

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Технологија прераде пластичних маса

Број индекса: 321/2012

Марко И. Миљковић

**Примена софтвера SolidCAM за пројектовање
технологије израде алата за бризгање пластичних маса
мастер рад**

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог рада кандидат треба да изврши прикупљање и анализу података везаних за полимерне материјале, технологију и алате за бризгање пластичних маса. Дати преглед CNC машина за израду калупа алата, као и основе програмирања тих машина. У практичном делу рада упознати се са основним командама софтвера SolidCAM и на примеру делова калупа алата за тело дугмета бојлера прописати технологију израде и приказати могућност машинирања у овом софтверу.

Препоручена литература:

- [1] Мирослав Нађ, Полимерни материјали, Научна књига, Загреб 1991
- [2] Недић Богдан., Технологија прераде пластичних маса, Крагујевац, 2008
- [3] SolidCAM 2010, Milling User Guide, 2010

Крагујевац, април 2014

ментор:

Проф. др Богдан Недић

Резиме рада: У оквиру рада извршено је прикупљање, систематизација и анализа података везаних за полимерне материјале, технологију и алате за израду пластичних маса. Дат је опис CNC машина за израду калупа алата са основама програмирања тих машина. За Haas – ову управљачку јединицу детаљно су описане G и M функције NC програма, као и примери ручног програмирања. У практичном делу рада описане су основне команде софтвера SolidCAM и показана могућност његове примене у дефинисању технологије израде делова калупа алата.

Кључне речи: SolidCAM, машинирање, NC програм

Abstract: Within the framework master thesis was performed systematization and analysis of data which were related to polymer materials, technology and tools for making plastics masses. Description CNC machines for mold making tools with the basics of programming these machines is also presented in the paper. For the Haas control unit, G and M function of NC program have been described in detail, as well as the examples of manual programming. In the practical part of the paper are described basic commands of SolidCAM software and demonstrated the possibility of its application in defining technology of making parts of the mold tools. Detailed description of the machining process, generate NC programs for CNC milling and finishing electrodes for EDM (*Electric Discharge Materials*) processing, also are presented in practical part of master thesis.

Keywords: SolidCAM, machining process, NC program

САДРЖАЈ

1. Увод	2
2. Пластичне масе, технологија и алати за бризгање.....	4
2.1 Технологије прераде пластичних маса.....	6
2.2 Поступак бризгања.....	7
2.3 Алати за бризгање пластике.....	9
3 CNC машине за израду калупа алата	11
3.2 CNC глодалице	11
3.3 CNC машине за електроерозиону обраду	14
4 Основи програмирања CNC машина	16
4.1 CAD/CAM систем.....	18
4.2 NC програм	20
4.3 Управљачки систем и интерфејс оператера за Haas – ову глодалицу	24
4.3.1 Ручно програмирање	26
4.3.2 Аутоматско програмирање	29
5 Технологија израде калупа алата.....	33
5.1 Основне команде софтвера SolidCAM.....	36
5.2 Машинирање делова калупа алата	37
5.2.1 Дефинисање геометрије припремног комада и формирање склопа	38
5.2.2 Увожење и дефинисање склопа у SolidCAM –у	39
5.2.3 Процес машинирања.....	42
5.2.4 Генерисање NC кода.....	61
5.3 Електроде за електроерозиону обраду	63
5.3 Контрола алата.....	65
6 Закључак	67
7 Литература.....	68

1. Увод

Могућности испуњења најразличитијих захтева, омогућују полимерним материјалима примену у практично свим областима људске делатности.

Са појавом композитних материјала долази до нове технолошке револуције, јер се нови материјали могу пројектовати и производити тако да имају знатно боље карактеристике од појединачних особина полазних материјала или нама познатих материјала. Посебан значај нови материјали на бази полимера добијају применом у аутомобилској, авио и космичкој индустрији, као и у грађевинарству, електротехници и телекомуникацијама.

Производња пластичних маса у свету се сваке године вишеструко увећава. Данас производња знатно прелази 100 милиона тона, док је 1950. године износила испод једног милиона тона. Овакав раст производње није забележен ни код једног другог материјала, тако да је производња пластичних маса превазишла производњу свих метала заједно. Основна њихова предност се налази у ниској цени и малој специфичној тежини.

