tik stambiose įmonėse, kur yra įrankių derinimo laboratorijos, dideli technologų skyriai. Paprastėjant CNC staklių derinimui ir programų rengimui, didėjant CNC valdymo sistemų patikimumui, taip pat gamybos lankstumui plėtėjo CNC staklių taikymo sritis, taip pat didėjo ir reikalavimai operatoriams. Todėl šiuolaikinis CNC staklių operatorius turi gebėti suderinti stakles darbui pagal valdymo programą, o dažniausiai ir parengti nesudėtingų detalių apdirbimo programas prie staklių valdymo pulto.

CNC staklių programinio valdymo įrenginys – specifinis kompiuteris, kuriame programa valdo CNC staklių įrankių ir darbo junginių judesius, taip pat įvairias staklių funkcijas ir kitų staklių įrenginių darbą. Atlieka sąsajos tarp operatoriaus ir staklių vaidmenį. Plačiau programinio valdymo įrenginių funkcijos apžvelgtos I vadovėlio dalyje.

CNC staklių programuotojas – asmuo, rengiantis programas CNC staklėms. Programuotojas gali būti kartu ir operatoriumi arba ne. Taip programuotoju gali būti asmeniniu kompiuteriu dirbantis inžinierius technologas, naudojantis CAM programinę įrangą arba rengiantis programas teksto redaktoriais (pvz., *Notepad*).

CNC staklių rankinio ašių valdymo (perstūmimo) režimas – režimas, kurį įjungus galima tam skirtais valdymo pulto mygtukais stumdyti staklių darbo junginius (stalą, suklio galvutę, revolverinę galvutę ir pan.) iš anksto nustatytu žingsniu išilgai valdomų (koordinacinių) ašių. Naudojamas derinant stakles.

CNC staklių valdymo sistema – CNC staklių mechatroninė sistema, kuri užtikrina įrankių ir staklių darbo junginių bei įrankių judesius, jų tikslumą, eiliškumą, sinchroniškumą, taip pat sklandų kitų staklių įrenginių darbą. Susideda iš valdymo kompiuterio (CNC programinio valdymo įrenginys), servovariklių ir pavarų, atbulinio ryšio keitiklių, diagnostikos sistemos ir t. t. Plačiau ji ir jos darbas apžvelgti I vadovėlio dalyje.

- CNC staklių valdymo sistemos nustatymai** – reikšmės, kurios valdo CNC valdymo sistemos darbą ir kurie gali būti keičiami operatoriumi. Nustatymai saugomi CNC programinio valdymo įrenginio atmintyje ir pateikiami specialiaame puslapyje CNC programinio valdymo įrenginio vaizduoklyje. Pavyzdžiui, nustatymai yra vartotojo sąsajos kalba, vienetų sistema (metrinė ar colinė) ir pan.
- CNC staklių valdymo sistemos parametrai** – reikšmės, kurios valdo CNC valdymo sistemos darbą ir sąsają su kitais periferiniais staklių įrenginiais (pvz., strypo tiekimo įrenginiu ir pan.). Nuo nustatymų skiriasi tuo, kad pateikiami atskirame puslapyje ir nerekomenduojami keisti operatoriais, tik gamintoju arba gamintojo specialiai apmokytais priežiūros specialistais.
- CNC staklių valdoma (koordinacinių) ašis** – staklių (arba detalės) koordinacinių sistemos ašis, išilgai kurios galima gauti įrankio (arba ruošinio) pastūmos judesį. Būna linijinės ir sukimosi (aplink linijines).
- CNC tekinimo staklės** – tai metalo pjovimo staklės, turinčios CNC programinio valdymo įrenginį ir galinčios, kaip pagrindinį įrankį naudojant tekinimo peilį, vienu metu vykdyti jo pjovimo pastūmos judesius mažiausiai dviejų valdomų (koordinacinių) ašių (X ir Z) kryptimis. Daugiau valdomų ašių turinčios staklės gamintojų paprastai vadinamos tekinimo centrais. Staklių tipai ir konstrukcijos plačiau apžvelgtos I vadovėlio dalyje.
- CNC vertikaliosios frezavimo staklės (CNC vertikalusis apdirbimo centras)** – tai metalo pjovimo staklės, kurių suklio ašis yra vertikali ir statmena stalo plokštumai, turinčios CNC programinio valdymo įrenginį ir galinčios, kaip pagrindinį įrankį naudojant galinę frezą, vienu metu vykdyti pjovimo pastūmos judesius mažiausiai dviejų valdomų (koordinacinių) ašių (X ir Y) kryptimis. Staklių tipai ir konstrukcijos plačiau apžvelgtos I vadovėlio dalyje.
- Darbo pozicija** – revolverinės tekinimo staklių galvutės kampinė pozicija, į kurią jai reikia pasisukti, kad programoje pasirinktas įrankis galėtų apdirbti ruošinį judėdamas X ir Z ašių kryptimis.
- Darbo zona** – staklių erdvė, kuri gali būti pasiekama įrankiu ir kurioje turi būti ruošinys arba nebent apdirbamas jo elementas.
- Daugiapradis sriegis** – sriegis, kuris sudarytas ne vienos, o kelių (dviejų ir daugiau) vienodų plokščiųjų figūrų judesiais sraigatine linija aplink cilindrinę arba kūginę paviršių.
- Dešininis sriegis** – sriegis, kurio vijos kyla pagal laikrodžio rodyklę nuo galo.
- Detalių keitimo manipulatorius** – CNC tekinimo staklių arba tekinimo centro įrenginys, skirtas detalėms keisti griebtuve, taip pat gali būti naudojamas joms apversti, kad apdirbti iš kito galo.
- Dėtuvė** – CNC frezavimo staklių, apdirbimo centro arba tekinimo centro su frezavimo galvute pasukamas įrenginys (dažniausiai būgno tipo), kurio sunumeruotuose lizduose laikomi programoje naudojami laikikliai su įrankiais. Įrankiai patenka iš

dėtuvės į suklį ir atgal valdymo programos komandomis dažniausiai automatiniu įrankio keitikliu. Dėtuvių tipai ir konstrukcijos apžvelgti I vadovėlio dalyje.

Didelio slėgio TAS siurblys – programa valdomas siurblys, skirtas TAS didelio slėgio srovės pavidalu tiekti į pjovimo zoną. Didelio slėgio TAS tiekiamas per suklį (frezavimo staklės ir apdirbimo centrai), įrankio suklį (tekinimo staklės ir centrai) arba per tūtą iš šono (tekinimo staklės ir centrai), panašiai kaip ir aušinant laistant (mažo slėgio srove). Skirtingai nuo tradicinio aušinimo laistant, kur siurblio sukuriama slėgis sudaro apie 0,2 MPa, didelio slėgio TAS siurblio sukuriama slėgis būna nuo 2 iki 7 MPa.

Drožlė – pjovimo proceso metu atskiriama nuo ruošinio metalo dalis.

Drožlių konvejeris – CNC staklių programa ir valdymo pulto mygtukais valdomas konvejeris (dažniausiai sraigtinis arba juostinis) drožlėms pašalinti už staklių ribų. Konvejeris užbaigiamas atvamzdžiu, po kurio statomas specialus konteineris drožlėms arba kitas (cecho) konvejeris, kuriuo drožlės transportuojamos toliau, pvz., į cecho arba įmonės drožlių kaupyklą.

Eilučių praleidimo režimas – CNC valdymo įrenginio režimas, kurį įjungus programos eilutės, prasidedančios „/“ ženklu, nevykdomos ir praleidžiamos. Režimas įjungiamas ir išjungiamas staklių valdymo pulto mygtukais *Block Delete*, *Block Skip* arba pan.

Failas – bitų seka, saugoma kompiuteryje kaip vienas vienetas. Kiekviena valdymo programa saugoma CNC programinio valdymo įrenginyje kaip atskiras failas.

Frezavimas pagal pastumą – frezavimas pirštinėmis frezomis, kai pagrindinio pjovimo judesio (pjovimo greičio) vektoriaus ir pastūmos judesio vektoriaus kryptys sutampa.

Frezavimas prieš pastumą – frezavimas pirštinėmis frezomis, kai pagrindinio pjovimo judesio (pjovimo greičio) vektoriaus ir pastūmos judesio vektoriaus kryptys yra priešingos.

G&M kodų kalba – pagrindinė kalba sukurta EIA ir ISO organizacijomis CNC staklių valdymo programoms rengti. Loginė programų sudarymo seka ir pagrindinė šios kalbos komandų dalis yra bendra visų tipų ir gamintojų valdymo sistemoms, tačiau kai kurios komandos gali skirtis.

Gilintuvas – cilindrinis arba kūginis ašinis įrankis su spiraliniais drožlių grioveliais, skirtas gauti cilindrinėms ir kūginėms ertmėms, varžtų ir sraigtų galvutėms paslėpti. Plačiau gilintuvų tipai apžvelgti I vadovėlio dalyje.

Glotnasis apdirbimas – apdirbimas, kai pjovimo įrankis pjauna mažu pjovimo gyliu ir pastūma užtikrinant mažiausią šiuo apdirbimo būdu pasiekiamą apdirbto paviršiaus šiurkštumą, tuo pačiu metu laiduojant apdirbimo našumą.

Greitojo pozicionavimo judesys – CNC staklių įrankio (arba ruošinio) judesys iš pradinio taško į galinį, atliktas greitojo pozicionavimo greičiu. Tokie judesiai yra ne pjovimo, o tik pagalbiniai (pvz., priartinti įrankį prie ruošinio po keitimo, ati-

traukti įrankį nuo paviršiaus, grąžinti į pradinį tašką kitai eigai atlikti), todėl gamintojai stengiasi didinti jų greičius, kiekvienas naujesnis staklių modelis paprastai turi didesnius greitojo pozicionavimo greičius, lyginant su ankstesniais. Greitojo pozicionavimo režimas programoje nurodomas kodu G00.

Grežimas ir kapojimas – skylės gręžimo operacija, kurioje grąžto pastūmos judesys nutraukiamas grąžto galui nepasiekus skylės dugno, po to vėl tęsiamas nurodytu atstumu. Tokie judesiai kartojami tol, kol bus išgręžta skylė visu gyliu. Grąžtas tarp atskirų pastūmos eigų gali būti ištraukiamas iš skylės arba ne, nuo to priklauso ciklo laikas. Pirmasis atvejis naudojamas drožlei laužyti, o antrasis dar ir grąžtui aušinti.

Griebtuvas – tekinimo staklių (rečiau frezavimo) ruošinių tvirtinimo įtaisas, kuris turi centro link ir atvirksčiai judančius kumštelius ruošiniui bazuoti ir tvirtinti. Dažniausiai naudojami trijų kumštelių griebtuvai cilindriniams ruošiniams ir vamzdžiams tvirtinti. Griebtuvų tipai plačiau apžvelgti I vadovėlio dalyje.

Iškyša – detalės elementas (iškilimas virš paviršiaus), frezuojamas iš išorės šoninėmis pirštine frezos pjovimo briaunomis.

