

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS

Ignas Sudžius

CNC STAKLIŲ VALDYMO PROGRAMOS SUKŪRIMAS

Baigiamasis bakalauro projektas

Vadovas

Doc. dr. Andrius Knyš

KAUNAS, 2015

KAUNO TECHNOLOGIJOS UNIVERSITETAS
ELEKTROS IR ELEKTRONIKOS FAKULTETAS
AUTOMATIKOS KATEDRA

CNC STAKLIŲ VALDYMO PROGRAMOS SUKŪRIMAS

Baigiamasis bakalauro projektas
Automatika ir valdymas (kodas 612H66001)

Vadovas
Doc. dr. Andrius Knyš

Recenzentas

Projektą atliko
Ignas Sudžius

KAUNAS, 2015

Santrauka

Autorius: Ignas Sudžius

Darbo pavadinimas: „CNC staklių valdymo programos sukūrimas“

Kalba: Lietuvių

Iliustracijų: 19

Puslapių skaičius: 36

Priedai: 1

Baigiamojo bakalauro darbo užduotis yra išanalizuoti CNC staklių valdymą, jom skirtų programų kūrimą, jų galimybes. Sudarytas CNC frezavimo staklių technologinis aprašas bei pateiktas vizualinis svarbiausių staklių dalių paveikslukas. Išanalizuotos pagrindinės programuojamų staklių sudedamosios dalys: pavaros, valdymo blokas, programinė įranga. Aprašytas jų veikimo principas. Pasirinkta „Mastercam“ programine įranga yra parašyta sudėtinga liejimo formos programa.

Summary

Author: Ignas Sudžius

Topic of the work: Development of Control Program for CNC Machine-Tool

Language: Lithuanian

Illustration: 19

Pages: 36

Additions: 1

The task of this bachelor qualification work is to analyze the control of CNC milling machines, development of control program for CNC machine – tool, their facilities. Composed CNC milling machine technological description and visual main parts picture. Analyzed main programmable machine parts: gears, control system, software. Described the principle of working. Made NC code for a cast with chosen „mastercam“ software.

Turinys

Įvadas.....	6
1. Programuojamos staklės	7
1.1 Pagrindinės CNC staklių dalys	8
1.2 CNC staklių privalumai	9
1.3 Tikslumas.....	9
1.4 Staklių pavaros.....	10
1.4.1 Žingsniniai varikliai.....	10
1.4.2 Servo varikliai.....	11
1.5 CNC sistemose naudojami keitikliai.....	13
2. Programuojami loginiai valdikliai	14
2.1 Siemens Sinumerik	14
3. Programos sandara.....	16
3.1 Programavimo formatas.....	17
3.2 Pagrindiniai šiuolaikinių CNC sistemų ženklai	17
3.3 CNC staklių programinė įranga	19
3.4 Mastercam programinė įranga	19
3.5 CNC programų ruošimas Mastercam programine įranga	20
3.6 Programos redagavimas ir klaidos	22
4. CNC staklių programavimas	22
4.1 Gaminio apžvalga	22
4.2 Medžiagos ruošinys	23
4.3 Gamybos būdas.....	24
4.4 Pagrindiniai nustatymai Mastercam programine įranga	26
4.5 Liejimo paviršiaus ir gabaritų apdirbimas	28
4.6 Kitų gaminio pusių apdirbimas.....	34
Išvados.....	35
Literatūros sąrašas	36
Priedai.....	37

Įvadas

Dar iki XX amžiaus vidurio pramonėje metalo apdirbimo darbai buvo atliekami rankiniu būdu, universaliomis ar koordinatinėmis staklėmis. Taip gaminiui pagaminti reikėjo daugybės specialistų, staklių ir įrankių. Vystantis pramonei, augant gamybos apimtims bei gaminių tikslumams reikėjo našesnių technologijų atlikti frezavimo, gręžimo, sriegimo, tekimo ir kitus darbus. Italijoje 6 dešimtmetyje buvo sukurta CNC (Computer Numerical Control) koncepcija. Tai didelio našumo ir tikslumo programuojamos apdirbimo staklės. Šiandien CNC technologija yra plačiai paplitusi pasaulyje, nes leidžia gaminti automobilių, medicinos, elektronikos ir kitų pramonės šakų gaminius greičiau, tiksliau ir pigiau. CNC apdirbimo staklės gali atlikti daugybę įvairių funkcijų, kurioms anksčiau reikėjo keletos staklių, darbuotojų, tačiau atlikto darbo kokybė, tikslumas daug didesni, o gamybos laikas daug trumpesnis.

Darbo tikslas: Išanalizuoti CNC staklių veikimo principą, jų valdymą, naudojamą programinę įrangą. Pateikti valdymo programos fragmentą.

Darbo objektas: metalo apdirbimo CNC staklės.

Darbo uždaviniai: apžvelgti CNC staklių veikimo principą, sudedamąsias dalis. Išanalizuoti programinę įrangą skirtą valdyti programines stakles. Sukurti programą skirtą apdirbti sudėtingą liejimo formą ir pateikti jos fragmentą.

1. Progamuojamos staklės

Visų pirma NC (numerical control – skaitmeninis valdymas) yra staklių ar panašių įrengimų skaitmeninis valdymas. Šie įrengimai yra valdomi skaitmeninėmis komandomis, naudojant valdiklius ir pavarus. Pirmosios kartos NC staklės buvo pagamintos penktajame XX amžiaus dešimtmetyje. Jos veikė mechaninių staklių pagrindu, turėjo tik tai variklius, kurie buvo valdomi pagal kodą sukartą perforuotoje juostoje. Toks programavimo būdas buvo ganėtinai komplikotas, o jei atsirasdavo valdymo klaida ar norint pakeisti darbo ciklą, reikėdavo keisti visą juostą. Tačiau šie servo mechanizmai sparčiai tobulėjo ir išsivystė iki valdymo kompiuteriais. Taip atsirado modernios CNC (computer numerical control – kompiuterinio skaitmeninio valdymo) staklės (1 pav.), kurios sukėlė tikrą apdirbimo proceso revoliuciją.



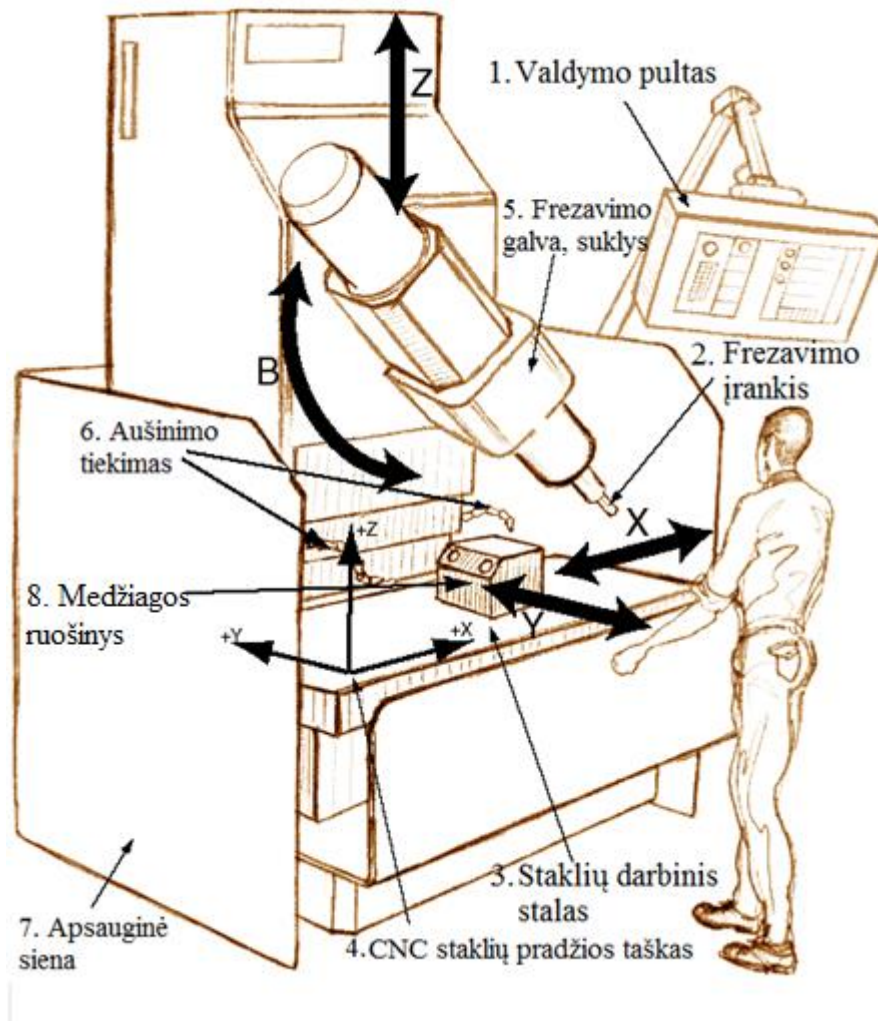
1 pav. Šiuolaikinės CNC staklės.

Moderniose CNC sistemose detalių gamyba automatizuota. Yra naudojamos CAD (computer aided design – kompiuterinis dizainas) ir CAM (computer aided manufacturing – kompiuterinis apdirbimas) programos. CAD programomis kuriami kompiuteriniai gaminių brėžiniai ir modeliai, kurie vėliau apdirbami CAM programomis. CAM programinių įrangų užduotis kurti skaitmeninius kodus tekstų pavidalu, kuriuos suprastu CNC sistemos. Darbai tapo dar paprastesni, nes CAM sistemose yra simuliacijos funkcijas, kompiuteryje parodančias kaip vyks realus darbas, atvaizduojamos klaidos ir kiti netikslumai, kuriuos galima pataisyti nepradėjus realaus darbo. Naujose CNC sistemose CAD ir CAM programinės įrangos būna integruotos į staklių valdymo sistemą, taip sukuriant galimybę dar paprasčiau programuoti CNC stakles.

Šiuolaikinėmis CNC staklėmis galima pagaminti ypatingai sudėtingos konstrukcijos gaminius, kuriems reikalinga daugybė skirtingų įrankių, todėl staklės turi automatinį įrankių

keitimą. Taip pat kai kuriose staklėse yra naudojami keli sukčiai (įrankius sukantys mechanizmai), galintys dirbti lygiagrečiai, taip ženkliai sumažėja gamybos laikas. Vis dėlto dažnai reikalingas detalių apvertimas, čia turi įsikišti žmogus ar robotas, tačiau šiais laikais yra labai sumažėjęs žmogiškasis faktorius. Be to, CNC staklės gali veikti nesustodamos, nebent reikalinga atlikti tam tikrus profilaktinės patikros ar remonto darbus.

1.1 Pagrindinės CNC staklių dalys



2 pav. Pagrindinės CNC staklių dalys.

1. Valdymo pultas – operatoriui skirtas valdyti CNC stakles ir stebėti įvairius staklių parametrus: variklio apkrovą, apsisukimų skaičių, programos eigą ir kitus;
2. Darbinis įrankis – darbo įrankis, kuriuo gaminama detalė: freza, grąžtas, sriegiklis ir kiti;
3. Darbinis stalas – vieta, ant kurios vyksta frezavimo darbai;
4. Staklių pradžios taškas – mechaniškai nustatytas staklių pradžios ir atskaitos taškas;
5. Frezavimo galva, suklys – darbo įrankius sukanti dalis;

6. Aušinimo tiekimas – vandens arba suslėgto oro tiekimas aušinti įrankiui;
7. Apsauginė siena – skirta sulaikyti drožles, vandenį, nuo patekimo į išorę.
8. Medžiagos ruošinys – iš jo pašalinant nereikalingą medžiagos kiekį gaminama detalė;
9. X, Y, Z, B ašys – X, Y, Z vaizduoja linijines ašis, B besisukanti ašis.

1.2 CNC staklių privalumai

Pranašumai dirbant CNC staklėmis:

1. CNC staklės dirba pagal sukurtus brėžinius. Jomis galima pagaminti tūkstančius identiškų detalių.
2. CNC stakles paprasta atnaujinti, atnaujinus programinę įrangą.
3. CNC staklėmis paprasčiau išmokti dirbti. Tam skirtos vizualinės programų simuliacinės sistemos.
4. Moderni projektavimo programinė įranga leidžia atsisakyti sudėtingo prototipų kūrimo.
5. Vienas asmuo gali dirbti keliomis CNC staklėmis vienu metu.
6. CNC staklėmis gamintos detalės yra identiškos.