Полимерни материјали имају веома разноврсну структуру што представља основне проблеме при анализи утицаја полазних сировина и технолошких параметара на њихове карактеристике. Да би се ови утицаји одредили, потребно је познавање хемијских, механичких, термичких, електричних и других својстава пластичних маса, што подразумева обимна истраживања као и усавршавање метода за истраживања. Израда предмета од пластичних маса има читав низ предности:

- ниска цена коштања,
- мала густина у односу на метале (не прелази $1,5 \text{ kg/dm}^3$),
- лака израда делова, посебно производа сложене конфигурације, као и висока продуктивност при њиховој изради,
- добра диелектрична својства, због чега налазе примену као добри електро-изолатори,
- висока отпорност на киселине, растворе и друге агресивне средине,
- добра прозрачност и способност бојења,
- добра пригушујућа својства, односно висока отпорност на вибрације, због чега се користе као добри изолатори вибрација,
- добра својства апсорпције звука, односно добри су звучни изолатори и
- добре антифрикционе особине, а по потреби и добра фриктиона својства.

Као и сви материјали и пластичне масе имају неке недостатке:

- ниска чврстоћа на повишеним температурама,
- смањење чврстоће у току дуготрајног оптерећења, – кратак век трајања, што је у директној вези са процесом старења под утицајем светлости, топлоте, влаге и кисеоника.

Ради даљег повећања примене пластичних маса, потребно је обезбедити развој у три правца:

- развој нових материјала пластичних маса,

- развој технологија прераде, уређаја и алата за прераду и
- развој примене нових материјала и развој нових производа од пластичних маса.

У оквиру овог рада извршена је разрада технологије за израду делова калупа алата применом софтвера SolidCAM.

У другом поглављу дат је опис основних врста полимерних материјала са њиховим карактеристикама, предностима и манама. Такође, поступак инјекционог бризгања као и алати детаљно су описани у оквиру овог поглавља.

Основни елементи глодалица и ерозимата, као машина које се користе за израду делова калупа алата, и њихове основне карактеристике дате су у трећем поглављу.

У оквиру четвртог поглавља описане су основе програмирања CNC машина, са посебним освртом на програмски језик NC кода.

Технологија израде калупа алата описана је у петом поглављу. Описани су: основне команде софтвера SolidCAM, машинирање делова калупа алата са приказом електрода за завршну обраду, као и контрола израђених делова.

На крају рада дат је закључак и преглед коришћене литературе.

*Рад је реализован у сарадњи са фирмом **GOMMALINE** из Крагујевца, која је пружила сву неопходну техничку и стручну помоћ. Основна делатност фирме је конструкција и израда алата за бризгање пластике. Фирма поседује лиценцирани софтвер **SolidWorks (SolidCAM)**, у оквиру којег је извршено машинирање.*

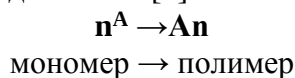
2. Пластичне масе, технологија и алати за бризгање

Пластичне масе су материјали који се састоје из основне компоненте и додатака. Основна компонента је **полимер**, а додаци, у зависности од потребних карактеристика производа, могу бити: пластификатори, пунила, боје, мазива, стабилизатори и очвршћивачи.

Полимери су материје које се састоје од макромолекула. Могу бити природни и синтетички. Природни полимери се налазе у биљкама и животињама (целулоза, скроб, беланчевине, каучук, итд.), а синтетички се добијају хемијским путем (синтезом мономера). Основне методе синтезе мономера су:

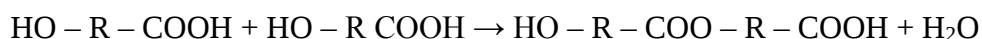
- Полимеризација,
- Поликондензација и
- Полиадиција.