Ištekinimo galvutė – vienpeilis arba dvipeilis ašinis įrankis (strypas su pritvirtintu prie jo peiliu (-iais), kurių viršūnių padėtį spindulio kryptimi galima tiksliai reguliuoti), naudojamas frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose skylėms ištekinti, t. y. iš anksto paruoštos (išgręžtos, išlietos ir pan.) skylės skersmeniui, matmens ir formos tikslumui padidinti, taip pat paviršiaus šiurkštumui sumažinti. Plačiau ištekinimo galvučių tipai apžvelgti I vadovėlio dalyje.

Ištisinė drožlė – drožlė, atrodanti kaip ištisinė juosta, vizualiai joje negalima pastebėti jokių struktūrinių elementų.

Išvaikščiojimas – apdirbimas (tekinimas, šlifavimas, frezavimas) su nuliniu pjovimo gyliu, kai įrankis pakartotinai pastūmos greičiu juda tais pačiais, prieš tai atliktoje pakopoje sudaryto profilio arba kontūro taškais. Išvaikščiojimo metu nuimamas metalo sluoksniš, likęs tampriai deformuojantis ankstesnėje pakopoje technologinės staklių, įrankio, įtaiso ir detalės (SIID) sistemos elementams, gerinamas matmenų tikslumas, mažinamas apdirbto paviršiaus šiurkštumas.

Įprastinės (rankinio valdymo) staklės – metalo pjovimo staklės, neturinčios CNC valdymo sistemos, kuriose rankenėlėmis ir svirtimis įrankio judesius valdo operatorius.

Įrankio viršūnė – įrankio pagrindinės ir pagalbinės pjovimo briaunų susikirtimo taškas. Tekinimo peiliams (išorinio tekinimo, ištekinimo, griovelių ir t. t.) viršūnė yra ir atraminis įrankio taškas, kitiems įrankiams – ne.

Įrankių derinimo įtaisas – CNC staklių (dažniausiai tekinimo, rečiau frezavimo) įtaisas (automatiškai arba rankomis atlenkiama svirtis su matavimo liestuku), skirtas įrankių ilgių (geometrijos), taip pat dilimo kompensacijoms nustatyti. Kompensacijos įrašomos į kompensacijų lentelę dažniausiai automatiškai, įrankiu prisilietus prie liestuko.

Įrankių iškyšos ilgis – atstumas tarp frezavimo staklių ar apdirbimo centro suklio galvutės atraminės linijos iki įrankio atraminio taško.

Įrankių keitimas – pagalbinių pakopa, kurios metu CNC frezavimo staklių arba apdirbimo centro suklyje esantis įrankis keičiamas kitu iš dėtuvės arba pasisuka CNC tekinimo staklių revolverinė galvutė ir kitas peilis arba kitoks įrankis atsiranda darbo pozicijoje.

Įrankių keitimo pozicija – CNC frezavimo staklių arba apdirbimo centro suklio galvutės pozicija arba CNC tekinimo staklių revolverinės galvutės pozicija (X ir Z ašių atžvilgiu), pasirinkta įrankiui keisti. Frezavimo staklėse arba apdirbimo centre tai nuo operatoriaus nepriklausanti pozicija, kurioje suklio galvutė yra staklių nulyje pagal Z ašį (pagal Y ašį horizontaliųjų frezavimo staklių), galvutė vyksta ten dažniausiai automatiškai, kai vykdoma keitimo komanda (M06). Tekinimo staklių programuotojas gali pasirinkti kitą saugią poziciją arčiau detalės, kad tik neužkabintų detalės įrankiais revolverinės galvutės pasukimo metu.

Įrankių laikiklis – CNC frezavimo staklių ir apdirbimo centrų, taip pat CNC tekinimo staklių ir centrų įtaisas, skirtas įrankiams tvirtinti. Turi standartinę tvirtinimo dalį, kuria bazuojamas ir tvirtinamas frezavimo staklių ir apdirbimo centrų suklyje arba tekinimo staklių revolverinėje galvutėje, o kita dalis, kurioje tvirtinamas įrankis, yra nevienoda ir priklauso nuo naudojamo įrankio koto konstrukcijos. Joje įrankiams tvirtinti gali būti naudojami spyruokliuojančiosios įvorės, trijų kumštelinių griebtuvai, varžtai ir t. t. Plačiau įrankių laikikliai apžvelgti I vadovėlio dalyje.

Įrankių pavara (*Live Tooling*) – CNC tekinimo staklių arba tekinimo centro pavara, esanti revolverinėje galvutėje arba už jos ir skirta įtvirtintiems laikikliuose revolverinėje galvutėje ašiniams įrankiams (grąžtams, frezoms, sriegikliams ir pan.) sukti. Dažniausiai tai servovariklis, tiesiogiai perduodantis sukimosi judesį įrankio sukliui, esančiam laikiklyje. Naudojama skylėms, kurių ašys nesutampa su ruošinio ašimi apdirbti, galiniam ir išoriniam cilindriniam ruošinių paviršiams frezuoti. Išsamiai operacijos atliekamos staklėmis su įrankių pavara apžvelgtos I vadovėlio dalyje.

Įsipjovimo judesys – įrankio judesys reikiamam pjovimo gyliui pasiekti, po jo atliekamos įrankio darbinė (-s) eiga (-os) apdirbant ruošinį. Įsipjovimo judesio metu dažnai pritaikoma įrankio spindulio kompensacija, įjungiamas TAS siurblys.

Įšildymo programa – gamintojo sudaryta CNC staklių valdymo programa, kurioje užprogramuotas nuoseklus suklio sūkių kilimas, išlaikant pauzes po atskirų kilimų. Tokia programa paleidžiama prieš pamainą arba kelioms dienoms staklėmis nedirbus, kad tepalo ir staklių trinties junginių temperatūra nuosekliai pasiektų darbinę.

Įvesties buferis – atminties sritis, kurioje laikinai kaupiama iš išorinių įrenginių gauta informacija prieš apdorojant ją toliau.

Kairinis sriegis – sriegis, kurio vijos kyla prieš laikrodžio rodyklę nuo galo.

Kaltinys – ruošinys, kurio forma yra artima galutinei detalės formai, gaunamas kalant, vienu iš apdirbimo spaudimu metodų.

- Kietlydinys (tradicinis)** – labai kieta (80–92 HRA) ir atspari kaitrai (nepraranda pjovimo savybių iki 1000–1200 °C) įrankių medžiaga, gauta miltelinės metalurgijos metodais, sukepant aukštoje temperatūroje ir slėgyje volframo karbido miltelius su metaline rišamąja medžiaga (kobaltu). Kartu su volframo karbidu gali būti naudojami ir kitų metalų (titano, tantalio) karbidų milteliai.
- Kišenė** – detalės elementas (išėma žemiau paviršiaus) iš visų (uždara kišenė) arba ne (atvira kišenė) pusių apribotas kontūriniu linija, iš kurio medžiaga apdirbant (frezuojant pirštinėmis frezomis) pašalinama iš vidaus.
- Klaviatūra** – CNC programinio valdymo įrenginio dalis duomenims įvesti. Joje abėcėlės (taip pat būna ir *QWERTY* tipo) tvarka išdėstytos lotyniškosios abėcėlės raidės, skaičiai nuo 0 iki 9, taip pat įvedimo (*Enter*), tarpo (*Space*), trynimo (*Cancel*), eilutės pabaigos (*EOB*) mygtukai. Klaviatūra rašomos programos, įvedami skaičiai į kompensacijų lentelę ir pan.
- Komentaras** – CNC staklių programos dalis, kuri pateikiama lenktiniuose skliaustuose ir CNC programinio valdymo įrenginiu nevykdoma. Komentarai sudaro programuotojui arba operatoriui naudingą informaciją.
- Kompensacijų lentelė** – speciali lentelė (-s), kurioje (-se) įrašomos ir saugomos detalės, įrankių geometrijos, ilgių, spindulio ir dilimo kompensacijos. Išskviečiama į vaizduoklį valdymo pulto mygtukais.
- Konstruktinė bazė** – bazė, nustatanti detalės padėtį junginyje arba gaminyje. Pasirenkama konstruktoriumi.
- Kontūras** – linija, apibrėžianti formą.
- Kreipiamoji** – siauras staklių stovo glotniai apdirbtas paviršius, kuriuo juda judami staklių junginiai (pvz.: suportas, vežėčios, arklukas ir t. t.). Pagal trinties pobūdį būna slydimo ir riedėjimo.
- Laisvosios kreipties atmintis** – viena iš kompiuterio atminties rūšių, informacija kurioje prarandama nutraukus maitinimą. Ši atminties rūšis leidžia kreiptis į bet kurią jos ląstelę informacijai įrašyti arba nuskaityti per fiksuotą laiko tarpą, nepriklausomai nuo ląstelės padėties.
- Laužtinė drožlė** – drožlė, kuri susideda iš nesurištų tarpusavyje skirtingos formos ir matmenų metalo gabalėlių. Susidaro apdirbant trapias medžiagas.
- Liejiny** – ruošinys, kurio forma yra artima galutinei detalės formai, gaunamas liejant, t. y. užpildant išlydytu metalu liejimo formą.
- Mainų sritis** – tarpinė operacinės sistemos arba programinės įrangos duomenų saugykla, skirta duomenims perduoti tarp atskirų dokumentų arba programų.
- Makrokintamasis** – specialus skaičius, į kurį galima kreiptis makroprogramoje duomenims išsaugoti ir nuskaityti, su makrokintamaisiais taip pat galima atlikti logines ir aritmetines operacijas. Būna lokalieji, globalieji ir sisteminiai.
- Makroprograma** – valdymo programa, kurioje naudojami makrokintamieji.
- Masyvas** – sistemingas vienodų detalės apdirbamų elementų (pvz., skylių, griovelių, kišenių) išdėstymas. Pavyzdys – stačiakampis masyvas, kai elementai išdėstyti stul-

peliais ir eilutėmis, taip pat apskritiminius masyvas, kai elementai išdėstyti tam tikro spindulio apskritimu.

Matavimo blokelis – plieninis gretasienio formos galinis ilgio matas, kurio dvi viena prieš kitą esančios plokštumos yra labai glotniai apdirbtos, o atstumas tarp plokštumų yra žinomas ir tiksliai išlaikytas. Naudojami įrankiams ir matavimo prietaisams kalibruoti, kalibrams tikrinti ir staklėms derinti.

MDI (*Manual Data Input*) režimas – CNC staklių valdymo programų arba jų fragmentų rengimo valdymo pulto klaviatūra režimas, kai parašyta programa (nors ir išlieka CNC programinio valdymo įrenginio atmintyje staklėms išjungus iš tinklo) neturi numerio (vardo) ir neatvaizduojama programų sąrašė. Parengtą programą arba jos eilutes galima iš karto paleisti vykdyti mygtuku *Cycle Start*. Įjungus MDI režimą galima taisyti paskutinę šiuo režimu parengtą programą arba ištrinti ją ir rašyti naują. MDI režimas įjungiamas valdymo pulto to paties pavadinimo mygtuku ir naudojamas derinant stakles, pvz., norint iškviesti iš dėtuvės įrankį Nr. 10 derinti, galima surinkti ir paleisti vykdyti MDI režimu eilutę T10 M06.