1.3 Tikslumas

Staklių tikslumas yra vienas svarbiausių kriterijų.. Staklių tikslumą lemia:

- Pastūmos tiesumas - parametras, parodantis maksimalų įrankio kelio nuokrypį nuo tiesios linijos tam tikru ašies atstumu.
- Ašies statmenumas - parodo maksimalų eigos nuokrypį nuo etaloninės ašies reikšmės tam tikru atstumu.
- Žingsnio klaida - sraigto veržlės poslinkio vertės nuokrypis nuo teoriškai suskaičiuotos poslinkio vertės.
- Laisvumas - atstumas, kuriuo juda ašis, keičiantis judesio kryptį.
- Įrankio statmenumas - suklio statmenumo nesutapimą su X ir Y ašimis parodantis parametras.
- Pozicionavimo skiriamoji geba - žingsnio ir pavarų skiriamosios gebos rezultatas. Mažiausia reikšmė, kuria duotoji ašis gali judėti, priklausomai nuo pavarų galimybių.
- Pavarų skiriamoji geba - maksimalus poslinkis, kuris gali būti nustatytas pavaroms interpoliatoriumi.
- Pozicionavimo pakartojamumas - įrankio absoliučios pozicijos maksimalus nuokrypis kartojant tą patį tašką daug kartų iš skirtingų pusių.

- Staklių tvirtumas - parametras, specifikuojantis reikšmę, kurios ribose staklės atsitiesia po nustatytos jėgos panaudojimo, mažiausiai palankioje ašies pozicijoje.

Taigi bendra galima gaminio paklaida priklauso nuo visų išvardintų problemų. Taip pat paklaidas gali sukelti šiluminio plėtimosi fenomenas. Plienui tai sudaro apie 0,01 mm/m laipsniui pagal Celsijų. Dalyje servo pavarų, padėties valdiklio dažnis būna apie 400 Hz. Jei nukrypimas išauga nedelsiant po padėties pamatavimo, servo pavara nežinos apie tai sekancias 2,5 ms, todėl atsiranda paklaidos.

Taip pat yra interpoliatorius - valdymo sistemos dalis, atsakinga už informacijos pateikimą į servo pavaras, koku greičiu turi judėti kiekviena ašis ir kokia pozicija turi būti pasiekta, nuo to priklauso pozicijos nustatymo kokybė. Pagrindinis šios sistemos dalies tikslas – ašių sinchronizacija. Tik sinchronizavus ašių darbą, bus pagamintas idealus gaminys. Tai kompleksiškas procesas, jam būtinas labai greitas procesorius, tada bus pasiekta tinkama skiriamoji geba. [1]

1.4 Staklių pavaros

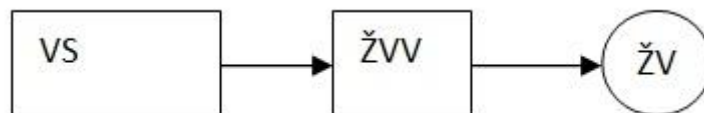
Tikriausiai pagrindinis CNC staklių elementas yra judesiu perduoti skirtos pavaros. Jos lemia pozicionavimo tikslumą, greitį, judesių sklandumą. Šiuolaikinės pavaros privalo atitikti tam tikrus aukštus standartus. Brangiuose įrengimuose naudojami servo varikliai, lėtesniuose – žingsniniai, ypač didelėse sistemose kartais naudojamos hidraulinės sistemos. Pagrindiniai skirtumai tarp servo ir žingsninių variklių yra greitis ir pozicijos grįžtamasis ryšys. Taip pat žingsniai varikliai turi keletą minusų. Žingsniniai varikliai neturėtų būti apkrauti daugiau nei 50% nominalaus sukimo momento. Kadangi tokie varikliai turi sukimo momento priklausomybę nuo srovės tekančios vijomis, kurią lemia valdiklis. Esant didelei apkrovai gali būti „pamesti žingsniai“, o valdiklis apie tai nesupras, taip atsiranda netikslumai ar gamybos klaidos. Dar vienas minusas – rezonansas. Esant dideliems sukiamams ir įvykus rezonansui, taip pat „pametami žingsniai“. Servo pavaros veikimas kitoks. Jos analizuoja skirtumą tarp realių ir nustatytų pozicijų. Valdiklio mikroprocesorius stengiasi valdyti sukimo momentą pagal esamą srovę, kad pozicijos skirtumas būtų minimalus. Be to, servo variklio srovės perkrovos atsiranda esant maždaug nominaliam sukimo momentui, todėl staklės su servo varikliais yra žymiai galingesnės, nei staklės su žingsniniais varikliais.

1.4.1 Žingsniniai varikliai

Pozicijos grįžtamasis ryšys – tai didelis skirtumas tarp žingsninio ir servo variklių. Žingsninės pavaros valdomos impulsų sekomis pasisuka nustatytu kampu. Taip yra sukuriamas labai tikslus

pozicionavimas, tiesiogiai proporcingas impulsų skaičiui. Šiuos impulsus kuria variklio valdiklis, valdymo kamandas gaunantis iš pagrindinės valdymo sistemos. Kiekvienas žingsnis priklauso nuo variklio mechaninės konstrukcijos, dažniausiai naudojami dviejų fazių 1,8 laipsnio, arba trijų fazių 1,2 laipsnio varikliai. Šiuolaikiniai valdikliai žingsninio variklio žingsnį gali elektroniškai dalinti į mikrožingsnius. Mikrožingsnis sukuriamas maitinant variklio apvijas kintančio aukščio impulsais. Žingsnis gali būti padalintas į 32 dalis; tai yra - 0,05625 laipsnio pasisukimo kampas.. Mikrožingsnio režimu dirbantis variklis turi tikslesnį pozicionavimo kampą, be to, taip atitolinamas rezonanso reiškinys – galima pasiekti didesnę apsisukimų skaičių.

Žingsninės pavaros yra labai paprastos konstrukcijos, todėl jų kaina žema. Pagrindinis trūkumas – nesugebėjimas įvertinti pozicijos, žingsnių praradimas apsunkintomis aplinkybėmis. Įdiegus grįžtamąjį ryšį, pavyzdžiui enkoderį, šis trūkumas gali būti pašalintas, tačiau kaina ženkliai išauga.



3 pav. Sistemos su žingsnine pvara funkcinė schema.

VS – valdymo sistema

ŽVV- žingsninio variklio valdiklis

ŽV – žingsninis variklis

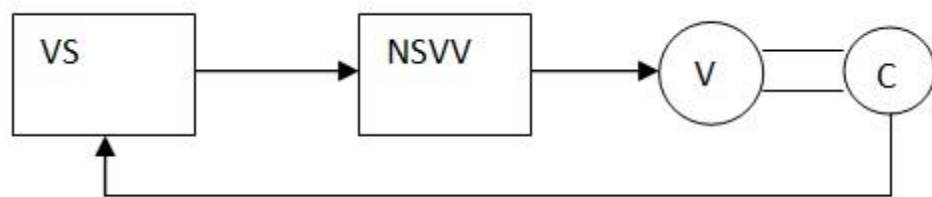
1.4.2 Servo varikliai

Servo pavaros trūkumų neturi, tačiau tai lemia gana aukštą jų kainą. Dirbant servo pavarai, stengiamasi pasiekti nulinį nuokrypį tarp nustatytos ir pamatuotos reikšmių. Padėties įrenginiai nuolatos matuoja padėties poziciją iki $\pm 0,001\text{mm}$. Taigi variklis (4 pav.) kontroliuojamas taip, kad būtų išvengta klaidų. Padidėjus apkrovai valdiklis padidina sukimo momentą, taip išvengiama pozicijos nuokrypų. Apkrovai viršijus leistina, servo sistema išsijungia apie tai pranešdama.



4 pav. Servo varikliai.

Servo pavaros būna nuolatinės srovės - DC ir kintamos AC srovės (asinchroninės arba sinchroninės). Šiuo metu dažniausiai naudojamos modernios AC asinchroninės arba sinchroninės pavaros. Iš esmės jos yra identiškos, skiriasi tik variklių tipas. Nuolatinės srovės servo pavaros nėra tokios tikslios kaip šiuolaikinės, todėl nebėra populiarios, nes grįžtamasis ryšys pajungtas ne į variklio valdiklį, o į bendrą valdymo sistemą. Dėl to pagrindinė valdymo sistema yra apkraunama papildomais judesio skaičiavimo veiksmiais. Taip susidarant vėlinimo laikui tarp judesio valdymo impulsų ir grįžtamojo ryšio. Taip pat ir patys nuolatinės srovės varikliai yra sudėtingesnės mechaninės konstrukcijos, yra greičiau nusidėvintys, todėl reikalauja santykinai dažno aptarnavimo.



5 pav. Sistemos su nuolatinės srovės DC servo pavara funkcinė schema.

VS- valdymo sistema

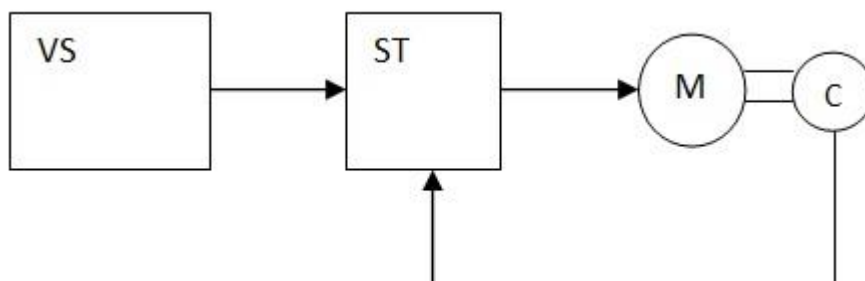
NSVV - nuolatinės srovės variklio valdiklis

V – variklis

C - enkoderis

AC servo pavarų konstrukcija yra kaip atskira valdymo sistema. Ji sudaryta iš servo valdiklio ir servo variklio, kuris būna asinchroninis arba sinchroninis. Taip pat yra įmontuotas enkoderis. Sistemos privalumas - grįžtamasis ryšys iš enkoderio yra pajungtas prie servo stiprintuvo. Taip servo

stiprintuvas realiu laiku seka variklio rotoriaus padėtį ir pagal valdymo signalus iš valdymo sistemos pozicionuoja pavarą. Tai labai patikimos ir greitos pavaros. Paprastos konstrukcijos varikliai yra ilgaamžiai ir nereikalauja beveik jokios priežiūros. Elektroniskai sudėtingas servo stiprintuvas sudaro didelę kainos dalį.



6 pav. Sistemos su kintamos srovės AC servo pavara funkcinė schema.

VS-valdymo sistema

ST-servo stiprintuvas

M-sinchroninis arba asinchroninis variklis

C-enkoderis [2]

1.5 CNC sistemose naudojami keitikliai

Paprastai yra asinchroniniai elektriniai sukliai, reguliuojami dažnių keitikliais. Pagal asinchroninio variklio veikimo principą, suklio greitis esant pastoviai apkrovai yra proporcingas srovės šaltinio dažniui, kitaip negu DC variklių atveju, kur kampinis greitis yra proporcingas įtampai. Lietuvoje srovės šaltinio dažnis - 50 Hz.

Norint keisti greitį, reikia keisti srovės šaltinio dažnį arba keisti polių porų skaičių. Polių skaičiaus padidinimas leidžia sumažinti asinchroninio variklio sukimosi greitį. Dvi polių poros duoda: $50 \text{ Hz} / 2 * 25 \text{ rps} = 1500 \text{ rpm}$, trys polių poros duoda: 1000 rpm. Tačiau toks būdas leidžia keisti apsisukimus tik žingsniais, o ne tolygiai.

Šiam trūkumui pašalinti puikiai tinka dažnio keitiklis. Pirma, keitiklis keičia kintamą srovę į nuolatinę, tada generuoja reikiamos įtampos ir dažnio kintamą srovę. Asinchroninis variklis turi pastovią amplitudinę-dažninę charakteristiką, tai reiškia, kad dažnio reikšmė turi būti pastovi maitinimo įtampos amplitudės atžvilgiu. Tai reiškia, kad keičiant asinchroninio variklio sukimosi greitį keičiant dažnį, variklio maitinimo įtampa taip pat proporcingai turi būti keičiama. Tai yra taip vadinamas U/f valdymas.

Bendros paskirties keitikliai generuoja ne sinusoidę, o laužytos stačiakampės formos srovę. Tai lemia didelius energijos nuostolius paleidžiant suklij, jis kaista, už tai greičiau dėvisi. Todėl bendros paskirties keitikliai netinkami.

Dalis CNC staklių yra sukomplektuotos naudojant dažnio keitiklij, kuris valdo suklij nepriklausomai nuo valdymo sistemos. Todėl valdymo sistema nežino suklio būklės. Suklij reguliuoti turi operatorius. Dėl šios priežasties tikslingiau naudoti CNC sistemas, kuriose keitiklis komunikuoja su valdymo sistema, todėl yra žinoma informacija apie apkrovą. Ją galima naudoti maitinimo dinaminiam reguliavimui ar klaidoms nustatyti, pavyzdžiui, suklio sustojimui. [3]

2. Programuojami loginiai valdikliai

Programuojamas loginis valdiklis – mikroprocesorių pagrindu sudarytas valdiklis, kuris gali atpažinti ir skaitmeninius, ir analoginius signalus bei juos valdyti. Valdikli sudaro signalų įtraukimo, apdorojimo ir išvedimo moduliai. Mechatroninės mašinos įėjimai darbo metu nuolatos priima informaciją iš pirminių matavimo jutiklių, sumontuotų mašinoje iš anksto projektuotojų nurodytose vietose. Pavyzdžiui, pjezoakselometrai montuojami guolių atramose tam, kad būtų nustatyti rotoriaus keliami virpesiai, jų intensyvumas, guolių techninė būklė pagal virpesių parametrus. Valdiklis apdoroja šiuos įėjimo signalus pagal logines išraiškas, pateikiamas programos operatoriaus, ir generuoja atitinkamus išėjimo signalus. Šie išėjimo signalai valdo variklius. Programuojamą loginį valdiklij sudaro universalus centrinis programuojamas mikroprocesorius, sisteminės ir taikomosios programų ir vidinio valdymo atmintis, pirminių jutiklių signalų įėjimo sąsaja ir išėjimo signalų sąsaja su tranzistoriniais programuojamais išėjimais. Programuojamas loginis valdiklis programuojamas asmeniniu kompiuteriu per matricinį programatorių.