Полимеризација је процес стварања макромолекула спајањем већег броја мономера, при чему се не издвајају споредни продукти и не врши се прегруписавање атома у молекулу. Карактеристично је то да се не сме прекинути процес полимеризације (не може се наставити), и да се особине полимера битно разликују од особина мономера. Овај процес се може приказати једначином [1]:



n – број понављајућих јединица у полимерном ланцу

Поликондензација је процес синтезе већег броја мономера у макромолекуле уз издвајање споредних производа. То је најчешће вода или амонијак. Поликондензација се може изводити ступњевито па и са прекидима, а представља се формулом:



Полиадиција је поступак спајања већег броја мономера у макромолекуле без издвајања споредних производа. Изводи се у ступњевима. Добијени полимери имају сличну структуру као и полимери добијени поликондензацијом. Овај поступак је негде између полимеризације и поликондензације.

Додаци пластичним масама су:

Пластификатори (омекшивачи) су материје у којима се полимери растварају и набубре, чиме се повећава еластичност, а смањују се затезна чврстоћа и тврдоћа. Тада долази и до промена неких физичко-хемијских особина од којих је најзначајније снижење температуре топљења. Сложеног су хемијског састава и ту спадају камфор, трикрезол сулфат и други, а најчешће су у течном (уљаном), а понекад у чврстом агрегатном стању [2].

Пунила су материје које се додају полимерима ради побољшања механичких особина и смањења цене коштања. Могу бити органског и неорганског порекла. Пунила органског порекла су: дрвено брашно, азбест, текстилна влакна, графит и др. Они

углавном делују као очвршћивачи. Пунила неорганског порекла су: метал, стакло и др. На пример, када се дода метални прах, повећава се електропроводљивост пластичне масе.

Према структури пунила могу бити:

- Прашката (дрво, кварцно брашно, метални прах, прах лискуна...),
- Влакната (азбестна, стаклена, памучна или синтетичка влакна) и
- Слојевита (хартија, метална фолија, памучна тканина, синтетичка, стаклена, жичана мрежа)

Боје имају основни задатак да дају одређену боју пластичној маси, а уз то повећавају хемијску и термичку стабилност. Боје могу бити органског и неорганског порекла.

Мазива побољшавају пластификацију и елиминишу прилепљивање (везивање) пластичне масе за алат (калуп). Најчешће се примењују: парафин, стеорин и калцијум-стеарат.

Стабилизатори обезбеђују очување првобитних особина пластичних маса повећањем отпорности на топлоту и штетна зрачења.

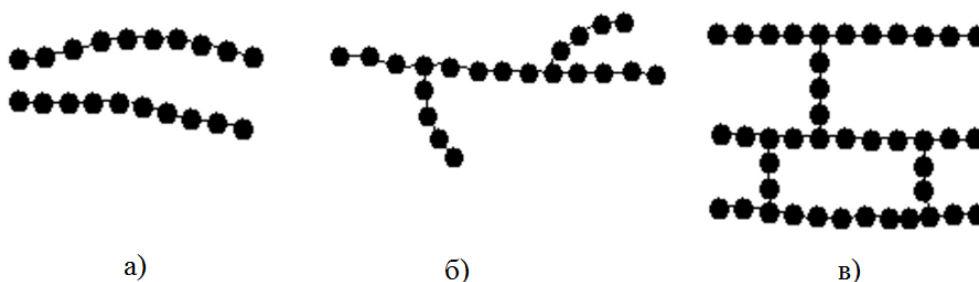
Очвршћивачи обезбеђују прелазак пластичне масе из житког (тестастог) у чврсто стање. Очвршћавање убрзавају катализатори.

Полимери се према структури полимерних ланаца могу поделити на: линеране, разгранате и мрежасте ланце.

Линеарни полимерни ланци су најједноставнији јер је код њих елемент понављања (полимер) повезан у издужен ланац (слика 2.1 – а).

Разгранати полимерни ланац има на основном издуженом ланцу краће или дуже огранке који су састављени од истих понављајућих елемената као и основни ланац (слика 2.1 – б).

Мрежаста полимерни ланац има међусобно повезане издужене полимерне ланце у дводимензионалне и/или тродимензионалне мреже (слика 2.1 – в).



Слика 2.1 Полимерни ланци [11]

Према понашању на високој температури, пластичне масе се деле на:

- Термопластичне и
- Термореактивне.