Necentrinio pjovimo pirštinė freza – pirštinė freza, kurios galinės pjovimo briaunos nepasiekia frezos ašies. Tokiai frezai sukantis apie savo ašį ir judant tik Z ašies kryptimi, ties centru liks metalo stulpelis, todėl frezai negalima suteikti pastūmos judesio į metalą vien tik staklių Z ašies kryptimi, įrankis sulūš.

Nulis – taškas, priimtas kaip koordinacių sistemos pradžia. Priklausomai nuo koordinacių sistemos tipo būna staklių nulis, detalės arba programos nulis.

Nuosekloji jungtis – standartinė kompiuterinė jungtis, per kurią duomenys tarp kompiuterio ir išorinių jo įrenginių persiunčiami nuosekliai, po vieną bitą kiekvienu laiko momentu.

Nustatytieji parametrai – iš anksto numatytas gamintojo CNC valdymo sistemos veiksmų atlikimo metodas.

Operatoriaus vadovas – speciali prie CNC staklių pridedama knyga, kurioje pateikiami visi kodai, reikalingi programoms rengti, programų pavyzdžiai, taip pat staklių instaliacijos ir priežiūros reikalavimai.

„Oro“ pjovimas – įrankio judesiai, kurių metu nepjaunama medžiaga. Nepaisant neproduktyvumo, šie judesiai neišvengiami apdirbant (pvz., įrankiui pozicionuoti prie ruošinio po keitimo, perkelti iš vienos vietos į kitą ir pan.), dažniausiai jie vykdomi pagreitintai, greitojo pozicionavimo režimu. Kai kada tokie judesiai vykdomi ir su pastūma, pavyzdžiui, kai tarp įrankio ir ruošinio paliekamas saugumo tarpelis, kad įrankis neatsitrenktų į ruošinį judėdamas pagreitintai. Šių judesių trukmė mažinama visais būdais, gamintojų – didinant naujų staklių modelių greitojo pozicionavimo greitį, programuotojų – pasirenkant įrankių keitimo poziciją arčiau ruošinio, mažinant saugumo tarpelių dydžius ir t. t.

Pagalbinė pakopa – užbaigta technologinės operacijos dalis, kuri reikalinga technologinei pakopai atlikti ir kurios metu nekeičiama ruošinio paviršiaus būklė. Pagal-

binių pakopų pavyzdžiai – ruošinio pastatymas, tvirtinimas, nuėmimas, įrankio keitimas, greitasis pozicionavimas prie ruošinio ir pan.

Pagalbinis laikas – operacijos vienetinio laiko dalis, sunaudojama pagalbinėms operacijos pakopoms atlikti, t. y. pastatyti ir tvirtinti ruošinį, pakeisti įrankį, pozicijuoti jį prie ruošinio, pagreitinant atitraukti nuo ruošinio, nuimti detalę ir pan.

Pagalbinis suklys – programa valdomas papildomas CNC tekinimo staklių ir centrų suklys, kurio griebtuve (trijų kumštelių, spyruokliuojančiosios įvorės ir t. t.) tvirtinamas ruošinys (jau apdirbtas iš vienos pusės pagrindiniame griebtuve) ir kurio galvutė yra dešinėje nuo stovinčio savo darbo vietoje veidu prie staklių operatoriaus (t. y. priešais pagrindinio suklio galvutę, arkliuko vietoje). Pagrindinio ir pagalbinio suklių ašys yra vienoje linijoje. Tam, kad automatiškai perimti ruošinį iš pagrindinio suklio (griebtuvo), pagalbinio suklio galvutė gali judėti savo kreipiamosiomis staklių Z ašies kryptimi, šis judesys taip pat valdomas programiškai. Plačiau tekinimo staklės su pagalbinio sukliu apžvelgtos I vadovėlio dalyje.

Pagreitintos patikros (*Dry Run*) režimas – programos patikros, netvirtinant ruošinio, režimas. Visi programoje užprogramuoti judesiai (pagalbiniai ir pastūmos) atliekami vienodu pasirinktu greičiu, tačiau pjovimas nevyksta.

Pagrindinis (mašininis) laikas – operacijos vienetinio laiko dalis, tiesiogiai skirta ruošinio formos matmenims ir paviršiaus būklei pakeisti. Mechaninio apdirbimo atveju tai laikas, kai įrankis juda su pastūma (pradėdamas įsipjauti į detalę, pjau-damas apdirbamąjį paviršių ir išeidamas iš paviršiaus).

Pagrindinis suklys – programiškai valdomas CNC tekinimo staklių ir centrų suklys, kurio griebtuve (trijų kumštelių, spyruokliuojančiosios įvorės ir t. t.) tvirtinamas ruošinys ir kurio galvutė yra kairėje nuo stovinčio savo darbo vietoje veidu prie staklių operatoriaus. Skirtingai nuo pagalbinio, pagrindinio suklio galvutė yra stovo dalis ir nejuda. Programiškai valdomi tik pagrindinio suklio (griebtuvo) sukimosi kryptis, sukiai ir kampinė padėtis (tekinimo centrai su valdoma C ašimi).

Palečių keitimo įrenginys – CNC frezavimo staklių ir apdirbimo centrų (dažniausiai horizontaliųjų) įrenginys, keičiantis paletes su pritvirtintais prie jų ruošiniais. Keitimo metu paletė su apdirbta detalė įrenginiui padedant palieka staklių darbo zoną, o į jos vietą tuo pačiu įrenginiu dedama paletė su įtvirtintu ruošiniu, kurią operatorius paruošė prie staklių pirmos detalės apdirbimo metu arba dar anksčiau. Plačiau staklės su palečių keitikliais apžvelgtos I vadovėlio dalyje.

Paletė – specialus metalo pjovimo staklių (dažniausiai frezavimo) įtaisas, kuriame tvirtinamas ruošinys ir kuris pakraunamas kartu su ruošiniu į staklių darbo zoną.

Papildomas sustojimas – režimas, kuriame CNC programinio valdymo įrenginys vykdo programos sustabdymo kodą M01, kitaip jis jį praleidžia ir programa vyksta toliau. Režimas įjungiamas ir išjungiamas valdymo pulto mygtuku (*Optional Stop*).

Parinktis – CNC staklių įrenginys arba įtaisas, neįeinantis į bazinę komplektaciją, o siūlomas staklių gamintojo už atskirą kainą. Pvz., drožlių konvejeris, programuojama TAS tūta ir pan.

Pastovaus pjovimo greičio (CSS) funkcija – CNC tekinimo staklių režimas (įjungiamas programoje kodu G96, išjungiamas kodu G97), kurio metu CNC programinio valdymo sistema seka peilio atraminio taško (viršūnės) padėtį ruošinio spindulio kryptimi (t. y. X ašies kryptimi) ir keičia suklio sūkius taip, kad būtų išlaikytas užprogramuotas pjovimo greitis (kai aktyvus kodas G96, po adreso S nurodomas pjovimo greitis, m/min, o ne suklio sūkliai, sūk./min). Naudojamas tekinant galą, kūginius, fasoninius paviršius, taip pat tekinant griovelius išoriniame ir vidiniame ruošinio paviršiuose, atpjaunant ir kitose operacijose ir pakopose, kur apdirbant keičiasi įrankio viršūnės trajektorijos taškų X koordinatės. Plačiau apie tai galima sužinoti I vadovėlio dalyje.

Pastūma – įrankio (tekinant) arba ruošinio (dažniausiai frezuojant) judėjimo greitis, kuriuo po įrankio pjovimo briauna atsiranda nauji neapdirbto paviršiaus ruožai. Matuojama mm/sūk. (tekinant) arba mm/min (frezuojant).

Patvarumas (patvarumo riba) – įrankio darbo su pastūma (pjovimo) laikas (min) iki leistino nudilimo. Pasiekus patvarumo ribą įrankis turi būti pergalandamas arba pakeičiama (pasukama) jo daugiabriaunė plokštelė, jeigu dirbama įrankiais su keičiamomis kietlydinio plokštelėmis.

Pavienių eilučių režimas – CNC staklių valdymo programų vykdymo režimas, kai CNC programinio valdymo įrenginys pradeda vykdyti kitą vykdomos valdymo programos eilutę tik po operatoriaus poveikio (paspaudus mygtuką *Cycle Start*). Naudojamas programoms tikrinti. Įjungiamas ir išjungiamas *Single Block* arba panašaus pavadinimo valdymo pulto mygtuku.

Peilio viršūnės kampas – kampas tarp pagrindinės ir pagalbinės peilio keičiamos plokštelės pjovimo briaunų.

Peilis – pjovimo įrankis stačiakampio, kvadratinio arba apvalaus skerspjuvio strypo pavidalo, naudojamas tekinimo staklėse. Skirtingų tipų peiliai naudojami išoriniam tekinimui, vidiniam tekinimui (ištekinimui), griovelių tekinimui, atpjovimui ir t. t. Plačiau tekinimo staklėse naudojami peiliai apžvelgti I vadovėlio dalyje.

Peilių įtvaras – apie vertikalią ašį pasukamas įtaisas peiliams tvirtinti tekinimo staklėse (dažniausiai įprastinėse). Paprastai būna 4-ių vietų, pasukus įtvarą 90° kampų į darbinę (pjovimo) poziciją nustatomas kitas įrankis.

Pinolė – tekinimo staklių arkliuko tūtos formos detalė, judanti savo ašies kryptimi. Pinolėje tvirtinamas centras, kuriuo paremiami ilgi ir nestandūs ruošiniai tekinant.

Pjaustymo staklės – metalo pjovimo staklės naudojamos ilgiems (kelių metrų ilgio) ruošiniams (strypams) pjaustyti atskirais pavieniais gabalais. Labiausiai paplito pjaustymo staklės, kuriuose kaip įrankis naudojamas begalinis juostinis pjūklas.

Pjovimo gylis – įrankio prasiskverbimo į ruošinį dydis kiekvienos eigos metu. Tai atsumas tarp apdirbto ir apdirbamo paviršių, išmatuotas statmenai apdirbtam paviršiui.