2.1 Siemens Sinumerik

CNC staklės yra kontroliuojamos programuojamų, skaitmeninių valdiklių, žmogaus ir mašinos sąsajos darbu. Siemens yra dažniausiai naudojama profesionali valdymo sistema (7 pav.), kuri pasižymi labai patogiu ir paprastu naudojimu, gera grafine simuliacijos atvaizdavimo sistema, patogia sąsaja tarp valdymo bloko ir kompiuterių. Valdymo bloko pagrindinė atliekama funkcija yra CNC staklių pavarų valdymas nurodyta seka NC kode. Šis sinumerik valdymo blokas suteikia visas CNC frezavimo galimybes: programavimo, valdymo, vizualinės simuliacijos, sąsajos. Tai suteikia labai daug lankstumo.



7 pav. Siemens valdymo sistema.

SINUMERIK 840D sistema galima atlikti sudėtingas apdirbimo operacijas siūloma didelė funkcinė įvairovė. Sinumerik 840D skaitmeninę pavarų valdymo sistemą ir SIMATICs S120 programuojamus valdiklius. Tai kartu sudaro pažangią skaitmeninę kontrolės sistemą. Siemens sinumerik 840d turi 32 bitų mikroprocesorių, gali aptarnauti iki 5 ašių vienu metu. Yra įdiegta spline interpoliacija, 3D simuliacija, medžiagos likučio aptikimas, 3D įrankio kampų apvalumų kompensacija, kinematinė verčių matavimas, tūrinė kompensavimo sistema, USB ir Ethernet sąsajos. sistema gali dirbti 10 kanalų, kuriais aptarnauti iki 31 darbinės ašies. Yra 12GB kietąjį diską ir priima programą iki 15MB. Klaidos rodomos perspėjančiais signalais ir pavojaus signalais. [4]

Dažnai CNC programos kuriamos ne staklių programine įranga, o personaliniuose kompiuteriuose įdiegtais CAM programų paketais. Sukurtas programos turime perkelti į staklių valdymo sistemą, tam reikalinga sąsaja tarp kompiuterio ir CNC mašinos. Dažniausiai sutinkamos dviejų tipų sąsajos:

1. USB (Universal Serial Bus) protokolas skirtas išorinių įrenginių prijungimui ir duomenų perdavimui. Tai standartinis prievadas sukurtas, naudoti su įvairių rūšių aparatine įranga.
2. Ethernet - kompiuterių tinklų technologija vietiniams tinklams (LAN). Labai patogi sąsaja, kompiuteris yra tiesiogiai sujungtas su CNC staklėmis. Informacija labai patogiu dalintis

Svarbiausios valdymo funkcijos: AUTO – tai automatinis režimas, skirtas atlikti sukurtą programą ir ją įvykdyti, AUTO COOLANT automatiškai įjungia programiškai nustatyta aušinimą. JOG ir RAPID – tai funkcijos rankiniu būdu keisti frezavimo staklių ašių pozicijos. Skirtumas tarp šių funkcijų yra tas, kad JOG funkcija leidžia keisti koordinates darbinėmis pastūmomis, o RAPID – laisvomis, tai leidžia daug greičiau keisti staklių darbinės dalies padėtį. MDA (Manual Data

Automatic) – rankiniu būdu įvedamų operacijų vykdymas. SPINDLE START/ STOP - suklio sukimosi sustabdymas, paleidimas.

3. Programos sandara

CNC staklės yra valdomos valdikliais, o šie programavimo kalba. Kalba skirta valdyti programuojamas stakles yra vadinama G kodu arba NC (numerical control) kodu. Programa yra sudaryta iš įvairių komandų surašytų eilės tvarka, kuria bus gaminama detalė. CNC mašina įvykdo visas užduotas komandas, taip pagaminama norimos formos bei matmenų detalė. Vis dėlto G kodas turi daugybę atmainų. Tai reiškia, kad vienos staklės nesupras kitoms staklėms skirtos programos. Šie skirtumai yra dėl skirtingos staklių sandaros. Pavyzdžiui skiriasi esančių darbinių ašių skaičius, naudojami valdikliai.

Kodas susideda ne tik iš judesių susietų tarp apdirbamos medžiagos ruošinio, bet ir įrankių keitimo, aušinimo, pauzių ir kitų funkcijų. Taigi visi duomenys suvesti NC kode užtikrina visišką datalių gamybos automatizavimą CNC staklėmis.

Programos eilutėse paprastai įvedama informacija:

- Koordinatiniai ir judėjimo nurodymai, kurie nurodo kaip judės staklės (ryšį tarp dirbančio įrankio ir medžiagos ruošinio), parenkamas staklių greitis (darbinė arba laisvoji pastūma), judėjimas rato spinduliu ar tiesiai ir kita.
- Darbiniai parametrai, kurie nurodo CNC staklių pastūmos greitį, apsisukimų skaičių
- M funkcijos. Tai funkcijos G kode (CNC staklių programavimo kalba) nurodančios atlikti tam tikrą komandą, pavyzdžiui: pakeisti įrankį, baigti programą, pristabdyti programą, įjungti aušinimą ir kitos.
- Kompensacijos, kurios nurodo naudojamo įrankio ilgį, diametro pokytį dylant įrankiui, įrankio kampų apvalumą.

Tobulėjant CNC įrenginiams tobulėjo ir programavimo kalba, tapo glaustesnė. Tačiau pagrindinės komandos išlieka tos pačios. Taip pat išlieka ir programos loginė struktūra, formatas. NC programavime yra keturi pagrindiniai terminai:

1. Simbolis – trumpiausias programos vienetas atitinkantis vieną bitą. Iš viso naudojami trijų tipų ženklai, tai skaičiai, raidės ir simboliai. Visi jie bendrai susidaro programos žodžius. Skaičiai nurodo koordinates, greičius, naudojami programos blokams žymėti ir panašiai. Naudojamos 26 anglų kalbos abėcėlės raidės, kurios yra ir valdymo pultuose, paprastai rašomos didžiosios, nors kai kurie valdikliai supranta ir mažąsias. Naudojamos programos funkcijoms pasirinkti, pavyzdžiui T nurodo įrankį, F darbinę pastūmą ir kita. Vis dėlto visos 26 raidės naudojamos tik komentarams rašyti. Naudojami ir kai kurie simboliai, taškas – dešimtainėms trupmenoms rašyti, skliausteliai, minusas ir kita.
2. Žodis – juos sudaro simbolių deriniai, atitinkantys tam tikras komandas. Paprastai visi žodžiai prasideda tam tikra raide, o po jos eina skaičius. Žodžiai programoje paprastai atskiriami tarpais, staklės kodą supranta ir be tarpų, todėl tarpai skirti operatoriui, kad programą būtų paprasčiau skaityti.
3. Blokas (eilutė) – sudaryta iš vieno ar keletos žodžių. Blokas tai yra viena sudėtinė komanda, kuri atliekama iš karto vienu metu. Todėl rašant komanda eilutes atskirti yra būtina, kitaip staklės atliks nepageidaujamus veiksmus arba nesupras komandos. Programos eilutės atskiriamos kabliataškiu arba yra tiesiog rašomos iš naujos eilutės.
4. Programa – blokų derinys. Programos sandara gali šiek tiek skirtis, bet jos loginė struktūra visoms staklių valdymo sistemos lieka ta pati.

3.1 Programavimo formatas

CNC sistemose naudojamas vienos raidės, vieno arba kelių skaitmenų ir gali būti naudojami ženklai (X-100.). Taigi žodžio raidė yra kreipinys, kuriuo kreipiamasi į specialų registrą programinio valdymo įrenginio atmintyje. Kreipinys turi būti žodžio pradžioje, kitaip staklės nevykdys komandos.

Skaičius žodyje, esantis po raidės, gali reikšti eilutės numerį, kai yra po raidės N, kodo numerį – po raidžių G arba M, įrankio numerį – po raidės T ir panašiai. Valdymo sistemos niekada blokų neskirsto dalimis, todėl žodžių eiliškumas paprastai neturi jokios reikšmės.

3.2 Pagrindiniai šiuolaikinių CNC sistemų ženklai

Pagrindiniai CNC frezavimo staklėms naudojami adresai – kreipiniai:

- A – sukimosi ašies kampinės koordinatės apie X arba papildomą ašį;
- B – sukimosi ašies kampinės koordinatės apie Y ašį;
- C – tiesioginiai nurodomo nuožulnos dydžio adresai;

- D – įrankio skersmens kompensacija;
- E – nurodo kontūro frezavimo tikslumą – didžiausią kampų suapvalinimo spindulio reikšmę;
- F – darbinė pastūma;
- G – paruošimo komandos (G kodai);
- H – įrankio ilgio kompensacija;
- I – naudojamas programuojant apskritiminį judesį, jo trajektorijos centrui apie x ašį apibrėžti.
- J – naudojamas programuojant apskritiminį judesį, jo trajektorijos centrui pagal Y ašį apibrėžti;
- K - naudojamas programuojant apskritiminį judesį, jo trajektorijos centrui pagal Z ašį apibrėžti;
- L – ciklą ir paprograminių atlikimų skaičiui nurodyti;
- N – programos eilutės numerio adresas;
- O – programos pavadinimas;
- P - Adresas naudojamas paprogramės numeriui programoje nurodyti iškviečiant ją iš programos, pauzės trukmei programuoti (taip pat ir vidinių ciklą), mastelio koeficientui programuoti, koordinacių pradžios numeriui programuoti, kompensacijų reikšmėms iš programos perduoti, be to, naudojamas kreipimuisi į programos eilutę, nuo kurios tęsti toliau programos vykdymą;
- Q – poslinkių pagal staklių koordinacių ašis priaugiui nurodyti staklių vidiniuose cikluose, grąžto pertraukiamos eigos dydžiui nurodyti staklių gręžimo ir kapojimo cikluose;
- R – naudojamas įrankių atitraukimo pozicijai nurodyti;
- S – suklio sūkliai per minutę;
- T – įrankio numeris;
- U – naudojama tik komentarams rašyti;
- W – naudojama tik komentarams rašyti;
- X – trajektorijos taško X koordinatė;
- Y – trajektorijos taško Y koordinatė;
- Z – trajektorijos taško Z koordinatė.

Pagrindiniai CNC frezavimo staklėms naudojami simboliai:

- (.) – dešimtainės trupmenos ženklas atskirti trupmeninei daliai;
- (+) - pliuso ženklas skirtas sudėti reikšmėms arba parodyti reikšmės teigiamumą;
- (-) – minuso ženklas skirtas atimti reikšmėms arba nurodyti jos neigiamumui;
- (*) – dauginti reikšmes makroprogramose;

- (/) – dalinti reikšmes makroprogramose arba atskirti eilutėms, kurių CNC sistema nevykdys, jei aktyvus eilučių praleidimo režimas;
- () – skliaustai skirti programų komentarams arba ciklų reikšmėms surašyti;
- (%) – programos pradžia ir pabaigai žymėti;
- (,) – kartais naudojamas nurodant spindulio ar nuožulnos dydį, atsirti ciklui skirtoms reikšmėms apibūdinti arba komentaruose;
- ([]) – argumentai makroprogramose;
- (;) – bloko pabaigos simbolis;
- (#) – intamieji programose;
- (=) – lygybė makrokomandose.

Vienas labiausiai paplitusių simbolių - minuso ženklas. Programuojant Dekarto koordinatinių sistemoje koordinatės gali būti teigiamos arba neigiamos. Programuotojų patogumui visuose programinio valdymo įrenginiuose pliuso ženklas yra nebūtinai teigiamoms reikšmėms nurodyti.

Anksčiau programos būdavo rašomos ranka arba mažų galimybių programinėmis įrangomis. Šiais laikais NC programas ruošti daug paprasčiau, tam yra naudojama vizualinė programinė įranga.