Термопластичне пластичне масе (термопласти) имају ту особину да им се приликом загревања (максимално до температуре растварања) повећава степен еластичне деформације, а хлађењем се враћају у првобитно стање. Овај процес је могуће понављати одређен број пута без битних промена особина. Ови материјали углавном не садрже пунила али садрже боје (имају добре могућности бојења) и пластификаторе.

Пластичне масе које спадају у ову групу су: поливинилхлориди, полиетилен, полипропилен, полиамиди (најлони), полиформалдехиди, полистироли, поликарбонати, полифлуоретилен, метакрили, пластичне масе на бази целулозе (ацетал, нитрат, пропионат, ацетобутират), политетрафлуоретилен (тефлон).

Пластичне масе се према механичким карактеристикама деле на [1]:

- **Пластомере** и
- **Еластомере.**

Пластомери имају могућност деформисања од 0,5 до 200 %. У ову групу спадају и термопластичне и термореактивне масе осим каучука.

Еластомери су пластичне масе које се на температурама блиским нули могу еластично деформисати и до 1000%. Представник ове групе је каучук.

Фенопласти су пластичне масе на бази фенолалдехидних смола и њихових модификација. Настају поликондензацијом фенола и формалдехида, у присуству базних или киселих катализатора. У зависности од учешћа фенола и алдехида могу бити термореактивне и термопластичне.

Термореактивне пластичне масе (фенопласти за пресовање) на бази формалдехидних смола садрже пунила, чиме се побољшавају посебна својства. Прерада ових пластичних маса се врши посредним или инјекционим пресовањем.

2.1 Технологије прераде пластичних маса

Под прерадом пластичних маса подразумевају се сви поступци којима се од полимера (сировине) добијају полуфабрикати или готови производи. Поступак прераде зависи од састава, врсте и стања полимера.

Поступци прераде обично се деле према технологији прераде, независно од хемијских и физичких промена које се дешавају за време прераде.

Постоје два основна поступка:

- Прерада без употребе притиска (ливење, уроњавање, премазивање, синтеровање, импрегнирање...) и
- Прерада уз употребу притиска и истовремено довођење, односно одвођење топлоте (пресовање, ливење под притиском, екструзија, ваљање, савијање, утискивање, дубоко извлачење...).

Вредности притисака и температура, као и времена њиховог деловања зависе од физичких и хемијских особина пластичне масе (течљивост, топлотна стабилност итд.).

Поступци прераде пластичних маса се могу поделити на:

- Основне операције прераде,
- Прераде полуфабриката и
- Помоћне операције прераде.

Основне операције прераде пластичних маса су:

- Каландровање,
- Пресовање (обично, посредно, инјекционо),
- Екструдирање (фолија, цеви, трака и плоча),

- Екструзионо бризгање,
- Екструзионо дување шупљих тела,
- Производња вештачких пена и
- Превлачење металних предмета вештачким материјалима.

У поступке прераде полуфабриката спадају:

- Термообликовање,
- Заваривање пластичних маса,
- Спајање лепљењем и
- Обрада пластичних маса резањем.

Помоћне операције прераде су операције припреме пластичних маса за даљу прераду, првенствено екструзијом и инјекционим пресовањем. Велики део пластичних маса се полимеризовањем добија у облику праха. Да би се побољшали услови транспорта и прераде, добија се полимер у облику гранулата.

Гранулат се производи на два начина:

- Топло гранулирање и
- Хладно гранулирање.

Топло гранулирање се изводи екструзијом. У глави екструдера се налази перфорирана плоча тако да топли материјал излази у облику макарона. На глави је монтиран ротациони нож, који сече сноп у одговарајућим размацима.

Хладно гранулирање се изводи у гранулаторима (гранулирање помоћу ножева који ротирају), у форми трака или жица.