- Pjovimo greitis** – greitis (dažniausiai matuojamas m/min), kuriuo pjovimo paviršius juda įrankio pjovimo briaunos atžvilgiu (tekinant), arba greitis, kuriuo įrankio pjovimo briauna juda pjovimo paviršiaus atžvilgiu (frezuojant). Minėtoms operacijoms pjovimo greitis yra apskritiminis, tačiau būna ir linijinis, pvz., drožiant.
- Pjovimo jėga** – pasipriešinimo jėga, veikianti įrankį jam judant ruošinio paviršiumi (pjaunant medžiagą). Skaičiavimams dažniausiai naudojamos trys jos dedamosios (projekcijos į staklių koordinatines ašis): radialioji, tangentinė ir ašinė.
- Pjovimo zona** – įrankio ir ruošinio kontakto pjovimo proceso metu sritis.
- Plėstuvas** – daugiaašmenis ašinis glotniojo apdirbimo įrankis, skirtas paruoštos (išgręžtos) skylės matmenų ir formos tikslumui padidinti, paviršiaus šiurkštumui sumažinti. Plačiau žr. I vadovėlio dalyje.
- Pradinė ciklo pozicija** – CNC frezavimo staklių arba apdirbimo centro, taip pat tekinimo staklių įrankio atraminio taško pozicija detalės koordinacių sistemoje, į kurią įrankis nukreipiamas (dažniausiai pagreitinant) paskutinėje eilutėje prieš vidinio ciklo eilutę. Nuo pradinės pozicijos prasideda įrankio eigos vykdant vidinį ciklą. Į pradinę poziciją dažnai grąžinamas įrankis, atlikęs vidinį ciklą arba tarp ciklo eigų.
- Praleidimo funkcija** – režimas, kuris užtikrina vietoje įrankio suklyje arba revolverinėje galvutėje įtvirtinto matavimo liestuko judesį pagal pasirinktas staklių ašis tol, kol bus gautas signalas iš matavimo liestuko (įvykus liestuko kontaktui su kliūtimi), toliau programa vykdoma toliau. Naudojamas CNC staklėse kompensacijoms automatiškai nustatyti, taip pat atliekant matavimus CNC staklėmis.
- Prispaudiklis** – detalė, skirta nedidelio aukščio ruošiniui (arba lakštui) prispausti prie frezavimo staklių ar apdirbimo centro stalo. Dažniausiai tam tikslui naudojami keli prispaudikliai. Plačiau žr. I vadovėlio dalyje.
- Programuojamas aliarmas** – CNC staklių programuotojo (bet ne pačios staklių valdymo sistemos) suplanuotas programos sustabdymas pasirinktoje programos vietoje, kartu gali būti atvaizduojamas vaizduoklyje programuotojo sukurtas pranešimas.
- Pusiau glotnus apdirbimas** – apdirbimas tarpiniais pjovimo režimais, dažniausiai atliekamas prieš apdirbant glotniai.
- Radialinė skylė** – skylė cilindrinės detalės šoniniame paviršiuje, kurios ašis susikerta su detalės ašimi ir sudaro su ją statų kampą.
- Relė** – elektra valdomas jungiklis.
- Revolverinė galvutė** – staklių (dažniausiai tekinimo) apie horizontaliąją ašį (dažniausiai) pasukama disko arba būgno formos detalė, kurioje tvirtinami įrankiai. Pasukant galvutę kampu $360^\circ/n$ (n – lizdų skaičius, paprastai 10 arba 12) į darbinę (pjovimo) poziciją nustatomas kitas įrankis.
- Rupusis apdirbimas** – apdirbimas, kai pjovimo įrankis dirba didžiausiais leistinais pjovimo režimais (pjovimo gyliu ir pastūma), siekiant užtikrinti didžiausią apdirbimo našumą, tuo pačiu metu laiduojama apdirbto paviršiaus kokybė.

Servovariklis – pastoviosios arba kintamosios srovės (šiuo metu labiausiai paplitę) variklis su atgalinio ryšio sistema, naudojama rotoriaus padėčiai siekti ir koreguoti. Plačiau CNC staklių servopavaros apžvelgtos I vadovėlio dalyje.

Skaičiuotuvai – mažų matmenų elektroninis įrenginys, skirtas aritmetinėms operacijoms su skaičiais atlikti, taip pat speciali CNC staklių valdymo įrenginio kompiuterinė programa, emuliuojanti skaičiuotuvo funkcijas.

Sriegiklis – ašinis metalo pjovimo įrankis, naudojamas cilindriniam arba kūginiam vidiniam sriegiui sriegti prieš tai išgręžtose skylėse. Plačiau sriegikliai apžvelgti I vadovėlio dalyje.

Sriegio profilio kampas – kampas tarp sriegio profilio sudaromųjų, išmatuotas ašinio pjūvio plokštumoje.

Sriegio žingsnis – atstumas tarp gretimų to paties posvyrio krypties sriegio profilio briaunų, išmatuotas lygiagrečiai su sriegio ašimi.

Stalas – metalo pjovimo staklių (paprastai frezavimo, taip pat plokščiojo šlifavimo) nejudama arba judama (priklausomai nuo staklių tipo ir konstrukcijos) detalė, prie kurios viršutinės glotniai apdirbtos plokštumos tvirtinamas įtaisas ruošiniui tvirtinti arba pats ruošinys. Dažniausiai turi T formos griovelius įtaisams ir ruošiniams tvirtinti.

Stryo tiekimo įrenginys – CNC tekimo staklių ir centrų įrenginys (dažniausiai užsakomas atskirai nuo staklių ir prijungiamas prie staklių valdymo sistemos) naudojamas apskritojo skerspjūvio strypams periodiškai stumti per pagrindinio suklio skylę tokiu būdu užtikrinant nenutrūkstamą staklių darbą pagal begalinę programą. Plačiau strypo tiekimo įrenginių konstrukcijos ir veikimo principas aprašyti I vadovėlio dalyje.

Suklio galvutė – judama arba nejudama (priklausomai nuo staklių tipo ir konstrukcijos) staklių korpusinė detalė, kurioje montuojamas suklys ir jo atramos. Pagal suklio padėtį būna horizontaliosios, vertikaliosios ir pasukamos.

Suklio stabdys – programa valdomas (užspaudžiamas ir atleidžiamas) hidraulinis stabdys, naudojamas pagrindiniam ir pagalbiniam sukliui apsaugoti nuo prasukimo dėl pjovimo jėgos CNC tekimo staklėse ir centruose su įrankių pavara ir valdoma C ašimi. Naudojamas gręžimo ir frezavimo operacijose, kuriose naudojama įrankių pavara, o detalė neturi sukty (pvz., gręžiant skylės, kurių ašis nesutampa su detalės ašimi arba frezuojant velenuose pleištiniais grioveliais).

Suklys – staklių velenas, perduodantis sukimosi judesį įrankiui (frezavimo staklės) arba ruošiniui (tekimo staklės).

Suportas – tekimo staklių pagrindinis darbo junginys, skirtas revolverinei galvutei arba peilių įtvarui laikyti ir įrankių judesiams staklių linijinių valdomų ašių kryptimis užtikrinti.

TAS (tepimo ir aušinimo skystis) – skystis, tiekiamas į pjovimo zoną pjovimo proceso metu. Atlieka tris pagrindines funkcijas: mažina trintį tarp įrankio ir ruošinio,

sugeria šilumą, kuri išsiskiria pjaunant ir nuplauna drožlę iš pjovimo zonos. Kaip TAS dažniausiai naudojamos mineralinių alyvų su paviršiaus aktyviosiomis medžiagomis ir kitais priedais vandens emulsijos.

TAS „dušas“ – mažo slėgio TAS tiekimo sistema, skirta TAS tiekti iš staklių darbo zonos viršaus per kelis antgalius arba vieną platų antgalį su skylutėmis. Naudojama dažniausiai CNC frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose drožlėms nuo ruošinio, stalo, sienelių ir kitų staklių darbo dalių nuplauti ir nukreipti į drožlių konvejerį.

TAS siurblys – mažo slėgio (apie 0,2 MPa) programa valdomas siurblys, skirtas TAS tradiciniu metodu (mažo slėgio srove arba laistymu) tiekti į CNC staklių pjovimo zoną. TAS tiekiamas per tūtą iš įrankio šono.

TAS taupymo režimas – režimas („HAAS“ firmos frezavimo staklės ir apdirbimo centrai), kai TAS tiekiamas į pjovimo zoną ne visą laiką, o tik nurodyto dydžio laiko intervalais ir tam tikrose programos vietose (pvz., vykdant vidinį ciklą, kai įrankis yra atitraukimo pozicijoje arba ten, kur programoje nurodytas atitinkamas kodas).

Technologinė operacija – užbaigta technologijos proceso dalis, atliekama vienoje darbo vietoje.

Technologinė pakopa – užbaigta technologinės operacijos dalis, atliekama tomis pačiomis staklėmis, tomis pačiomis technologinėmis priemonėmis nekeičiant technologinių režimų.

Tiesinės interpoliacijos judesys – CNC staklių įrankio pjovimo (pastūmos) judesys, kurio metu įrankio atraminis taškas juda iš pradinio judesio taško į galinį trumpiausiu keliu, t. y. pagal tiesę, jungiančią šiuos taškus. Programoje tiesinės interpoliacijos režimas nurodomas kodu G01.

Tiksliojo sustabdymo pagal ašis režimas – režimas, kurį įjungus programos kodais įrankio pastūmos judesio greitis (pastūma) bus mažinamas įrankiui artėjant prie kiekvieno judesio galinio taško siekiant tikslesnio pozicionavimo.

Tolerancija (tolerancijos laukas) – didžiausio ir mažiausio ribinių detalės matmenų skirtumas.

Trajektorija – linija, braižoma atraminiu įrankio tašku įrankiui judant staklių darbo erdvėje arba koordinačių sistemos plokštumoje.

Užlaida – medžiagos, pašalinamos nuo ruošinio apdirbimo proceso metu, storis. Užlaida ne visada lygi pjovimo gyliui, nes medžiagos sluoksnis dėl įvairių priežasčių gali būti pašalinamas ne viena, o keliomis įrankio eigomis (pvz., kai paviršius frezuojamas iš pradžių rupiai, po to glotniai).

Vaizduoklis – tekstinės ir grafinės informacijos atvaizdavimo įrenginys. CNC staklėse vaizduoklis yra programinio valdymo įrenginio dalis.

Valdymo programa – CNC staklių technologinio valdymo komandų rinkinys, sudarytas tam tikrai detalei apdirbti.

Valdymo pultas – CNC programinio valdymo įrenginio skydelis, kuriame išdėstyti staklių valdymo mygtukai, klaviatūra ir vaizduoklis.

Veidrodinio koordinačių atspindėjimo režimas – CNC programinio valdymo sistemos režimas, kai pasirinktą detalės koordinačių sistemos ašių programoje nurodytos koordinatės (X , Y arba Z) dauginamos iš daugiklio -1 . Įrankis juda modifikuota, o ne užprogramuota trajektorija.

Vidiniai ciklai – specialūs G kodai, kurie atlieka ne vieną, o kelis įrankio judesius, tokiu būdu viena eilute užprogramuojama technologinė pakopa arba pakopos, o ne atskira įrankio eiga. Programuotojas valdo šių judesių parametrus (ilgį, gylį, greitį ir pan.) ciklo eilutėje specialiais konkrečiam ciklui būdingais adresais ir jų reikšmėmis.

Žymeklis – vartotojo sąsajos elementas, rodantis duomenų iš klaviatūros įvedimo vietą. Labiausiai paplitęs mirksinčio vertikalaus brūkšnelio pavidalo žymeklis.

Žymėjimo grąžtas – spiralinis grąžtas su trumpa darbo dalimi, naudojamas skylių gręžimo vietai žymėti, t. y. duobutei grąžto šerdžiai sudaryti medžiagoje, kad vėliau gręžiant lengviau pradėtų pjauti didesnio skersmens spiralinio grąžto pjovimo briaunos. Plačiau žymėjimo grąžtai apžvelgti I vadovėlio dalyje.