3.3 CNC staklių programinė įranga

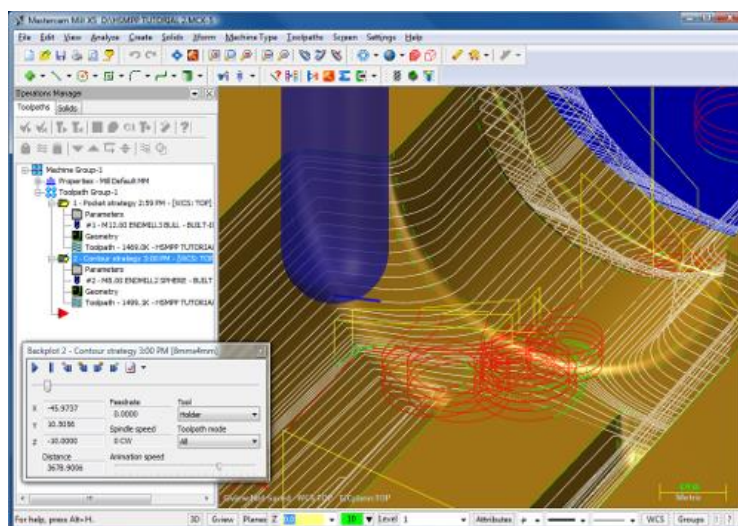
Kurti šiuolaikinių CNC staklių valdymo programas galima tiesiog operatoriaus vietoje. Tam nebereikia ranka rašyti tekstinio kodo, daugumoje naujų staklių yra įdiegtos vizualinio programavimo sistemos. Jų galimybės priklauso nuo sistemos gamintojo. Įvedant reikalingus duomenis į dialogo langą, gaunamas tekstinis programos kodas, kurį galima iš karto leisti staklėms vykdyti, jį redaguoti tekstiniais redaktoriais ar įterpti sukurta programos kodą į jau anksčiau sukurta programą. Kai kurios staklių vizualinio programavimo sistemos siūlo daugelį gamintojų, o kai kurie jas labai išstobulino, taigi jos tapo pagrindiniu programavimo būdu. Tekstinis redagavimas yra tik pagalbinė funkcija.

3.4 Mastercam programinė įranga

Mastercam tai daugelį metų tobulinama CNC ir CAM (Computer-Aided Manufacturing) profesionali, universali, labiausiai pasaulyje paplitusi programinė įranga. Ja galima atlikti visapusiškai profesionalų detalių frezavimą. Nuo dvimačių kontūrų iki sudėtingų projektų 5 ašių staklėmis. Pritaikius reikalinga post procesorių, programinė įranga tiks visoms CNC staklėms. Kadangi post procesorius, tai dalis programinės įrangos, skirtos konkrečiai valdymo sistemai, sukurianti tai

sistemai suprantamą NC kodą. Taip pat mastercam turi simuliacinę sistemą, taigi labai patogų tiek besimokant, tiek dirbant realiomis CNC staklėmis. Mastercam turi plačias staklių, įrankių, ruošinių medžiagų bibliotekas. Taip pat yra integruotas G ir M komandų paketas, programuojamų darbo ciklų aprašymo galimybes. Testuojant vizualine sistema, programinė įranga parodo, jei įrankis užkliudo ruošinį padarius klaidą programoje.

Mastercam programinė įranga (8 pav.) gali paruošti frezavimo programas staklėms net iki 5 ašių, pagrindinėms X, Y, Z ir sukamosioms A/B ir C.



8 pav. Mastercam programinės įrangos simuliacija.

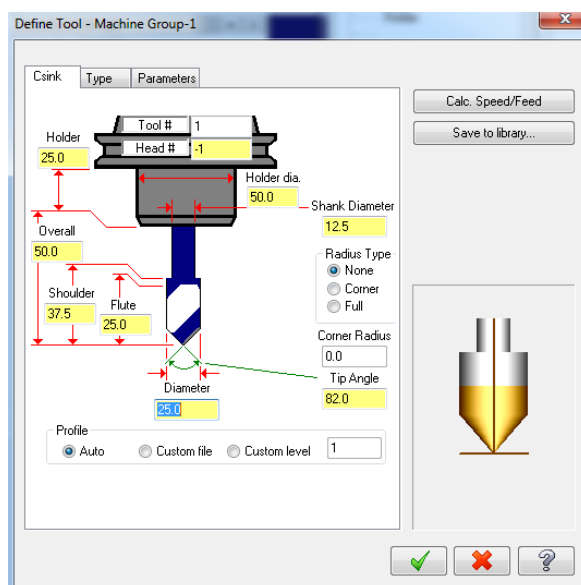
3.5 CNC programų ruošimas Mastercam programine įranga

Pirmiausia pradedant darbą prieš programos kūrimą būtina pasirinkti stakles iš programoje esančio katalogo, kokiomis bus dirbama. Tai gali būti trijų, keturių ar penkių ašių staklės. Nuo to kokiomis staklėmis bus pasirinkta kurti programą ir priklauso jos kūrimas, naudojamos frezavimo funkcijos ir kita. Tuomet įkeliamas gaminio modelis arba jis sukuriamas programinėje įrangoje esančiomis funkcijomis. Galima kurti tiek dvimatį brėžinį, tiek trimatį modelį. Žinoma patogiau dirbti yra turint trimatį detalės modelį, tačiau tai patogiau ir paprasčiau atlikti kitomis programinėmis įrangomis.

Atlikus šiuos žingsnius pradedamas darbas susijęs su staklių programavimu. Pirmiausia nurodomi geometriniai parametrai. Nurodžius šiuos parametrus bus patogiau dirbti, kadangi bus matomas ruošinio gabaritas, parinkti geresni apdirbimo parametrai. Taip pat naudojant simuliaciją, ji bus tiksliai atvaizduota, nenurodžius ruošinio gabarito, simuliacija gali tapti neaiški. Tuomet turime suorientuoti detalę taip, kaip ji stovės staklėse. Reikia įvertinti tai, kad darant sudėtingas detales, apdirbus vienas jų puses, gali praktiškai būti nebeįmanoma baigtį jų gamybos arba ji taps

sudėtingesnė. Todėl būtina suplanuoti visą detalės gamybą nuo pat pradžių iki pat pabaigos prieš pradėdant darbą.

Toliau pasirenkama viena ši norimų atlikti funkcijų. Tai gali būti bet kokia operacija, kurią galima, yra patogu ir tikslinga atlikti. Tai gali būti gręžimas, grūbus frezavimas, paviršiaus apdirbimas ir panašios operacijos. Pasirinkus operaciją reikia nurodyti kur ji bus atliekama, pavyzdžiui: norime išgręžti tam tikras skylės. Pirmiausia jas turime pažymėti brėžinyje ar modelyje. Jeigu norime atlikti frezavimo darbus, tuomet reikia turime pasirinkti modelio paviršius arba kontūrus (kraštines). Pasirinkus norimas pozicijas turėsime nustatyti visus reikiamus parametrus. Visų pirma iš įrankių bibliotekos parenkamas įrankis, kuriuo bus atliekama nurodyta operacija. Jeigu tokio įrankio nėra, galima sukurti jį, pasirenkant įrankio tipą ir aprašant visus jo parametrus (9 pav.). Pasirinkus darbo įrankį nustatomi darbiniai jo parametrai – tai sukimosi greitis, darbinės pastūmos, žingsnių skaičius ir dydis, aušinimas, jo tipas bei kita.



9 pav. Aprašomi įrankio parametrai.

Darbiniai parametrai labai priklauso nuo įrankių tipo, kokybės bei apdirbamos medžiagos. Kuo kokybiškesni įrankiai, tuo greičiau bus galima pagaminti detalę. Svarbiausia nustatyti tinkamus darbo režimus, nuo jų priklausys detalės paviršiaus švarumas, tai kaip greitai sudils įrankiai.

Tokiu būdu kuriama vieną operaciją po kitos yra sukuriama vientisa programos seka. Sukūrus pilną apdirbimo programos operacijų seką, ypač sudėtingos detalėms yra naudinga paleisti darbo simuliaciją. Joje matome kaip atrodys pagamintas produktas, parodo jei įrankis neprognozuotai atsitrenkia į ruošinį. Pritaikius tinkamą post processor'ių naudojamoms staklėms, sugeneruojame kodą, kuriuo ir bus valdomos CNC staklės.

Ruošiant programą yra pasirenkami įrankiai kuriais bus dirbama ir nurodomi jų numeriai. Pagal NC kodą staklės iškvies tą įrankį, kuris bus nurodytas. Todėl įrankių numeriai programoje ir staklėse

privalo sutapti, kitaip bus iškvieštas nepageidaujamas įrankis netinkantis operacijai, taigi gali būti sulaužytas ir įrankis ir sugadintas medžiagos ruošinys. Ruošinio koordinatės taip pat turi sutapti su programoje nurodytomis koordinatėmis.

3.6 Programos redagavimas ir klaidos

Kuomet viskas sureguliuota ir NC kodas yra paruoštas reikia jį perkelti į stakles. Tam naudojamos anksčiau darbe minėtos sąsajos. Staklėse pasirenkame šią naują programą ir galime ją paleisti. Staklėms baigus vykdyti programą detalė yra išmatuojama. Kartais nutinka taip, kad reikia įvesti tam tikrų korekcijų programoje. Taip nutinka, jei matmenys nėra tikslius ar įrankis dirba ne taip kaip norėta. Kad nereikėtų koreguoti programos koreguoti kompiuteriu, iš naujo jos siųsti, korekcijas galima atlikti CNC staklių valdymo bloku.

Pirmiausia surandama vieta, kurią reikia pakoreguoti. Tai patogiu daryti pagal eilutės numerį, nes paprastai visos programos eilutės būna sunumeruotos. Taigi turime nueiti į tą programos bloką, tai galima padaryti valdymo pultuose esančiais rodyklių mygtukais arba naudojant paiešką. Dažniausiai paieška skirtingai nuo kompiuterinės paieškos ieško ne sutampančių simbolių, o sutampančių programos žodžių. Taigi įvedus eilutės numerį paieška suras būtent tą vietą, kurią norima koreguoti. Koreguoti programos žodžius galima tik tada kuomet programa yra išjungta, tai reiškia jos koreguoti staklėms ją vykdančią – neįmanoma. Korekcijos įvedamos rašant ar trinant programos žodžius.

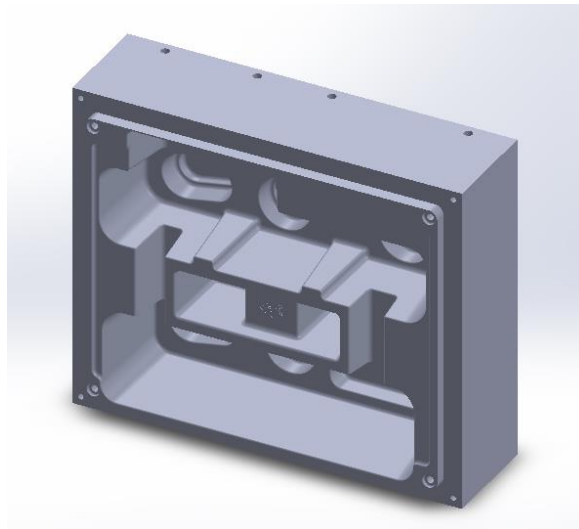
Lygiai tokia pati procedūra vykdoma kuomet CNC mašina parodo programos klaidą. Tai reiškia kad yra užduotas negalimas arba nesuprantamas veiksmas. Tokiu atveju taip pat reikia atlikti korekciją. Vis dėlto jeigu reikalingos didelės korekcijos tą paprasčiau atlikti kompiuteriu programinėje įrangoje, kartais tai vienintelis realus programavimo būdas.

4. CNC staklių programavimas

Darbo tikslas – sukurti programą skirtą valdyti CNC stakles. Pasirinkta staklių valdymo sistema yra siemens sinumerik 840D. Sukurta programa bus automatiškai pagaminti liejimui skirta forma. Taigi darbo uždaviniai yra: parinkti darbui tinkančius įrankius, sukurti programą Mastercam programiniu paketu, sugeneruoti NC kodą suprantamą valdikliui.

4.1 Gaminio apžvalga

Gaminys - liejimo forma (10 pav.). Jai pagaminti naudota medžiaga – aliuminis, plačiausiai paplitęs metalas žemėje. Pasižyminti tokiomis savybėmis kaip: lengvumas, elektros ir šilumos laidumas, atsparumas korozijai aliuminis plačiai naudojamas visose pramonės šakose.



10 pav. 3D liejimo formos modelis

Šiandien aliuminis keičia plieną, varį, plastiką, medį ir pan., o profiliai- liejinius ir kitus konstrukcinius elementus. Ekstruzijos technologijos pagalba gaminami aliuminio profiliai leidžia tobulinti gaminius, kurti estetišką, individualų dizainą, todėl puikiai tinka liejimo formos gamybai. Pati forma turi tuštumą, pripildomą skystos medžiagos, kuri aušdama ir kietėdama įgyja reikiamą formą, matmenis. Į ją dedami vienkartiniai, pagaminti iš kvarcinio smėlio su rišikliu ar sintetinė derva, ar metaliniai gurgučiai vidaus tuštumoms ir gilioms įduboms liejinyje sudaryti. [5]

Liejimo forma būna:

- vienkartinė – panaudota vieną kartą suardoma,
- pusiau patvari – atlaiko iki 150 liejimų;
- patvari, naudojama daugkartiniam liejimui.