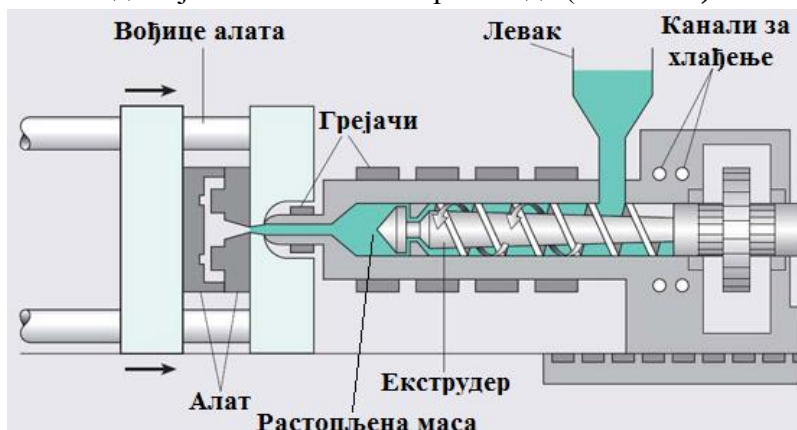
2.2 Поступак бризгања

Бризгање представља један од најчешће примењиваних поступака прераде пластичних маса. Могу се успешно обрађивати све врсте полимерних материјала (дуромери, еластомери и пластомери). Помоћу овог поступка се у једном циклусу од сировине (полимерног материјала) добија готов производ, који има одређену употребну вредност. Колики је удео процеса бризгања, у односу на остале поступке у преради пластичних маса, најбоље се види на слици 2.2.



Слика 2.2 Удео различитих поступака у преради полимера

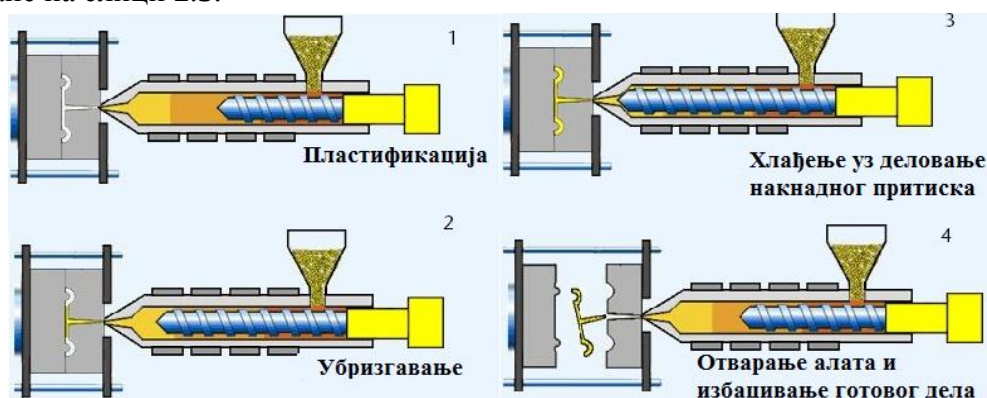
Бризгање се може, у најкраћем, дефинисати као поступак прераде пластомера брзим убризгавањем растопа у темперирану калупну шупљину и уједно очвршћавање у њој, приликом чега се добија жељени облик производа (слика 2.3).



Слика 2.3 Процес бризгања

Главна предност прераде полимерних материјала поступком бризгања огледа се у уштеди материјала, мањем времену израде и мањем потребном простору за одвијање процеса производње. Упркос високим трошковима за набавку опреме, овај поступак је исплатив чак и код серије од неколико хиљада комада.

Ипак, као највећа предност примене овог поступка истиче се тачност димензија делова који се добијају. Процес бризгања се може поделити у четири фазе које су приказане на слици 2.3.



Слика 2.3 Фазе процеса бризгања [9].

У првој фази процеса бризгања врши се затварање калупа. Гранулати пластике из левка се, уз помоћ екструдера, доводе до места у цилиндру на којима се налазе грејачи. На овај начин долази до растапања пластичне масе.

У другој фази, екструдер (пужни вијак) делује као клип и при томе врши убризгавање пластичне масе у калуп. Како би се извршило успешно пуњење калупне шупљине, потребни су високи притисци убризгавања. По правилу је реч о притисцима од 500 до 3000 бара. Такође, настоји се постићи и висока брзина убризгавања, у неким случајевима чак и до 1,5 m/s.

У трећој фази, након извршеног пуњења калупне шупљине, делује се накнадним притиском у цилиндру за убризгавање како би се попуниле шупљине које настају при хлађењу, услед запреминске контракције пластичне масе. Накнадни притисак је по

правилу мањи од притиска убризгавања, јер више не постоји високи отпор течењу растопа.