DALYKINĖ RODYKLĖ

A

A ašis 37, 80, 86, 87, 93, 94, 486, 487
 Absoliučioji koordinatė 25–27, 29
 Absoliučiąjų koordinatė režimas 25, 42, 47, 50, 51, 86, 103, 156, 157, 158
 Adresas 35, 37–39, 42, 56
 Apskritiminė interpoliacija 100–115, 137–139
 Apskritiminės interpoliacijos judesio galinis taškas 101, 104, 105, 108, 109, 111
 Apskritiminės interpoliacijos judesio kryptis 102, 104, 107, 137–139
 Apskritiminės interpoliacijos judesio lanko centro vektorius 105
 Projekcijos į koordinatė ašis 103–106, 108, 113
 Apskritiminės interpoliacijos judesio lanko spindulys 103–106, 108, 109, 113
 Apskritiminės interpoliacijos judesio lanko spindulio programavimas 108, 109, 113
 Apskritiminės interpoliacijos judesio pastūmos korekcija 113, 114
 Apskritiminės interpoliacijos judesio pradinis taškas 103–106, 108, 109, 111
 Arkliukas 69, 84, 85, 307–310, 569
 Hidraulinis 307–310
 Automatinis kampų suapvalinimas 273–275, 331–333
 Automatinis nuožulnų nuėmimas 273–275, 331–335
 Atraminė linija 190, 192
 Atraminis (bazinis) taškas 7, 16–19, 149, 569
 Darbo junginio (darbinės dalies) 17–20, 23
 Įrankio 12, 23, 24, 153–155, 161, 184, 185, 187–192, 205, 208, 234
 Revolverinės galvutės 17, 19, 207
 Stalo 17–19
 Suklio galvutės 17–19, 185, 187, 190
 Automatinis įrankių keitiklis 72, 73, 570
 Automatinis palečių keitiklis 296–298

B

B ašis 13, 15, 37, 80, 86, 87, 151, 157, 178, 297, 309
 Blokas 34, 36

C

CAD 10, 11, 570
 CAM 9–11, 570
 C ašis 37, 56, 71, 80, 86, 87, 323–328
 Centro ieškiklis 172, 570
 CNC frezavimo staklės (apdirbimo centras)
 Horizontaliosios (horizontalusis) 15, 19, 571
 Vertikaliosios (vertikalusis) 15, 17, 302, 572
 CNC frezavimo staklių ir apdirbimo centrų vidiniai ciklai 341–390
 Atitraukimo (*R*) pozicija 342, 344–346, 350, 357–360, 362–366, 368, 369, 377, 380, 381
 Atlikimų skaičius 342, 343, 347–349, 468–470, 475–477
 Bendras ciklo formatas 341–343
 „Fanuc“ firmos valdymo sistemų vidiniai ciklai 342, 350–369
 „HAAS“ firmos valdymo sistemų vidiniai ciklai 369–390
 Pradinė *Z* pozicija 342, 344–346, 350, 357, 360, 363–365, 369, 370, 373, 381, 382, 389
 Z gylis 342–345, 350, 357, 360, 361, 363–366, 369, 370, 372, 373, 377, 380, 381
 CNC staklių kompensacijų lentelė 173, 180, 192, 207, 219, 220, 254
 Detalės 171–173, 176, 180
 Dilimo 218–220, 252–255
 Geometrijos 205, 207, 236, 237
 Ilgų 189, 191–196, 198
 Spindulio 218, 219–221, 232
 CNC staklių (centro) koordinatė sistema 16, 20, 21, 170
 Horizontaliąjų frezavimo (horizontaliojo centro) 13, 15, 19

- Tekinimo 13–15, 19, 20
 Vertikaliųjų frezavimo (vertikaliojo centro) 13, 15–19, 20, 21, 166, 167
 CNC staklių (centro) nulis 17, 18, 19, 149–164
 Horizontaliųjų frezavimo (horizontaliojo centro) 19, 151, 157
 Papildomas 162, 163
 Tekinimo 19, 151, 158, 159
 Vertikaliųjų frezavimo (vertikaliojo centro) 17, 18, 150, 157, 163–165
 CNC staklių pavaras 76, 77
 CNC staklių valdymo sistemos nustatymai 81, 146, 147, 170, 184 199, 218, 276, 284, 293, 305, 309, 326, 371, 372, 445, 446, 451, 528, 572
 CNC staklių valdymo sistemos parametrai 528, 572
 CNC tekinimo staklės (centras) 15, 318, 572
 CNC tekinimo staklių ir centrų vidiniai ciklai 391–461
 Atitraukimo (*R*) pozicija 446, 447, 450–452
 „Fanuc“ firmos valdymo sistemų vidiniai ciklai 391–445
 Galinis ciklo taškas 392, 394, 396, 400–402, 404, 427, 428, 433
 „HAAS“ firmos valdymo sistemų vidiniai ciklai 445–461
 Pradinis ciklo taškas 392–394, 400, 402–405, 408, 411, 412, 415, 418, 419, 421–424, 426–428, 432–434, 436, 437, 439, 440, 446, 447, 449, 450, 454, 456, 459
 Profilio pabaigos taškas 405, 406, 409, 416, 418, 419, 422, 424,
 Profilio pradžios taškas 405, 406, 409, 411, 416, 418, 419, 422, 424,
 I tipo trajektorija 406–408, 415
 II tipo trajektorija 407, 408, 415
- D**
 Darbo (koordinacių) plokštuma 106, 107, 136–141
 Horizontaliųjų frezavimo staklių ir apdirbimo centrų 106, 136, 139
 Tekinimo staklių ir centrų 107, 136, 139
 Vertikaliųjų frezavimo staklių ir apdirbimo centrų 106, 107, 136–139
 Darbo zonos dūrelės 318
 Automatinės 56, 302, 303, 319
 Daugiapradis sriegis 439, 572
 Dekartas, Rene 12
- Dekarto koordinacių sistema 12, 13
 Dešininė 14–16
 Erdvinė 12–14
 Kairinė 14, 15
 Plokščioji 12, 13,
 Dešinioios rankos taisyklė 15, 16
 Detalės (detalės koordinacių sistemos pradžios) kompensacijos 22, 167, 171–175, 178–180, 185
 Detalės (programos) koordinacių sistema 16, 21–23, 27, 166–170, 178, 179, 181, 182
 Pagrindinė 167, 168
 Papildoma 168
 Lokalinė 181–184
 Detalės (programos) nulis (detalės koordinacių sistemos pradžia) 21, 22, 25, 166, 167
 Detalių gaudyklė 318, 319
 Detalių skaitiklis 312, 313
 Dilimo kompensacija 252–255
 Diskinė freza 199
 Drožlių konvejeris 56, 58, 59, 573
 Duomenų įvedimo iš klaviatūros režimas 545
- E**
 EIA 9
 EIA/ISO kodų kalbą 9
 Eilučių numeracija 35, 36
 Eilučių praleidimo režimas 40, 296, 313, 524, 573
 Eilutė 34–36
 Eilutės pabaiga (*EOB*) 34, 40
- F**
 Fasoninių paviršių tekinimas 121–124, 248–252, 404–426
 Frezavimas pagal pastūmą 216, 217, 222, 573
 Frezavimas prieš pastūmą 217, 573
- G**
 Galinio paviršiaus tekinimas 235, 237, 248, 249, 402, 403,
 Galinis frezavimas 185, 186–189, 498
 Galinis judesio taškas (atvykimo taškas) 80, 86–88, 101, 103, 104
 G&M kodų kalba 9–11, 33
 G kodai 9, 33, 34, 42–49, 50–55
 G kodų grupės 53–55
 G kodų modalumas 50–52, 53–55
 Greitasis pozicionavimas 42, 79–86, 573
 Greitojo pozicionavimo greičio ribojimas 81
 Greitojo pozicionavimo greitis 79–81

- Griebtuvas 69, 304–307, 319–322, 574
 Hidraulinis 304–307
 Pagalbinis 306, 319–322
 Pagrindinis 320
 Pneumatinis 304
 3-jų kumštelių 69, 304
- Griebtuvo atidarymas 305, 310, 321
 Griebtuvo uždarymas 305, 310, 321
- Griovelis 13, 14, 96–99, 115, 295, 325, 427, 429–436, 489, 542, 543
 Žiedinis 110, 111, 199, 200, 482, 483
- Griovelių frezavimas 96–98, 115–119, 295, 296, 489, 490, 507, 508, 513, 540, 541
 Tekinimo staklėmis (centrais) 325–327
 Žiedinių 108–112, 199–201, 482, 483
- Griovelių tekinimas
 Galiniame paviršiuje 426–432
 Išoriniame ruošinio sukimosi paviršiuje 98, 99, 432–436, 542, 543
- G00 greitojo pozicionavimo judesys 79–87
 G01 tiesinės interpoliacijos judesys 86–88, 91–93, 100, 101
 G02/G03 apskritiminės interpoliacijos judesys pagal/prieš laikrodžio rodyklę 100–115
 G04 pauzė (uždelsimas) 130–134
 G05 suklio tikslios apskritiminės pastūmos režimas 326, 327
 G10 kompensacijų nustatymas iš programos 256–259
 G12/G13 apvalių kišenių frezavimo pagal/prieš laikrodžio rodyklę ciklai („HAAS“ frez. staklės) 372–377
 G14/G15 pagalbinio/pagrindinio tekinimo staklių suklio režimas („HAAS“) 320, 321
 G17/G18/G19 XY, XZ (ZX), YZ darbo plokštumos 106, 107, 139–141
 G20/G21 colinės/metrinės sistemų vienetai 145–147
 G27 nulio pozicijos patikra 151, 159, 160
 G28 grįžimas į staklių nuli per tarpinį įrankio tašką 151–159
 G29 įrankio grįžimas per tarpinį tašką iš staklių nulio 152, 160–162
 G30 grįžimas į kitą nulį 152, 162, 163
 G32 sriegimo peiliu režimas 329–331
 G40 spindulio kompensacijos atšaukimas 216, 217, 221, 225, 234, 236
 G41/G42 taikyti įrankio (jo viršūnės) spindulio kompensaciją trajektorijos kairėje/dešinėje 216–218, 220–231, 233, 236, 239–241
 G43/G44 įrankio ilgio kompensacijos pritaikymas teigiamąja/neigiamąja Z ašies kryptimi 190, 196–198, 202
 G47 teksto graviravimo ciklas („HAAS“ frez. staklės) 377–379
 G49 įrankių ilgio kompensacijos atšaukimas 190, 202
 G50 mastelio režimo atšaukimas (frez. staklės) 284, 495, 496
 G50 pozicijos registracija (tek. staklės) 259, 260, 263, 264, 266
 G50 suklio sūkių ribojimas (tek. staklės) 248, 315, 414, 417, 505, 506
 G51 mastelio režimas (frez. staklės) 284, 285, 287, 290, 495
 G52 lokalinė koordinacijų sistema 182–184
 G53 perėjimas į staklių koordinacijų sistemą 170
 G54.1 papildoma detalės koordinacijų sistema („Fanuc“ valdymo sistema) 168, 179, 181, 256–258
 G54–G59 pagrindinės detalės koordinacijų sistemos 166–170, 173–175, 178, 179
 G65 makroprogramos iškvietimas 509–512, 538, 539, 542, 543
 G68 koordinacijų plokštumos pasukimo režimas 276–281, 489
 G69 koordinacijų plokštumos pasukimo režimo atšaukimas 276–279, 489
 G70 apskritiminio skylių masyvo apdirbimo ciklas („HAAS“ frez. staklės) 501, 502
 G70 glotniojo fasoninio tekinimo ciklas (tek. staklės) 409, 422–426, 446
 G71 rupiojo fasoninio tekinimo Z ašies kryptimi ciklas (tek. staklės) 404–415, 418, 445
 G72 linijoje išdėstytų skylių apdirbimo ciklas („HAAS“ frez. staklės) 539
 G72 rupiojo fasoninio tekinimo X ašies kryptimi ciklas (tek. staklės) 415–418, 445
 G73 našus gręžimo ir kapojimo ciklas (frez. staklės) 360, 371
 G73 rupiojo kopijuojamojo fasoninio tekinimo ciklas (tek. staklės) 418–421, 446
 G74 kairinio sriegio sriegimo sriegikliu ciklas (frez. staklės) 362, 371
 G74 pertraukiamo įrankio judesio Z ašies kryptimi ciklas (tek. staklės) 426–432, 446
 G75 pertraukiamo įrankio judesio X ašies