Dažniausiai naudojamos vienkartinės formos: formavimo mišinių (formavimas) ir kevalinė, sukepinama iš kaitrai atsparios medžiagos su termoreaktyviąja derva; tinka nedideliems tikslių ir glotnių paviršių liejiniam. Rečiau naudojamos pusiau patvarios liejimo formos, gaminamos iš keraminių ar plastikinių medžiagų. Patvariose formose daugiausia didelėmis serijomis ar masiškai liejama slegiant. Tai kokilė – metalinė forma, sudaryta iš dviejų ar daugiau pusformių, gali būti išardoma ir presavimo forma – metalinė forma, turinti vieną ar kelias formuojamąsias plokštumas, atitinkančias liejinio konfigūraciją; jungiama su šalta ar karšta presavimo kamera. [6]

4.2 Medžiagos ruošinys

Pirmiausia turiu parinkti medžiagos ruošinį, iš kurio bus išfrezuota liejimo forma. Gaminio gabaritiniai matmenys yra 360x300x108 mm. Visi gaminio paviršiai privalo būti apdirbti, todėl

aliuminio ruošinys turi turėti užlaidas – būti didesnis nei yra gaminio gabaritiniai matmenys. Kadangi darbas yra vykdomas CNC staklėmis – didelio tikslumo mašina, o koordinatės nustatomos naudojant specialų mašininį indikatorių (11 pav.), kurio tikslumas $\pm 0,005\text{mm}$, medžiagos ruošinio užlaidų X ir Y ašimis reikia nedidelių 362x302mm. Z ašimi užlaida reikalinga didesnė, nes bus apdirbamas medžiagos viršus, o apačia suimama spaustuvu, todėl reikalinga užlaida spaustuvui suimti medžiagos ruošinį. Taigi reikalingas aliuminio ruošinys turi būti 362x302x115mm.



11 pav. CNC staklėms skirtas indikatorius

4.3 Gamybos būdas

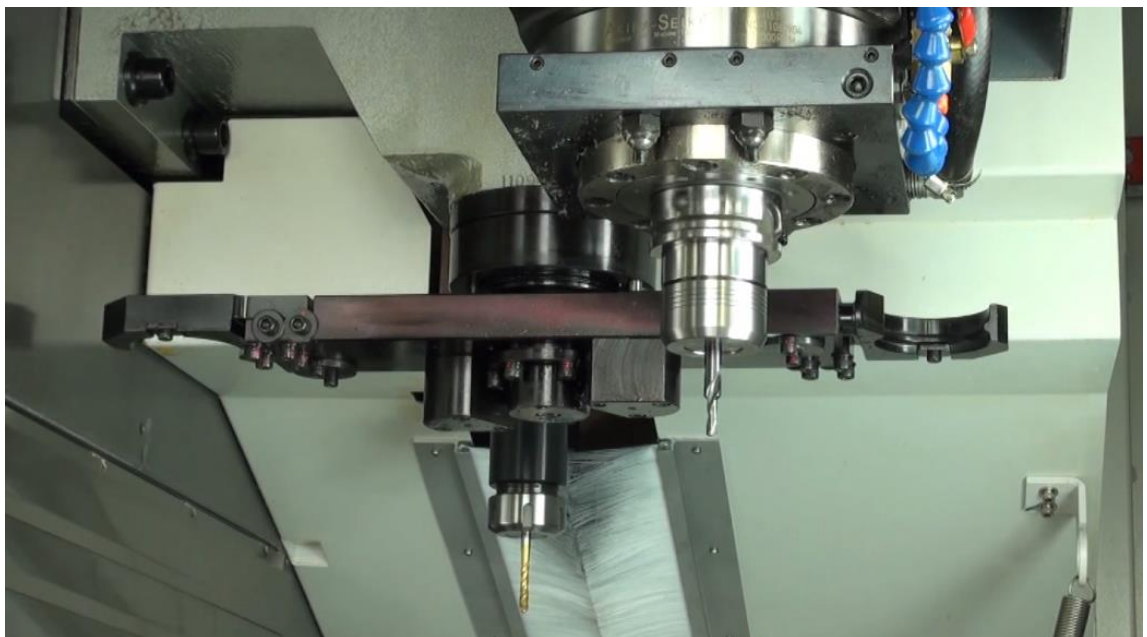
Pirmiausia reikia gerai išanalizuoti darbą, nuspręsti kokiais įrankiais ir kokiomis staklėmis bus gaminama detalė. Gaminys yra ganėtinai didelis, todėl formai gaminti pasirinkau 3 ašių stakles. Gaminiai pagaminti reikės 3 pastatymų, gaminys bus apverčiamas tarp gamybos žingsnių. Pirmuoju pastatymu bus apdirbamas visas liejimo formos paviršius. Antruoju pagaminta formos pusė bus apverčiama aukštyne kojomis, nufrezuojamas formos dugnas ir padaromos skylės skylės ir profrezavimai varžtų galvutėms. Trečiuoju pastatymu forma bus statoma šonu ir gręžiamos skylės skirtos aušinimui.

Gamybos procesas. Įrankiai, koordinatės:

1. Norimo gaminio brėžinio ir trimačio modelio išanalizavimas tam, kad būtų parinkti tinkami gamybos būdai, operacijos, jų parametrai ir seka.
2. Skaitmeninį kodą (CNC staklių programą) gali parašyti pats operatorius, rašydamas NC kodą. Tačiau kuo sudėtingesnė detalė, tuo sudėtingesnis ir kodas. Įvairiems trimačiams paviršiams parašyti skaitmeninį kodą yra praktiškai neįmanoma, todėl yra naudojamos įvairios grafinės programinės įrangos, tokios kaip mastercam, powermill ar solidcam.
3. Priklausomai nuo gaminamos detalės reikia parinkti apdirbimo įrankius (grąžtus, frezas ir kt.), darbo parametrus (grubų apdirbimą, „švarų“ apdirbimą, įrankio sukimosi greitį ir kt.).
4. Sukurtos programos patikrinimas peržiūrint simuliaciją. Pažiūrėjus simuliaciją matome ar sukurta programa atitiks norimus rezultatus, jei ne, reikia koreguoti operacijas.

5. Sukūrus programą yra sugeneruojamas skaitmeninis kodas, pagal kurį dirbs staklės.
6. Jei kodas buvo kurtas kompiuteriu, o ne pačiose staklėse esančia programine įranga (ne visos staklės ją turi), reikalinga sąsaja perkelti sugeneruotą kodą į valdiklį. Dažniausiai naudojamos sąsajos yra USB portas ir tinklo plokštė.

Visų pirma darbas pradedamas CNC staklėmis. Į stakles įdedamas spaustuvas, kuriame išspaudžiame medžiagos ruošinį. Tiksliam darbinių koordinačių nustatymui naudosime indikatorių. Dažniausiai CNC staklėse yra naudojama dvigubo įrankių griebtuvo keitimo sistema. Tai leidžia greičiau apkeisti įrankius, kas yra svarbu gaminant didelius užsakymus. Įrankiai yra sudėti įrankių magazine, kur kiekviena ola skirta įdėti įrankiui yra sunumeruota. Tačiau šie numeriai neatitinka įrankio numerio, kuris nurodomas kuriant NC programą. Taip yra, nes keičiant įrankius dvigubu įrankių griebtuvu (12 pav.), jie yra perdedami į vis kitą olą, pavyzdžiui: įrankis buvęs pirmoje oloje po apkeitimo bus staklių suklyje, o įrankis iš suklio bus perdėtas į pirmą olą. Taigi įrankio vieta magazine pasikeičia, tačiau įrankio numeris visuomet lieka pastovus. Taigi norint išsikviesti indikatorių, staklių valdymo pulte turime pasirinkti MDA (manual data automatic) režimą. Į komandos langą yra įvedama T raidė ir įrankio numeris bei M6 kodas, pavyzdžiui: T1 M6. T1 nurodo atsukti pirmą įrankį, o M6 įrankių apkeitimą.



12 pav. Dvigubas įrankių keitimo griebtuvas.

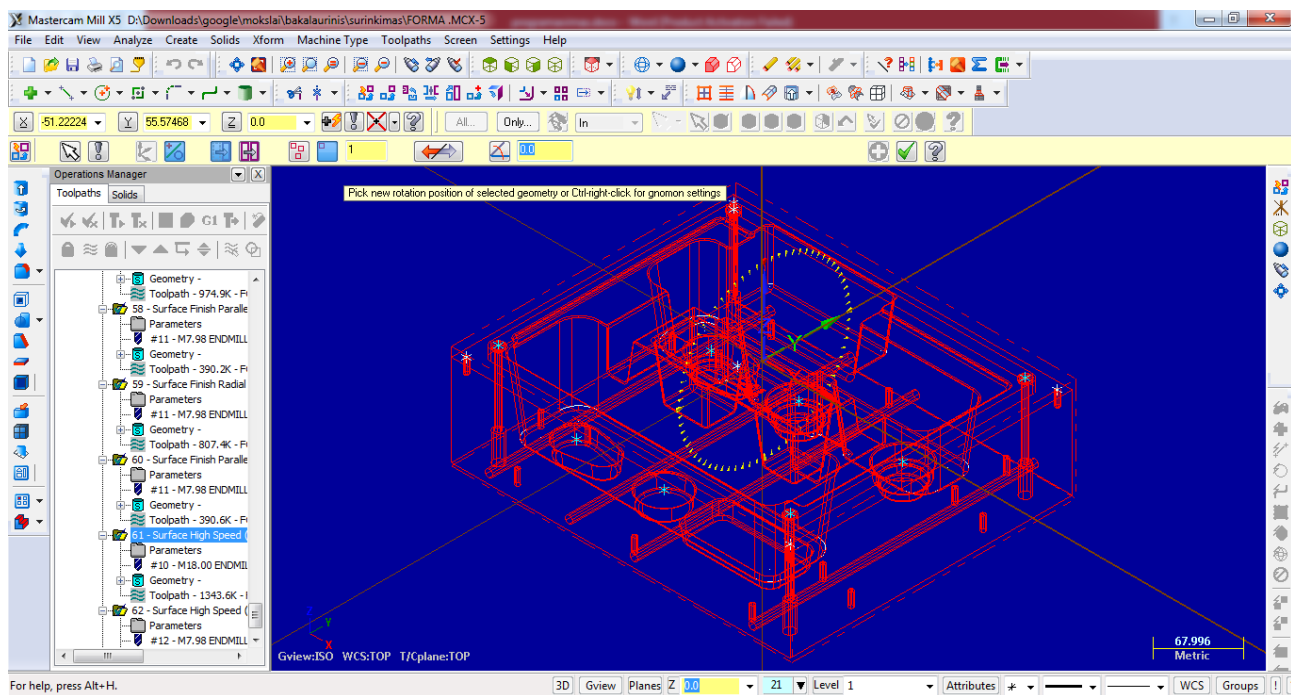
Tokiu būdu reikia sudėti visus reikalingus įrankius: grubaus apdirbimo, švaraus apdirbimo frezas, grąžtus ir kitus. Dalis modernių staklių pačios nustato įrankių ilgus, kitose tai reikia padaryt staklių operatoriui. Įrankio ilgio nustatymui reikia būti parinkus vieną iš koordinačių sistemų, tam naudosime G54 sistemą. Šį kodą G54 įvedame į komandos langą ir paspaudžiame start. Jei

koordinacių sistema buvo kita, ji bus perjungta į G54 – pagrindinę koordinacių sistemą. Indikatoriumi lygiame paviršiuje reikia nustatyti Z0. Įdėjus naują įrankį jis yra privedamas iki to pačio paviršiaus ir labai tiksliais Johansono kaladėlėmis nustatomas įrankio aukštis nuo paviršiaus. Jei naudojame 5mm kaladėlę, tuomet darbinėse koordinatėse turi rodyti Z5, kitu atveju meniu *offset>tool length* įvedamas skirtumas kompensuoti atstumui. Tokiu būdu į stakles yra sudedami visi įrankiai ir nustatomas jų ilgis. Visus sudėtus įrankių numerius ir jų parametrus vėliau reikės surašyti kuriant NC programą staklėms.

Indikatoriumi dar turime nustatyti ruošinio koordinates. Iš šonų prilietus ruošinį X ašimi taip, kad indikatorius rodytu 0, X koordinatę taip pat nustatome 0. Tuomet iš kitos pusės X ašimi padarome tą patį, tik rezultatą padaliname iš dviejų. Tuomet X koordinatė bus nuimta nuo ruošinio vidurio. Taip pat padarome ir su Y ašimi. Z koordinatė yra parenkama nuo ruošinio viršaus ir paleidžiama žemyn, tam kad būtų apdirbtas medžiagos viršus.

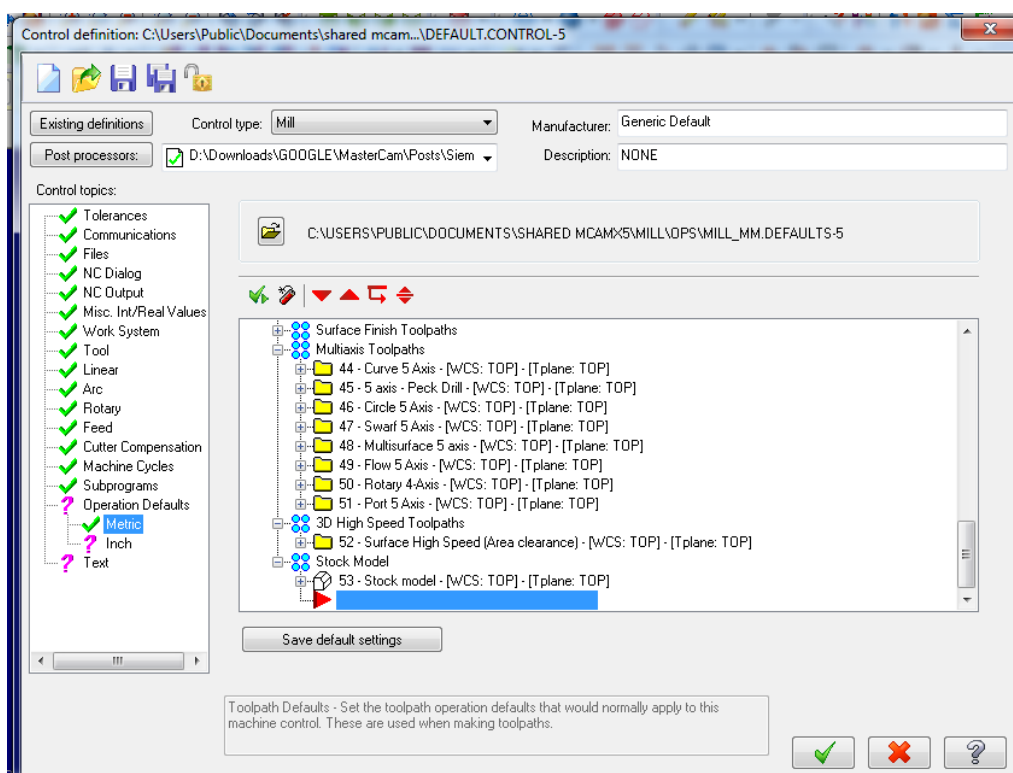
4.4 Pagrindiniai nustatymai Mastercam programine įranga

Programa *Mastercam* atidaromas sukurtas 3D modelis. Modelis programoje turi būti suorientuotas taip pat, kaip jį apdirbinėsime ir statysime į stakles. Tam naudoju komandą *xform>dynamic xform* (13 pav.). Pažymėjus kompiuterinį modelį, galiu keisti jo padėtį koordinacių sistemoje, jį apversti, pasukti. Tinkamai suorientavus gaminį, komanda yra patvirtinama. Pradžios tašku parenkamas modelio vidurio taškas viršutinėje modelio dalyje.



13 pav. 3D gaminio modelio orientavimas Mastercam programinėje įrangoje.

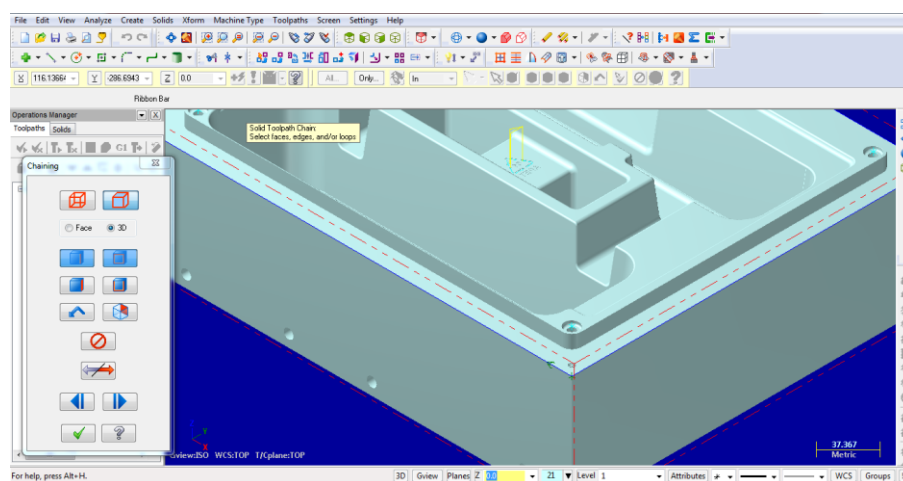
Antras žingsnis yra nustatyti kokiomis staklėmis bus dirbama, parinkti joms tinkamą kodo generatorių (post processor). Stakles galiu rinktis iš tam skirtos programinėje įrangoje įdiegtos staklių bibliotekos. Biblioteką atidaroma *machine type>mill>manage list*. Iš visų staklių sąrašo išsirinkau man tinkamas, trijų ašių, vertikalaus frezavimo (kuomet staklių suklys yra fertikalus) stakles *Mill 3 – axis VMC MM.MMD-5*. Parinkus stakles būtina joms pritaikyti programinio kodo generatorių, kuris dažnai gaunamas kartu su staklių valdymo sistema. Šie generatoriai yra skirtingi, nes skiriasi gamintojo valdymo sistemos, metai (vis tobulėjant valdymo sistemoms, kalba tapo glaustesnė), staklių ašių skaičius, todėl ir NC kodai yra skirtingi. Pirmą kartą naudojant naują kodo generatorių turėjau jį importuoti į programą ir parinkti jo nustatymus. Kodo generatorius įkeliamas *settings>control definition manager*. Atsivėrusiame lange paspaudus mygtuką *post processor*, atsiveria langas su jau naudojamais kodo generatoriais. Kadangi kodo generatorių naudoju pirmą kartą, todėl spaudžiau *add files* ir pasirinkau siemens valdymo sistemai skirtą kodo generatorių. Kairiajame dialogo lango krašte yra visas stulpelis nustatymų, kuriuos reikia parinkti (14 pav.). Nustatymus palikau numatytuosius, jie yra universalūs ir mano darbui bei staklėms tinkantys. Pasirinkta tik metrinė matavimo sistema. *Settings>machine definition manager* pasirinkau jau įkeltą ir visus reikiamus nustatymus turintį kodo generatorių.



14 pav. Kodo generatoriui parenkami nustatymai.

4.5 Liejimo paviršiaus ir gabaritų apdirbimas

Programą pradėjau viršaus apdirbimo ir išorinio gabarito formavimo operacijomis. Visų pirma pasirinkau apdirbti gaminio viršų – nufrezuoti nereikalingą medžiagos kiekį. Tam pasirinkau operaciją *toolpaths>face* operaciją. Kad programa suprastų kokio dydžio plotą norima nufrezuoti pasirinkau trimačių kontūrų žymėjimo galimybę ir pažymėjau detalės išorinį kontūrą (15 pav.). Patvirtinus pažymėtą kontūrą atsiranda parametrų dialogo langas, kuriame yra gausybė įvairiausių funkcijų, tačiau ne visos yra reikalingos. Išanalizavau tik reikalingus – būtinus žinoti ir nustatyti parametrus. Taigi visos operacijoms būtini ir tas pačias reikšmes turintys nustatymai – įrankio nustatymai (*tool* lango skiltis). Čia iš įrankių bibliotekos parenkamas įrankis, kuriuo bus atliekama operacija. Iš atsivėrusio įrankių sąrašo išsirenkau tinkantį įrankį - 20 milimetrų skersmens frezą plokščiu dugnu (*flat endmill*). Paspaudus du kart ant įrankio galime nustatyti jam reikalingus parametrus. Nurodžiau jo skersmenį, ilgį, ašmenų ilgį, pagal gamintojo nurodytą kodą internete surandau įrankio darbinis parametrus. Tai yra *feed rate* – frezavimo pastūma milimetrais per minutę ir *spindle speed* – suklio apsisukimų skaičius per minutę. Nustatyti *spindle speed* – 10000rpm ir *feed rate* – 2500mm/min. Nuo šių parametrų labai priklauso apdirbamo paviršiaus švarumas, įrankių dylimas ir tai, ar nebus sulaužytas įrankis parinkus netinkamus nustatymus. Nurodomas *plunge rate* – greitis, kuriuo įrankis leis nuo nurodyto darbinės pastūmos aukščio. Toliau būtina nurodyti įrankio numerį, kuris atitiks įrankio numerį staklėse. Mano naudotoje Siemens Sinumerik valdymo sistemoje nurodyti ilgio ar skersmens kompensacijos numerius nebūtina.



15 pav. Žymimas išorinis kontūras 3D modeliams skirtu žymėjimu.

Kita reikalinga ir labai svarbi parametrų skiltis yra *cut parameters*. Čia numatytasis parametras yra *one way* frezavimas. Tai reiškia, jog frezavimas vykėtų iš vienos pusės, įrankis kas kartą atsitrauktų ir nieko nedarydamas grįžtu atgal. Todėl aš renkuosi *zigzag* frezavimą, taip bus frezuojama iš abiejų pusių, todėl operacija bus atlikta greičiau. *Max stepover* – palikau numatytąjį nustatymą – 75%. Tai reiškia, kad freza apdirbinės paviršių 75 procentais savo skersmens.

Būtina nustatyti *linking parameters* skilties nustatymus. Čia nustatomi visi reikalingi darbui atlikti aukščiai. Jei nustatymui nebus atlikti ar bus atlikti netinkamai, operacija gali neduoti norimų rezultatų ar gali lūžti darbo įrankis, būti sugadintas gaminys. Visiems aukščiams yra duoti du pasirinkimai - absoliutinės arba priauginės koordinačių sistemos (*absolut* ir *incremental*). Išanalizavus supratau, jog tikslinga visuomet naudoti absoliutinę koordinačių sistemą. Dirbant ja programos kodas bus sukurtas pagal detalės nustatytą pradžios tašką, o priauginės, pagal vis naujai pasiektą tašką, pavyzdžiui: gręžiamos 3 skylės išdėstytos kas 5 milimetrus. Absoliutinėse koordinatėse: X0.; X10.; X15. Priauginėje sistemoje tai būtų X5.; X5.; X5. Skirtumas tas, jei programą bus norima koreguoti tekstiniu pavidalu, priauginėje sistemoje pakeitus vieną tašką, reikėtų keisti viską kas susiję ir programoje buvo už jo. *Retract* – nurodo kiek įrankis atsitrauks nuo pradžios Z taško atlikęs tam tikrą veiksmą ar operaciją. *Feed plane* – nurodo aukštį, nuo kurio įrankis pradės leistis nurodyti *plunge rate* greičiu. *Top of stock* – papildomas medžiagos aukštis, kurį reikia apdirbti. *Depth* – gylis kuriame bus frezuojamas detalės paviršius. *Retract* ir *feed plane* nurodau po 5 milimetrus, o *depth* – 0 milimetrų. Skiltyje *coolant* nurodomas aušinimo tipas – pasirinkau *flood*, taip įrankis bus aušinamas vandeniu jį apliejant iš išorės.

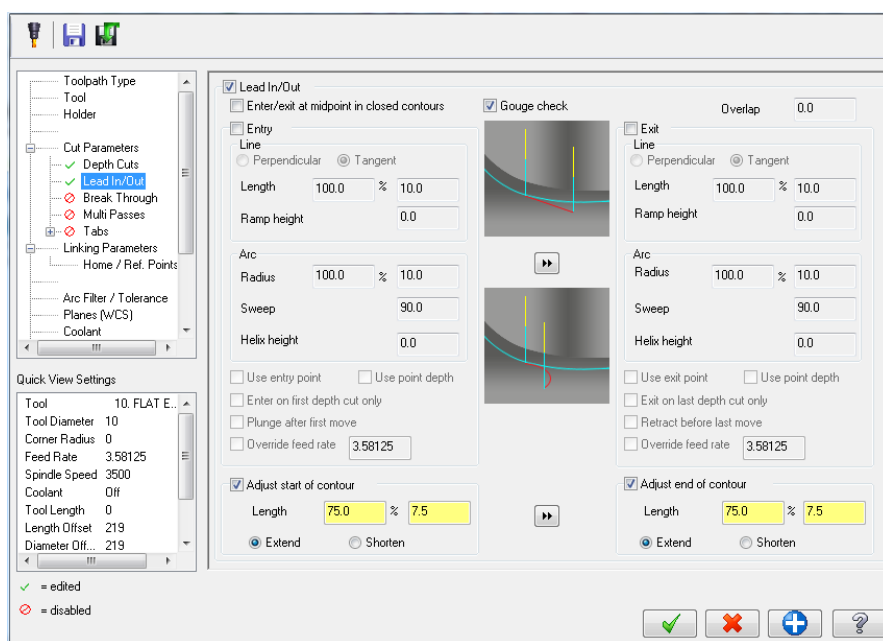
Antrąją programos operaciją parinkau šoninio gabarito apdirbimą. Tam naudoju funkciją *toolpaths>countour*. Šioje operacijoje žymint kontūrą privalu atkreipti dėmesį, į kurią pusę jis pažymėtas. Programa pagal pasirinktą įrankį apskaičiuos kokiu atstumu nuo šono reikia dirbti frezai, kad matmuo būtų tikslus. Kitaip sakant įvertinamas frezos skersmuo. Apdirbinėjant metalą freza drožles turi mesti priešinga kryptimi nei juda. Taip mažiau dyla įrankis, daromas švaresnis, lygesnis paviršius. Todėl apdirbant išorinį kontūrą jį turime žymėti palei laikrodžio rodyklę, o iš vidaus – prieš. Pažymėjimas sutaps su frezos kelio kryptimi. Tam *cut parameters* dialogo lange turi būti parinktas *compensation direction>left* parametras.