- kryptimi ciklas (tek. staklės) 432–436, 446
 G76 glotniojo ištekinimo ciklas (frez. staklės) 368, 369, 372
 G76 sriegimo peiliu ciklas (tek. staklės) 439–445, 446
 G77 atbulinio ištekinimo ciklas („HAAS“ frez. staklės) 371
 G77 nuopjovų frezavimo ciklas („HAAS“ tek. staklės) 458–461
 G80 vidinio ciklo atšaukimas 343, 347, 379, 382, 390, 396, 447
 G81 ašinių skylių gręžimo ciklas („HAAS“ tek. staklės) 446–449
 G81 paprastas gręžimo ciklas (frez. staklės) 350–355, 370
 G82 ašinių skylių gręžimo su pauze ciklas („HAAS“ tek. staklės) 449
 G82 gręžimo su pauze ciklas (frez. staklės) 355, 356, 370
 G83 ašinių skylių gręžimo ir karpymo ciklas („HAAS“ tek. staklės) 449–451
 G83 gręžimo ir karpymo ciklas (frez. staklės) 356–359, 370, 371
 G84 dešinio sriegio sriegimo sriegikliu ciklas (frez. staklės) 360–362, 371
 G84 dešinio sriegio sriegimo sriegikliu ciklas („HAAS“ tek. staklės) 451
 G85 ištekinimo su atbuline pastūma ciklas (frez. staklės) 363, 371
 G85 ištekinimo su atbuline pastūma ciklas („HAAS“ tek. staklės) 452
 G86 ištekinimo be atbulinės pastūmos ciklas (frez. staklės) 363, 364, 371
 G86 ištekinimo be atbulinės pastūmos ciklas („HAAS“ tek. staklės) 453
 G87 atbulinio ištekinimo ciklas („Fanuc“ frez. staklės) 364–367
 G87 ištekinimo su sustojimu ciklas („HAAS“ frez. staklės) 372
 G87 ištekinimo su sustojimu ciklas („HAAS“ tek. staklės) 453
 G88 ištekinimo su pauze eigos gale ir sustojimu ciklas (frez. staklės) 367, 368, 372
 G88 ištekinimo su pauze eigos gale ir sustojimu ciklas („HAAS“ tek. staklės) 453, 454
 G89 ištekinimo su atbuline pastūma ir pauze ciklas (frez. staklės) 368, 372
 G89 ištekinimo su atbuline pastūma ir pauze ciklas („HAAS“ tek. staklės) 454
 G90 absoliučiąjų koordinacijų režimas (frez. staklės) 25, 34, 36, 42, 50, 51, 53, 55, 66, 80, 86, 88, 94–96, 103
 G90 išilginio tekinimo/ištekinimo ciklas (tek. staklės) 391–402, 445
 G91 priaugių režimas (frez. staklės) 51, 53, 55, 66, 85, 86, 88, 95, 96, 99, 103
 G92 įrankio pozicijos registracija (frez. ir tek. staklės) 259–264, 266–270
 G92 pagrindinis sriegimo peiliu ciklas (tek. staklės) 436–439, 446
 G94 galo tekinimo ciklas 402–403, 445
 G94 pastūmos vien./min režimas („HAAS“ frez. staklės) 92
 G95 pastūmos vien./sūk. režimas („HAAS“ frez. staklės) 92
 G95 dešinio sriegio sriegimo sriegikliu Z ašies kryptimi ciklas tekinimo staklėms su įrankio pavara („HAAS“) 447, 454, 455
 G96 pastovaus pjovimo greičio režimas (tek. staklės) 122, 240, 249, 266, 312, 315, 316, 399, 412–415, 417, 418, 420, 421, 433–436, 505, 506
 G97 pastovaus pjovimo greičio režimo atšaukimas (tek. staklės) 123, 266, 315, 321, 330, 412, 413, 415, 418, 421, 428–431, 434, 435, 438, 439, 445, 448, 505, 506, 543
 G98 įrankio grąžinimas į pradinę Z poziciją po ciklo (frez. staklės) 341–347, 350, 364, 379, 382, 447
 G98 pastūmos vien./min režimas (tek. staklės) 321, 324, 325, 328, 448, 451, 490
 G99 įrankio grąžinimas į R poziciją po ciklo (frez. staklės) 340, 341–348, 350, 365, 379, 382, 447
 G99 pastūmos vien./sūk. režimas (tek. staklės) 451, 454–457
 G100 veidrodinio atspindėjimo režimo atšaukimas („HAAS“) 294–296, 493
 G101 veidrodinio atspindėjimo režimas („HAAS“) 294–296, 493
 G103 į priekį apdorojamų eilučių skaičiaus ribojimas 542, 544
 G105 strypo tiekimo įrenginio komanda („HAAS“ tek. staklės) 313–318
 G110–G129 papildomos detalės koordinacijų sistemos („HAAS“) 168, 179, 256–258, 515, 516
 G112 XY koordinacijų transformavimo į XC režimas („HAAS“ tek. staklės) 328

G113 XY koordinacijų transformavimo į XC režimo atšaukimas („HAAS“ tek. staklės) 329
 G150 kišenių frezavimo ciklas („HAAS“ frez. staklės) 380–389, 492–494
 G153 5-ių ašių našus gręžimo ir kapojimo ciklas („HAAS“ frez. staklės) 389, 390
 G154 papildomos 99 detalės koordinacijų sistemos („HAAS“) 168, 179, 257, 258, 517, 518
 G155 5-ių ašių kairinių sriegių sriegimo sriegikliu ciklas („HAAS“ frez. staklės) 389, 390
 G161 5-ių ašių gręžimo ciklas („HAAS“ frez. staklės) 390
 G162 5-ių ašių gręžimo su pauze ciklas („HAAS“ frez. staklės) 390
 G163 5-ių ašių gręžimo ir kapojimo ciklas („HAAS“ frez. staklės) 389
 G164 5-ių ašių dešinių sriegių sriegimo sriegikliu ciklas („HAAS“ frez. staklės) 389, 390
 G165 5-ių ašių ištekimo su atbuline pastūma ciklas („HAAS“ frez. staklės) 390
 G166 5-ių ašių ištekimo su pagreitintu įrankio ištraukimo ciklas („HAAS“ frez. staklės) 390
 G169 5-ių ašių ištekimo su atbuline pastūma ir pauze ciklas („HAAS“ frez. staklės) 390
 G184 dešinio sriegio sriegimo sriegikliu ciklas („HAAS“ tek. staklės) 447, 451, 452
 G186 kairinio sriegio sriegimo sriegikliu Z ašies kryptimi ciklas tekimo staklėms su įrankio pavara („HAAS“) 447, 455
 G188 programos iš palečių lentelės iškvietimas („HAAS“ frez. staklės) 298
 G195 dešinio sriegio sriegimo sriegikliu X ašies kryptimi ciklas tekimo staklėms su įrankio pavara („HAAS“) 456, 457
 G196 kairinio sriegio sriegimo sriegikliu X ašies kryptimi ciklas tekimo staklėms su įrankio pavara („HAAS“) 457

I

ISO 9
 Išilginis tekimas/ištekinimas 234, 235, 391, 392, 397, 398, 428
 Iškyša 88, 89, 101, 211, 214, 243, 276, 282, 345, 386
 Cilindrinė 119, 246, 388
 Iškyšos frezavimas 88–91, 119, 120, 211–215, 221–228, 231, 232, 241–246, 253, 277–279, 385–388, 494–496

Išvaikšciojimas 363, 373, 408, 409, 427, 433, 452, 574

Į

Įprastinės (rankinio valdymo) staklės 7, 79, 307, 574
 Įrankio geometrijos kompensacija 180, 184, 205–210, 255, 258, 259
 Įrankio ilgio kompensacija 188–204, 219, 220, 257
 Įrankio įsipjovimo judesys 114, 115, 120, 121, 141, 222, 223, 230
 Įrankio išsikišimo (iškyšos) ilgis 23, 24, 575
 Įrankio koordinacijų sistema 23, 24
 Įrankio pozicijos registracija 259–270
 Įrankio skersmens/spindulio kompensacija 213–234
 Kontūro dešinėje 216–218
 Kontūro kairėje 216–218
 Įrankio viršūnės spindulio kompensacija 234–241
 Profilio dešinėje 236, 237
 Profilio kairėje 236, 237
 Įrankių derinimo įtaisai 181, 209, 574
 Įrankių laikiklis 71, 72, 575
 Įrankių pavara 56, 107, 322–329, 428, 432, 447–449, 452–461, 490, 575
 Įsipjovimo metodas sriegiant peiliu 442–445
 Įšildymo programa 132, 135, 473

Y

Y ašis 12–23, 39, 80, 87, 103

K

Kairiosios rankos taisyklė 15
 Kišenė 120, 230, 243, 246, 280, 286, 288, 289, 291, 373, 381–383, 386–388, 493
 Kišenės frezavimas 120, 121, 141, 210, 216, 217, 221, 229–231, 234, 241–245, 253, 279, 280, 285–290, 380–389, 474, 492–494
 Apvalios 113, 245–247, 372–377, 498, 502, 503
 Komanda 34
 Komentarai 34, 35, 41, 42, 576
 Kompensacijų nustatymas iš programos 255–258
 Konfliktiniai kodai (žodžiai) 52
 Konstrukcinė bazė 22, 27
 Koordinacijų sistemos pradžia 12