Pasirinkus kontūrą jis yra patvirtinamas. Atsidaro nustatymų dialogo langas. Šiai operacijai naudosime tą pačią frezą. Todėl įrankį imsime ne iš bibliotekos, o iš jau parinktų įrankių sąrašo, kur įrankio darbo režimai jau bus parinkti. Tačiau freza dirbs dideliu aukščiu, todėl jos pastūmos greitį sumažinau iki 1500mm/min. Taip sumažinau apkrovą frezai.

Šioje operacijoje turėsiu 2 naujus nustatymus. Formos aukštis yra 108 milimetrai, todėl nustačiau, kad freza nufrezuotu gabaritą iki 108,5 milimetrų gylio. Taip staklės padarys užlaidą, ir neliks nepageidaujamų kraštų apdirbant formos dugną. Mano parinkta freza gali apdirbti aukštį iki 90 milimetrų vienu pjovimu, tačiau bendrai siekia iki 120 milimetrų. Todėl parinkau nustatymą *deep cuts*. Čia *max rough step* parinkau 90 milimetrų, programa paskaičiuos visą reikiamą apdirbti aukštį ir jį padalins į lygias dalis pagal nurodytą maksimalų darbo aukštį. bus vykdomi du frezavimai po 54,25 milimetro gylį. Dar vienas parametras kurį parinkau yra *lead in/ out*. Čia nustatoma kokiu atstumu nuo kontūro leisis freza. Neparinkus šio nustatymo freza leistusi tiesiai į medžiagą. Taip gali

lūžti įrankis, o gaminyje likti ruožas. Visus automatinius parinkimus atžymėjau ir pasirinkau *adjust start/ end of contour, length* – ilgį parinkau 75% frezos skersmens. Taigi freza leisis per 75 procentų savo skersmens atstumą, nuo pažymėto kontūro pradžios taško. Dabar freza nekliudys medžiagos ir nepaliks ruoželio, kuris būtų paliktas frezai įeinant nuo kontūro vidurio ar leidžiantis į medžiagą.

Tokią pačią operaciją reikia padaryti ir viršutinėje formos dalyje esančiam kontūrai. Tik šį kart žymimas kitas kontūras. *Lead in/ out* parametrų lange atžymėjau *adjust end of contour* ir pasirinkau *exit* nustatymus. Pasirinkau tokį išėjimo parametru (16 pav.), nes kontūras baigiasi apskritimo spinduliu, todėl programa negali prailginti kontūro išėjimo, paprasčiausiai neatliktų šio veiksmo. Šį kontūrą frezuojant yra parinktas didelis gylis ir didelis aukštis, taip apkraunamas įrankis ir jis gali lūžti. Todėl pasirinkau dar vieną nustatymą *multi passes*. Čia parinkti 4 grubūs (*rough*) praėjimai tarp kurių tarpai bus po 4 milimetrus ir vienas švarus (*finish*) 0,2mm. Įjungiau vieną baigiamąjį praėjimą mažu tarpeliu, nes taip bus padarytas gražus, glotus paviršius.



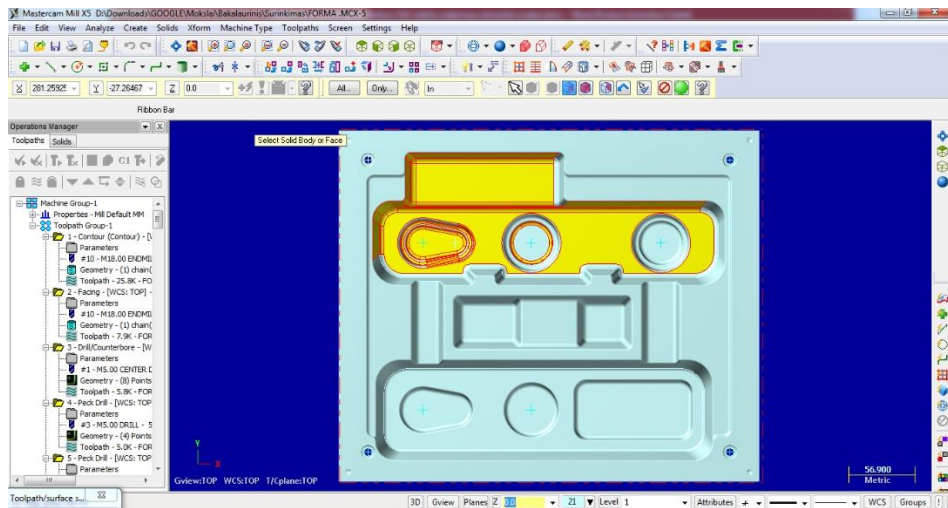
16 pav. Parametru nustatymo dialogo langas.

Šioje gaminio pusėje turėjau padaryti ir keturias penkių milimetrų skersmens skylės ir 4 M6 sriegius. M6 sriegiui padaryti pirma reikia išgręžti 5 milimetrų skersmens skylę. Tam pasirinkau operaciją *drill*. Tuomet pažymėjau visas 8 skylės ir patvirtinau pasirinkimą. Iš įrankių bibliotekos pasirinkau 5mm skersmens grąžtą, pagal gamintojo nurodymus nustačiau gręžimo pastūmas ir apskukas aliuminiui, įrašiau įrankio numerį. *Feed rate* – 550mm/min, *spindle speed* – 3600rpm. *Cut parameters* dialogo lange pasirinkau gręžimo ciklą – *chip break*. Šiuo gręžimo ciklu grąžtas įsigilins per nurodytą gylį, tada šiek tiek atsitrauks ir vėl gilinsis. Taip grąžtas neužsivele didele drožle, yra geriau aušinamas. *First peck* nurodžiau 7, *subsequent peck* – 5 milimetrus. Taigi pirmu įsigilinimu grąžtas įsigilins 7 milimetrus, o kiekvienu kitu po 5 milimetrus.

Linking parameters nustatymu skiltyje nurodžiau tris svarbius parametrus. Pirma – *depth*, tai skylės gylis (-35mm). Antra – *retract*, aukštis nuo kurio gražtas pradės gręžimo ciklą, iki jo darbas judės laisva pastūma(0mm). Trečia – *clearance*, atstumas, kuriuo atsitrauks gražtas tarp gręžiamų skylių(2mm). Operacijai parinkau kitokį aušinimo tipą – aušinama bus vandeniu, o jis purškiamas per įrankį, o ne aplink jį. Taip bus geresnis aušinimas, o jo tipas – *thru-tool*.

Sriegiams padaryti taip pat pasirinkau operaciją *drill* ir pažymėjau 4 skyles, kurioms reikalingas sriegis. Parenkamas M6 sriegiklis iš įrankių sąrašo. Darant sriegius esminis nustatymas yra sriegimo pastūma ir apsisukimų skaičius. Sriegiklių vijos yra išdėstytos tam tikru žingsniu, kurias būtina įvertinti. M6 sriegiklio žingsnis yra 1. Tai reiškia, man parinkus 800 apsisukimų per minutę, ir nurodžius žingsnį vieneta, pastūma automatiškai bus parinkta 800mm/min. Dar vienas skirtumas tarp gręžimo ir sriegimo ciklų yra tai, kad atliekant sriegimo ciklą pirmiausia sriegiklis sukasi į vieną pusę, po to į kitą. Todėl *cut parameters* parinkau *tap* (sriegimo) ciklą. Kiti nustatymai lieka identiški.

Baigus apdirbinėti gabaritus, pradėjau kurti liejimo paviršiaus formavimo programą. Visų pirma sukūriau programą grubiai apdirbti visą liejimo formos vidų, o ant liejimo paviršiaus palikau užlaidą švaram apdirbimui. Šiai operacijai naudoju šiuolaikišką operaciją – *surface high speed*. Ji skirta 3D modeliams. Taigi pasirinkus šią operaciją pažymėjau visus 3D modelio paviršius, kuriuos nurėčiau apdirbti (17 pav.). Tai padaryti galima pasirinkus piktogramą *activate solid selection > faces*. Staklės apdirbs visus pažymėtus paviršius. Patvirtinus pasirinkimą atsiveria dialogo langas, kuriame pasirinkau funkciją *core roughing*. Taip bus nuosekliai apdirbtas formos paviršius grubiu, pirminiu apdirbimu. Šios operacijos svarbiausi parametrai yra *cut parameters*. Čia pasirenkamas gylis, kuriuo bus išfrezuojama formos tuštuma. Pasirinkau 5mm, todėl freza apdirbs viską 5 milimetrų gylyje, tada įsigilins dar 5mm ir vėl apdirbs. Taip iki pačio dugno. Kadangi čia daromas grubus apdirbimas, todėl būtina nurodyti *stock to leave on walls/floors*. Šis pasirinkimas nurodo kiek staklės paliks neapdirbtos medžiagos ant liejimo paviršiaus. Palikau 0,3mm. Būtina nustatyti *transition* skilties nustatymus, kitaip freza leis tiesiai į medžiagą, kas lems įrankio sugadinimą. Pasirinkau *profile ramp* įsigilinimą, *entry feed rate* pasirinkau *plunge*, tai reiškia gilinantis frezai ji gilinsis pagal *plunge rate* nurodytą pastumą. Ją nurodžiau 1500mm/min, *spindle speed* – 10000rpm ir *feed rate* – 2000mm/min. Freza dirbs pagal nurodytą *feed rate* kiekvieną kartą įsigilinus nurodytus 5mm. Šiai operacijai tai yra visi esminei nustatymai.



17 pav. 3D apdirbimui žymimi paviršiai.

Švariam paviršiaus apdirbimui staklėmis nukopijavau sukurtą grubaus apdirbimo operaciją ir pakeičiau operacijos nustatymus. Taip sutaupiau laiko žymint iš naujo visus reikalingus paviršius. Nukopijavęs ir įkėlęs grubaus apdirbimo operaciją, pakeičiau tik jos nustatymus. Operacijai panaudojau 8mm skersmens frežą, kuri neturi stačių kampų – *ball endmill* (18 pav.). Tai freza kurios darbinis galas neturi statmenų kampų, yra pusrutuliu formos. Svarbiausia parinkti *toolpath type* – *hybrid*. Taip paviršius apdirbamas bus įvairiais judesiais. Taip pasiekiant geriausią paviršiaus apdirbimą. Apsisukimų skaičius – 10000rpm, pastūma – 3500mm/min. Pastūma yra didelė, patčiau apdirbamas paviršius bus minimalus. *Stock to leave on walls/floors* pakeičiame į 0, tuomet įvairiais vientisais judesiais bus nufrezuotas liejimo paviršius, kurio švarumas priklausys nuo žingsnio dydžio, kurį parinkti galima skiltyje *cut parameters>step*. Aš pasirinkau 0,02. Kiekvienas naujas frrezos žingsnis bus atliekamas 0,02mm atstumu, nuo prieš tai atlikto. Taip paviršius bus padarytas labai švarus.



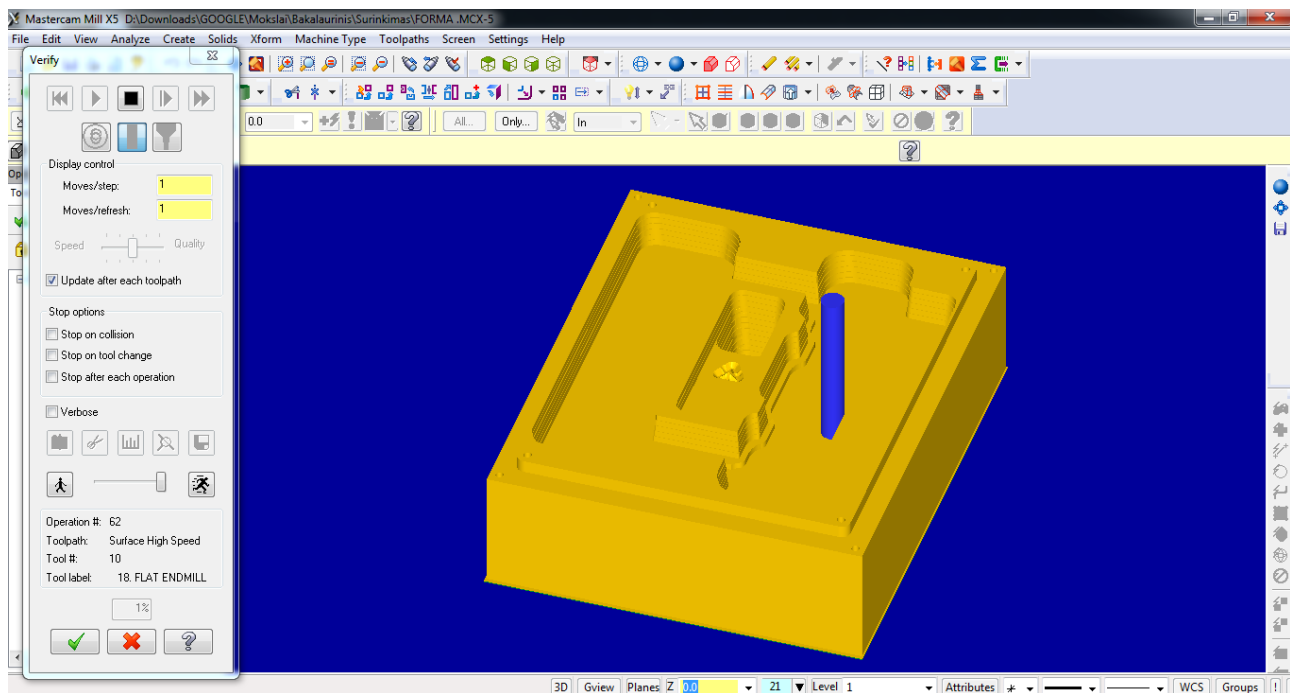
18 pav. Pusrutulio formos paviršiaus freza.