- Koordinacijų plokštumos pasukimas 275–281
 Koordinacijų plokštumos pasukimo centras 276–280, 489
 Koordinacijų plokštumos pasukimo kryptis 276, 277
 Kreipinys 33, 35–40, 42, 56
 Kūgio tekimas 393–396, 399–401
 Kvadrantas
 Apskritimo 101, 102, 105, 106, 110–112, 274, 325, 332, 388
 Koordinacijų plokštumos 13, 26, 28, 291–293, 295, 491
 Kvadranto taškas 102, 106, 111, 487
- L**
- Laikas
 Ciklo (Ciklo trukmė) 134, 164, 239, 357, 371, 388, 418, 523, 570
 Mašininis 79, 355, 486, 578
 Pagalbinis 79, 82, 84, 151, 296, 318, 360, 578
- M**
- Makrokintamieji 313, 314, 317, 378, 507, 508
 Globalieji 512, 513
 Lokalieji 509–512
 Sisteminiai 313, 314, 317, 513–528
 Makroprograma 507, 509, 510, 512, 513
 Makroprogramavimas 507
 Mastelio centras 283–290
 Mastelio daugiklis 282–285
 Mastelis 281–291
 Matematinė plokštuma 137–139
 MDI režimas 314, 317, 318, 366, 369, 498, 501, 509–511, 521, 538, 539, 542, 543, 545, 577
 M kodai 9, 33, 34, 36, 56–63
 Programos 56, 64–67
 Staklių 56, 68–77
 M00 programos sustabdymas 62–65
 M01 papildomas programos sustabdymas 63, 64, 65
 M02 programos pabaiga negrįžtant į jos pradžią 63, 66, 67
 M03/M04 suklio sukimasis į priekį/atgal 63, 68–70, 76, 320
 M05 suklio sustabdymas 63, 70, 71, 76, 320
 M06 įrankio keitimas (frez. staklės) 63, 72–74
 M07 TAS „dušas“ („HAAS“ frez. staklės) 74
 M07 TAS „rūkas“ („Fanuc“) 74, 75
 M08 aušinimas laistant 62, 63, 74, 75
 M09 nutraukti TAS tiekimą 63, 74, 75
 M10/M11 uždaryti/atidaryti pagrindinį griebtuvą (tek. staklės) 306, 311, 312, 320, 321
 M12/M13 arkluko pinolė į priekį/atgal („Fanuc“ tek. staklės) 308
 M14/M15 užspausti/atleisti pagrindinio suklio stabdį („HAAS“ tek. staklės) 324–326, 448, 449, 454, 455, 457, 490
 M17/M18 revolverinė galvutė visada sukasi į priekį/atgal (tek. staklės) 74
 M19 suklio kampinės padėties valdymas 71, 72, 321, 325, 326, 366, 448, 449, 455, 457
 M21/M22 arklukas (pinolė) į priekį/atgal („Fanuc“, „HAAS“ tek. staklės) 308–310
 M21 veidrodinio atspindėjimo išilgai X ašies režimas („Fanuc“ frez. staklės) 294, 491, 492
 M21 veidrodinio atspindėjimo išilgai Y ašies režimas („Fanuc“ frez. staklės) 294, 491, 492
 M23 veidrodinio atspindėjimo režimo atšaukimas („Fanuc“ frez. staklės) 294, 491, 492
 M23/M24 pjauti/nepjauti sriegio nuožulnis (tek. staklės) 437, 438, 441, 445, 446
 M30 programos pabaiga ir grįžimas į jos pradžią 63, 66, 67, 70
 M34/M35 TAS tūtai nuleisti/pakelti per vieną poziciją („HAAS“ frez. staklės) 76
 M36 atidėti palečių keitimą („HAAS“ frez. staklės) 299–302
 M36/M37 pakelti/nuleisti detalių gaudyklę („HAAS“ tek. staklės) 319
 M41/M42/M43/M44 staklių suklio pavaros 76, 77
 M46 perėjimas į kitą eilutę jei paletė pakrauta („HAAS“ frez. staklės) 300, 301
 M48 paletės patikra („HAAS“ frez. staklės) 300, 301
 M49 palečių statusas („HAAS“ frez. staklės) 300
 M50 palečių keitimas („HAAS“ frez. staklės) 298–302
 M60 palečių keitimas („Fanuc“ frez. staklės) 297
 M80/M81 atidaryti/uždaryti staklių darbo zonos dureles („HAAS“ frez. staklės) 303
 M85/M86 atidaryti/uždaryti staklių darbo zonos dureles („HAAS“ tek. staklės) 319
 M88/M89 TAS tiekimas didelio sliegio srove („HAAS“ tek. staklės) 76, 335
 M88/M89 TAS tiekimas per sukli („HAAS“ frez. staklės) 74, 76, 303, 304

- M97 lokalinės paprogramės kvietimas („HAAS“ staklės) 67, 479–481
- M98 paprogramės kvietimas 67, 469–478, 480, 482–484, 487–495, 535
- M99 paprogramės pabaiga ir grįžimas į pagr. programą 67, 298, 299, 301, 311–313, 317, 385, 470–480, 483, 484, 487–496, 533,
- M109 duomenų įvedimas iš klaviatūros („HAAS“) 67, 545, 546
- M110/M111 uždaryti/ atidaryti pagalbinį griebtuvą („HAAS“ tek. staklės) 321, 322
- M119 pagalbinio suklio kampinės padėties valdymas („HAAS“ tek. staklės) 321
- M133 įrankio suklio sukimasis į priekį („HAAS“ tek. staklės) 323–326, 328, 447, 448, 454–457, 459–462, 490
- M134 įrankio suklio sukimasis atgal („HAAS“ tek. staklės) 323, 447, 455–457
- M135 įrankio suklio sustabdymas („HAAS“ tek. staklės) 323, 325, 326, 329, 449, 455, 457, 460, 461, 490
- M143 pagalbinio suklio sukimasis į priekį/atgal („HAAS“ tek. staklės) 321
- M145 pagalbinio suklio sustabdymas („HAAS“ tek. staklės) 321
- M154/M155 sujungti pagrindinį sukli su C ašies varikliu/atjungti nuo C ašies variklio („HAAS“ tek. staklės) 324, 325, 328, 329, 490
- N**
- Nuopjovų frezavimas tekinimo centrais 327–329, 458–461
- Nuožulna 273–275, 331–335, 396, 502
- Sriegio 331, 436–438, 441, 445, 446
- Nustatytieji parametrai 23, 27, 36, 66, 107, 109, 139, 146, 173, 179, 199, 205, 253, 276, 284, 321, 343, 347, 377, 437, 444, 445, 446, 459, 513, 577
- O**
- Operatoriaus koordinačių sistema 171, 194, 195
- „Oro“ pjovimas 79, 401, 405, 577
- P**
- Pagalbinis suklys 319–323, 578
- Pagreitintos patikros režimas 524, 578
- Pagrindinio įrankio metodas 193–195
- Pagrindinis įrankis 193–195
- Pagrindinis suklys 68, 320–323, 578
- Palečių keitiklis (keitimo įrenginys) 296–302, 578
- Palečių lentelė 298–300
- Paprogramė 62, 64, 67, 156, 169, 170, 200, 301, 302, 314, 349, 380–389, 465, 469–478, 482–496, 507, 523, 535
- Lokalinė 479–482
- Paprogramės atlikimų skaičius 67, 473–475, 480, 482, 483, 484
- Pastovaus pjovimo greičio režimas (funkcija) 122, 123, 145, 240, 249, 266, 312, 313, 315, 316, 318, 330, 399, 412–415, 417, 418, 420, 421, 423–426, 433–436, 579
- Pastūma 37, 64, 76, 79, 81, 93, 102, 129, 216, 217, 293, 329, 361
- Apskritiminė 93, 113, 114, 326
- Dančiui 520, 541, 542
- Minutinė 35, 37, 47, 51, 52, 81, 86–88, 92, 145, 361, 362
- Sūkiui 34, 35, 37, 47, 88, 90, 92, 93, 99, 100, 145, 329, 361
- Vertikalioji 377
- Pastūmos užlaikymo režimas 368, 522, 523
- Pastūmos vektorius 92, 93
- Pastūmos viršijimo režimas 361, 522, 523
- Pasukama (dalijimo) galvutė 82, 93, 486, 487
- Pasukamas stalas 13, 93, 131, 151, 178, 179, 203, 204
- Pauzė 129–135, 535
- Vidiniuose cikluose 131, 342, 355, 367, 368, 370, 449, 454
- Pauzės trukmės nustatymas 134, 135
- Pavienių eilučių režimas 50, 308, 514, 522, 523
- Peilio viršūnės padėtis 237, 238
- Pinolė 307–310, 579
- Pirštinė freza 72, 88, 91, 110, 111, 114, 115, 208, 210, 217, 220, 233, 253, 322, 380, 383, 458
- Centrinio pjovimo 141, 570
- Necentrinio pjovimo 141, 577
- Rutulinė 141, 142
- Pjovimo gylis 37, 76, 131, 338, 372, 373, 392, 397–399, 405, 409, 410, 411, 417–419, 440–442, 444, 445, 446, 505
- Pjovimo greitis 35, 122, 131, 145, 240, 249, 266, 312, 313, 315, 318, 399, 409, 418, 422, 426, 433, 503, 541, 542
- Polinė koordinatė 28, 29, 328, 458
- Absoliučioji 29
- Prieaugio 29

- Prieaugis 25–28, 42, 53, 55, 66, 106
 Prieaugių režimas 25, 51, 52, 55
 Frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose 47, 51, 86, 88, 103, 157
 Tekinimo staklėse 39, 88, 99, 103, 158
 Prisilietimo metodas 193, 194, 196, 198, 203, 204, 207, 252, 253, 262, 264
 Programos pabaigos kodas 35, 66, 479, 524
 Programos pavadinimas (vardas) 35, 38, 478, 501, 505
 Programos struktūra 33
 Programuojamos kampinės padėties tepimo ir aušinimo skysčio (TAS) tūta 59, 75, 76, 524
- R**
 Raidė 33–35
 Revolverinė galvutė 15, 19, 20, 84, 85, 580
- S**
 Simbolis 33, 36, 40, 41
 Skaitmuo 33–36
 Skylių grežimas
 Frezavimo staklėmis ir apdirbimo centrais 20, 21, 24, 25, 27, 91, 98, 129, 130, 134, 153, 163, 166, 168–170, 181–183, 185–189, 233, 263, 267–269, 338–342, 344–349, 350–356, 363, 364, 370, 375, 386, 390, 465–472, 475–477, 481–488, 491, 492, 498–502, 535, 536, 538, 539
 Tekinimo staklėmis ir centrais 71, 84, 85, 91, 100, 129, 134, 248–250, 323–325, 396, 401, 426, 427, 432, 433, 446–449, 453, 490
 Skylių grežimas ir kapojimas 342, 356–360, 370, 371, 376, 383, 389, 429, 430, 449–451, 498, 574
 Skylių ištekinimas
 Atbulinis 342, 364–367, 371
 Ištekinimo galvute 342, 363, 364, 367–369, 371, 372, 390, 498
 Peiliu 158, 159, 236, 237, 248–252, 391, 392, 398, 403, 404, 406, 409–414, 415, 416, 419, 425, 426, 452–454, 502
 Skylių masyvas 465
 Apskritiminis 181, 182, 499
 Stačiakampis 483, 484, 535
 Skylių sriegimas sriegikliu
 Frezavimo staklėmis ir apdirbimo centrais 360–362, 371, 475–478, 481, 482
 Tekinimo staklėmis ir centrais 451, 452, 454–457
 Skylių žymėjimas (centravimas) 351–354, 475–477
 Spiralinis judesys 140, 141
 Sriegimas peiliu 329–331, 436–445
 Išorinių sriegių 330, 331, 438, 439, 445
 Vidinių sriegių 437, 439, 445
 Sriegio frezavimas šukutinėmis frezomis 113, 498, 552
 Strypo tiekimo įrenginys 306, 310–318, 581
 Elektromechaninis 310, 313–317
 Pneumatinis 306, 310–312
 Suklio kampinės pozicijos valdymas 71
 Pagalbinio 321
 Suklio paleidimas
 Įrankio 323
 Pagalbinio 320, 321
 Pagrindinio 68–70
 Suklio stabdys 56, 58, 323, 324, 325, 326, 455, 457, 581
 Suklio sustabdymas
 Įrankio 61, 323
 Pagalbinio 61, 320, 321
 Pagrindinio 57, 63, 70, 71
 Suklio sukiai 8, 9, 34, 35, 39, 64, 70, 135, 321
- T**
 Tarpinis taškas 153, 154, 158–161
 Teksto graviravimas 377–379
 Tepimo ir aušinimo skysčio (TAS) „dušas“ 58, 74, 582
 Tepimo ir aušinimo skysčio (TAS) siurblys 62, 63, 74, 75, 582
 Didelio slėgio 74, 76, 303, 335, 573
 Tepimo ir aušinimo skysčio (TAS) tiekimas
 Didelio slėgio srove 76, 335
 Laistant (mažo slėgio srove) 74, 75
 Per suklij (TSC) 74, 76, 303
 TAS rūko pavidalu 74, 75
 Tiesinė interpoliacija 52, 86–94
- V**
 Valdymo programa 7–12, 24, 33, 35, 582
 Veidrodinis koordinačių atspindėjimas 291–294, 583
 Veiksmai su makrokintamaisiais 528
 Aritmetiniai 528, 529
 Funkcijos 529–532
 Loginiai 532–537

Vienetų sistema 145
 Colinė (Anglišių) 145–147
 Metrinė 145–147
Viršūnė 574
 Peilio 234
Viršūnės kampas
 Gražto 359
 Peilio 408, 440, 443, 579
 Sriegio profilio 441, 443, 581
Viso apskritimo įrankio trajektorija 108–113,
119, 141
Vizualinio programavimo programinė
įranga 9, 10, 498
 VQC 11, 498–505

Z

Z ašis 12–24, 39, 80, 87, 103

Ž

Ženklas 33–36
„Žiūrėk pirmyn“ 216, 226, 227, 229, 544
Žodis 33–36

X

X ašis 12–24, 39, 80, 87, 103

LITERATŪRA

- Aleksa, V.; Galvanauskas, V. 2008. *Technologinių procesų automatizavimas ir valdymas*. Kaunas: Technologija. 284 p.
- Altintas, Y. 2000. *Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design*. Cambridge: Cambridge University Press. 286 p.
- Balažic, R. 2005. *Programiranje CNC-Stroje*. Murska Sobota: Franc-Franc. 320 p.
- Benson, D. 2005. *Easy CNC – a Beginner’s Guide to CNC*. Hayden: Square 1 Electronics. 200 p.
- Crandell, T.; Crandell, T. M.; Gibbs, D. 2003. *CNC Machining and Programming: an Introduction*. New York: Industrial Press, Inc. 606 p.
- Evans, K. 2003. *Programming of CNC Machines: Student Workbook*. New York: Industrial Press, Inc. 130 p.
- Evans, K. 2007. *Programming of CNC Machines*. Third Edition. New York: Industrial Press, Inc. 500 p.
- Fitzpatrick, M. 2004. *Machining and CNC Technology*. New York: McGraw-Hill Higher Education. 1088 p.
- HAAS Automatic Pallet Changer Operator’s Addendum. 2008. 18 p.
- HAAS Lathe Operator’s Manual. 2009. 202 p.
- HAAS Mill Operator’s Manual. 2009. 217 p.
- HAAS Rotary Operator’s Manual. 2007. 63 p.
- HAAS Servo Bar 300 Operator’s Addendum. 2008. 28 p.
- HAAS Tailstock Operator’s Manual. 2007. 12 p.
- HAAS TL-Series Sub-Spindle Operator’s Addendum. 2008. 14 p.
- Harvey, J. A. 2005. *Machine Shop Trade Secrets: a Guide to Manufacturing Machine Shop Practices*. New York: Industrial Press, Inc. 320 p.
- Hayden, D. S. 2004. *7 Easy Steps to CNC Programming... A Beginner’s Guide*. Ligonier: HaydenPub. 70 p.
- Hayden, D. S. 2004. *7 Easy Steps to CNC Programming. Book II: Beyond the Beginning*. Ligonier: HaydenPub. 80 p.
- Hess, E. J. 2009. *The CNC Cookbook: an Introduction to the Creation and Operation of Computer Controlled Mills, Router Tables, Lathes, and More*. Scited Publications. 224 p.
- Hood-Daniel, P.; Kelly, J. F. 2009. *Build Your Own CNC Machine*. New York: Springer-Verlag. 350 p.
- Hurst, B. 2006. *The Journeyman’s Guide to CNC Machines: How-to Part Programming (ISO) Format for Turning and Machining Centres*. Bryan Hurst. 216 p.

- Irons, I. 2007. *Learn CNC Secrets*. FistFire Publishing. 144 p.
- Jha, B. K. 2003. *CNC Programming Made Easy*. Noida: Vikas Publishing House Pvt Ltd. 224 p.
- Kandaray, D. E. 2010. *Programmable Automation Technology: an Introduction to CNC, Robotics, and PLCs*. New York: Industrial Press, Inc. 500 p.
- Kibbe, R. R.; Neely, J. E.; White, W. T.; Meyer, R. O. 2009. *Machine Tool Practices*. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall. 800 p.
- Kief, H. B. 2000. *CNC for Industry*. Cincinnati: Hanser Publications. 402 p.
- Kim, T. 2001. *Time-optimal CNC Tool Paths: a Mathematical Model of Machining*. Massachusetts: Massachusetts Institute of Technology. 188 p.
- Koenig, D. T. 2007. *Manufacturing Engineering: Principles for Optimization*. New York: ASME Press. 536 p.
- Krar, S.; Gill, A. 1999. *CNC Programming Basics: a Primer for Skills/VICA Championships*. New York: Industrial Press, Inc. 50 p.
- Krar, S. F.; Gill, A. 1990. *CNC: Technology and Programming*. New York: Gregg Division, McGraw-Hill Companies. 378 p.
- Krar, S.; Gill, A. 2000. *Computer Numerical Control Simplified*. New York: Industrial Press, Inc. 448 p.
- Krar, S. F.; Gill, A.; Smid, P. 2005. *Technology of Machine Tools*. Sixth Edition. New York: McGraw-Hill Higher Education. 928 p.
- Madison, J. 1996. *CNC Machining Handbook: Basic Theory, Production Data, and Machining Procedures*. New York: Industrial Press, Inc. 396 p.
- Mattson, M. 2001. *CNC Programming: Principles and Applications*. Albany: Delmar. 358 p.
- Mattson, M. 2009. *CNC Programming: Principles and Applications*. Second Edition. Clifton Park: Delmar Cengage Learning. 405 p.
- Nanfara, F.; Uccello, T.; Murphy, D. 2002. *The CNC Workshop – a Multimedia Introduction to Computer Numerical Control*. Upper Saddle River: Prentice Hall. 400 p.
- Nelson, D. 1999. *The CNC Toolbox: Top Service for Machine Tools*. Second Edition. Huntington Beach: Aero Publishing. 320 p.
- Overby, A. 2010. *CNC Machining Handbook: Building, Programming, and Implementation*. New York: McGraw-Hill Higher Education. 272 p.
- Peterson, M. J. 2008. *CNC Programming: Basics and Tutorial Textbook*. Scotts Valley: Create Space. 234 p.
- Quesada, R. 2005. *Computer Numerical Control: Machining and Turning Centers*. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall. 548 p.
- Seames, W. 2002. *Computer Numerical Control: Concepts and Programming*. 4th Edition. Clifton Park: Delmar Cengage Learning. 438 p.
- Smid, P. 2010. *CNC Control Setup for Milling and Turning: Mastering CNC Control Systems*. New York: Industrial Press, Inc. 314 p.
- Smid, P. 2005. *CNC Programming Techniques: an Insider's Guide to Effective Methods and Applications*. New York: Industrial Press, Inc. 448 p.

Smid, P. 2004. *Fanuc CNC Custom Macros: Programming Resources for Fanuc Custom Macro B Users*. New York: Industrial Press, Inc. 336 p.

Suh, S.-H.; Kang, S.-K.; Chung, D.-H.; Stroud, I. 2008. *Theory and Design of CNC Systems*. London: Springer-Verlag. 455 p.

Valentino, J. V.; Goldenberg, J. 2008. *Introduction to Computer Numerical Control (CNC)*. 4th Edition. Upper Saddle River: Pearson Prentice Hall. 608 p.

Серебсеницкий, П. П.; Схиртладзе, А. Г. 2003. *Программирование для автоматизированного оборудования*. Москва: Высшая школа. 592 с.

Фельдштейн, Е. З.; Корниевич, М. А. 2005. *Обработка деталей на станках с ЧПУ*. Минск: Новое знание. 287 с.

Informacija apie staklių gamintojus pateikiama šiuose tinklalapiuose:

www.cnczone.com

www.haascnc.com

www.mazak.com

www.moriseiki.co.jp

Vadim MOKŠIN, Andrejus Henrikas MARCINKEVIČIUS,
Mindaugas JUREVIČIUS

ŠIUOLAIKINIAI SKAITMENINIO VALDYMO
APDIRBIMO CENTRAI IR JŲ PROGRAMAVIMAS
II dalis. Programavimas

Vadovėlis

Redaktorė *Rita Malikėnienė*
Viršelio dizainerė *Eglė Gylytė* (leidykla „Technika“)
Maketuotojas *Gintautas Bancevičius* (leidykla „Technika“)

2012 03 21. 34,27 aut. l. Tiražas 100 egz.
El. versija pagal leidinio identifikatorių: doi:10.3846/1263-S
Vilniaus Gedimino technikos universiteto
leidykla „Technika“, Saulėtekio al. 11, 10223 Vilnius
<http://leidykla.vgtu.lt>
Spausdino UAB „Ciklonas“,
J. Jasinskio g. 15, 01111 Vilnius
<http://www.ciklonas.lt>