Skylėms su įleidimais turėjau atlikti taip pat trimačio apdirbimo komandą. Pasirinkau operaciją *toolpaths>surface finish>radial*. Šie įleidimai yra trimačio paviršiaus, todėl netinka paprastas

„kišenės“ išfrezavimas. Pažymėjau paviršius, kuriuos reikia apdirbti ir pažymėjau skylės centrą. Centras bus taškas, apie kurį vyks frezavimas ratu, šiai operacijai naudoju frezą statmenais kampais, kad būtų pasiekti visi paviršiaus taškai. Svarbiausias parametras, kuris nulems paviršiaus svarumą yra frezavimo žingsnis skiltyje *finish radial parameters*. Kuo mažesnis čia nurodomas žingsnis, tuo sukuriama švaresnis paviršius. Žingsnis nurodomas laipsniu, jo dydis nurodo kiek vienas frezavimo žingsnis bus atitolęs nuo kito.

Paskutinė būtina operacija yra logotipo išgraviravimas ant liejimo paviršiaus. Tam panaudoju operacija *engraving*. Pasirenkami visi graviruojami paviršiai, o nustatymų skiltyje *engraving parameters* nuomodas graviravimo gylis.

CNC staklėmis padarius visas šias operacijas pirmoji gaminio pusė bus baigta. Pirmiausia pažymiu visas sukurtas operacijas ir paleidžiu 3D simuliaciją - *verify selected operations* (19 pav.). Programa sukurta teisingai, todėl simuliacijos metu nematau jokių klaidų. Vėl pažymėjus visas operacijas spaudžiu *post selected operations* mygtuką – sugeneruojamas NC kodas, kuris tinklo sąsaja perkeliama į stakles. CNC staklėse pasirinkus šį sugeneruotą kodą, spaudžiu valdymo pulto *auto* mygtuką, kas paleis sukurtą programą automatinio režimu ir *auto coolant* mygtuką, kuris automatiškai įjungs nurodytą aušinimą. Sukurtas NC kodas telpa ne į visas stakles, todėl kartais reikia jį generuoti ir leisti dalimis, pavyzdžiui po vieną operaciją. Staklėms baigus vykdyti programą pirmoji gamybos dalis bus baigta. Tuomet iš spaustuvių išimsime gaminį ir apversime.



19 pav. Programos simuliacija Mastercam programinėje įrangoje

4.6 Kitų gaminio pusių apdirbimas

Antros pusės programą pradėjau perorientuodamas gaminį komanda *dynamic xform*, ir perkeldamas pradžios tašką į kitą paviršiaus vidurio tašką komanda *move to origin*. Šiai gaminio pusei pagaminti reikia nufrezuoti detalės viršų su operacija – *face*, išgręžti skylės, ir keturioms skylėms padaryti praplatinimus. Viršaus nufrezavimo ir skylių gręžimo operacijas jau aptariau anksčiau, todėl dabar aptarsiu tik skylių praplatinimo. Praplatinti reikia keturias skylės. Tam panaudojau operaciją *countour*. Pažymėjau praplatinimo skylės kontūrą prieš laikrodžio rodyklę. Šį kartą *cut parameters* skiltyje panaudojau ne 2D kontūro tipą, o *ramp*. Dabar freza frezuos ratu ir pastoviai leisis žemyn, darys tarsi spiralę. Nuožulnos gylį per visą ratą parinkau 1mm, taigi kiekvienu ratu freza įsigilins po 1mm. Taip pat pažymėjau nustatymą *make pass at final depth*. Dabar freza padarys plokščią dugną, neatlikus šio veiksmo, freza būtų pasiekus žemiausią tašką ir sustojus, liktu nelygumas. Sukūręs programą peržiūriu jos simuliaciją, sugeneruoju kodą ir perkeliu jį į stakles. Apvertęs formą indikatoriumi vėl nustatau koordinatas ir įjungiu CNC stakles automatiniam darbui.

Trečiajam darbui vėl apverčiau detalę, tačiau šį kartą šonu. Ten išgręžiamos skylės aušinimui ilgu grąžtu, nustačius aušinimą tiekti per įrankio vidų.

Išvados

1. Šiame bakalauro studijų darbe išanalizavau CNC staklių valdymą, jų veikimo principą, galimybes.
2. Sudariau CNC frezavimo staklių technologinį aprašą.
3. Aprašiau pagrindinių CNC staklių dalių veikimo principą, aptariau sąsajų tipus, išanalizavau valdymo sistemą.
4. Išanalizavau staklių valdymą, programos kūrimą „Mastercam“ programine įranga, darbo metodus
5. „Mastercam“ programine įranga sukuriau NC kodą staklėms, kuriuo buvo pagaminta liejimo forma.

Literatūros sąrašas

1. <http://www.mademaster.com/lt/Straipsniai/Stakliu-tikslumas/> [1]
2. <http://www.mademaster.com/lt/Straipsniai/Stakliu-pavaros/> [2]
3. <http://www.mademaster.com/lt/Straipsniai/Keitiklio-pasirinkimas/> [3]
4. Siemens Sinumerik 840D manual. 2006 [4]
5. <http://www.sapagroup.com/lt/sapa-profiliai-uab/aliuminis/> [5]
6. http://lt.wikipedia.org/wiki/Liejimo_forma [6]
7. V. Mokšin, A. H. Marcinkevičius, M. Jurevičius. ŠIUOLAIKINIAI SKAITMENINIO VALDYMO APDIRBIMO CENTRAI IR JŲ PROGRAMAVIMAS: vadovėlis; Vilnius, „technika“ 2012. [peržiūrėta]
8. Heidenhain, TNC 620 naudotojo žinynas, DIN/ISO programavimas. 2015 [peržiūrėta]
9. <http://wings.buffalo.edu/eng/mae/courses/460-564/Course-Notes/CNC%20notes.pdf>
[peržiūrėta]
10. <http://www.deltaww.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=060201&PID=ALL&hl=en-US> [peržiūrėta]

Priedai

Programos skirtos liejimo formai „Masterca“ programine įranga fragmentas

```
MSG ("")
; 18. FLAT ENDMILL
N100 G54
N110 T10
N120 M6
T1
N130 M8
N140 M3 S10000 F3200.
N150 G00 X-225. Y162.55
N160 Z25.
N170 Z10.
N180 G1 Z-108.5 F8000.
N190 X-180. F3200.
N200 X180.
N210 G2 X192.55 Y150. I0. J-12.55
N220 G1 Y-150.
N230 G2 X180. Y-162.55 I-12.55 J0.
N240 G1 X-180.
N250 G2 X-192.55 Y-150. I0. J12.55
N260 G1 Y150.
N270 G2 X-180. Y162.55 I12.55 J0.
N280 G1 X-179.
N290 G0 Z25.
N300 X-225. Y161.55
N310 Z10.
N320 G1 Z-108.5 F8000.
N330 X-180. F3200.
N340 X180.
N350 G2 X191.55 Y150. I0. J-11.55
N360 G1 Y-150.
N370 G2 X180. Y-161.55 I-11.55 J0.
N380 G1 X-180.
N390 G2 X-191.55 Y-150. I0. J11.55
N400 G1 Y150.
N410 G2 X-180. Y161.55 I11.55 J0.
N420 G1 X-179.
N430 G0 Z25.
N440 X-225. Y160.55
N450 Z10.
N460 G1 Z-108.5 F8000.
N470 X-180. F3200.
N480 X180.
N490 G2 X190.55 Y150. I0. J-10.55
N500 G1 Y-150.
N510 G2 X180. Y-160.55 I-10.55 J0.
N520 G1 X-180.
N530 G2 X-190.55 Y-150. I0. J10.55
N540 G1 Y150.
N550 G2 X-180. Y160.55 I10.55 J0.
N560 G1 X-179.
N570 G0 Z25.
N580 X-225. Y159.55
N590 Z10.
N600 G1 Z-108.5 F8000.
N610 X-180. F3200.
N620 X180.
```

N630 G2 X189.55 Y150. I0. J-9.55
N640 G1 Y-150.
N650 G2 X180. Y-159.55 I-9.55 J0.
N660 G1 X-180.
N670 G2 X-189.55 Y-150. I0. J9.55
N680 G1 Y150.
N690 G2 X-180. Y159.55 I9.55 J0.
N700 G1 X-179.
N710 G0 Z25.
N720 X-225. Y159.05
N730 Z10.
N740 G1 Z-108.5 F8000.
N750 X-180. F3200.
N760 X180.
N770 G2 X189.05 Y150. I0. J-9.05
N780 G1 Y-150.
N790 G2 X180. Y-159.05 I-9.05 J0.
N800 G1 X-180.
N810 G2 X-189.05 Y-150. I0. J9.05
N820 G1 Y150.
N830 G2 X-180. Y159.05 I9.05 J0.
N840 G1 X-179.
N850 G0 Z25.
N860 X-199.8 Y149.998
N870 Z10.
N880 G1 Z0. F2500.
N890 X190.8 F4000.
N900 Y136.955
N910 X-190.8
N920 Y123.911
N930 X190.8
N940 Y110.868
N950 X-190.8
N960 Y97.825
N970 X190.8
N980 Y84.781
N990 X-190.8
N1000 Y71.738
N1010 X190.8
N1020 Y58.695
N1030 X-190.8
N1040 Y45.652
N1050 X190.8
N1060 Y32.608
N1070 X-190.8
N1080 Y19.565
N1090 X190.8
N1100 Y6.522
N1110 X-190.8
N1120 Y-6.522
N1130 X190.8
N1140 Y-19.565
N1150 X-190.8
N1160 Y-32.608
N1170 X190.8
N1180 Y-45.652
N1190 X-190.8
N1200 Y-58.695

```

N1210 X190.8
N1220 Y-71.738
N1230 X-190.8
N1240 Y-84.781
N1250 X190.8
N1260 Y-97.825
N1270 X-190.8
N1280 Y-110.868
N1290 X190.8
N1300 Y-123.911
N1310 X-190.8
N1320 Y-136.955
N1330 X190.8
N1340 Y-149.998
N1350 X-199.8
N1360 G0 Z25.
N1370 M5 M9
N1380 G0 G90
MSG("")
; 5.0 CENTER DRILL
N1390 T1
N1400 M6
T3
N1410 M8
N1420 M3 S3200 F1000.
N1430 G00 X-172. Y142.
N1440 Z20.
N1450 G00 X-172. Y142.
N1460 MCALL CYCLE81 ( 20., 0.,2, -1.,0)
N1470 X-172. Y142.
N1480 X-155. Y125.
N1490 X172. Y142.
N1500 X155. Y125.
N1510 X172. Y-142.
N1520 X155. Y-125.
N1530 X-155.
N1540 X-172. Y-142.
N1550 MCALL
N1560 M5 M9
N1570 G0 G90
MSG("")
; 5. DRILL
N1580 T3
N1590 M6
T2
N1600 M8
N1610 M3 S3200 F600.
N1620 G00 X172. Y142.
N1630 Z50.
N1640 G00 X172. Y142.
N1650 MCALL CYCLE83 ( 50., 0.,2, -35.,, -2., 2.,,,, 1,0)
N1660 X172. Y142.
N1670 Y-142.
N1680 X-172.
N1690 Y142.
N1700 MCALL
N1710 M5 M9
N1720 G0 G90

```



```
MSG ("")
; 6.2 DRILL
N1730 T2
N1740 M6
N1750 M8
N1760 M3 S2800 F650.
N1770 G00 X-155. Y125.
N1780 Z50.
N1790 G00 X-155. Y125.
N1800 MCALL CYCLE83 ( 50., 0., 2, -65.,, -2., 2.,,,,, 1,0)
N1810 X-155. Y125.
N1820 Y-125.
N1830 X155.
N1840 Y125.
N1850 MCALL
N1860 M5 M9
N1870 G0 G90
MSG ("")
```