У четвртој фази, након извршеног потпуног хлађења дела у калупу, долази до отварања алата и избацивања готовог дела, помоћу одговарајућих избацивача. Екструдер се враћа у почетни положај, чиме се нова количина пластичног гранулата уводи у цилиндар екструдера.

2.3 Алати за бризгање пластике

Алат (калуп) представља централни део система за бризгање пластичних маса. Квалитет његове израде и поуздано функционисање су основа економичне производње и израде производа високог квалитета. Основни задаци калупа су:

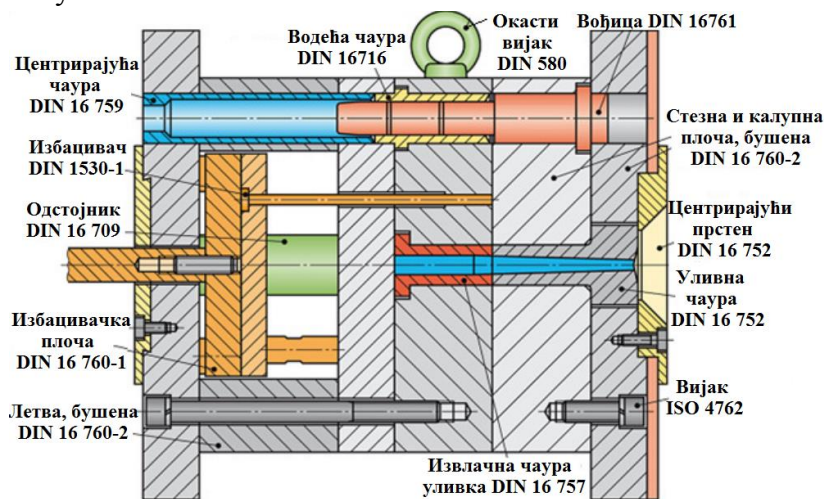
- прихватање растопљеног пластомера и његово хлађење до постизања жељеног облика производа,
- избацивање производа из гравуре и
- циклусни рад система за бризгање.

Основни елементи калупа су:

- Уливни систем,
- Гравура,
- Систем за избацивање отпреска,
- Систем за хлађење калупа и
- Систем за одзрачивање.

Скоро сви алати за инјекционо бризгање се састоје од готово истих основних елемената (слика 2.4). Они су поједностављени и типизирани по облику и димензијама, од стране великих произвођача алата, и могу се купити готови на тржишту (нпр. Hasco, Meusburger). Израђују се у великим количинама, прецизно су израђени и релативно јефтини [7].

Посебна предност је у томе што се скраћује време израде и испоруке алата. На овај начин се инжењери могу концентрисати само на израду језгра, гнезда, избацивачког састава и монтажу алата.



Слика 2.4 Основни елементи алата [7]

Материјали који се користе за израду алата су углавном алатни челици. Алатни челици треба да испуне бројне захтеве, обзиром на различита места примене и поступке прераде. Тражи се лака обрадивост, посебно добра способност полирања, и постојаност димензија при термичкој обради. Такође је неопходна отпорност површина на повишени притисак и хабање, као и довољна антикорозивна отпорност, обзиром да је алат изложен деловању агресивних маса и расхладних течности.

Калупне плоче и уметци се раде од челика за цементацију 21MnCr5 (Č4321), а за веће алате од побољшаног алатног челика 40CrMnMoS86 (Č4742), који се добро обрађује, а каљење није потребно.

За високополиране калупе користи се специјални челик за цементацију X19NiCrMo4 (Č5429). За велике површинске притиске и посебно оптерећене калупе користи се прокаљиви челик за рад у топлом стању X38CrMoV51 (Č4751, Utop Mo1).

За израду калупа и уметака отпорних на корозију користе се нерђајући челици X2Cr13 (Č4175, prohrom 4 extra) или X36CrMo17 (Č4770, prohrom 5). За израду кућишта и осталих делова користи се нелегирани алатни челик C45W3 – некаљен (Č1540).

3. CNC машине за израду калупа алата

За израду калупа алата користе се две групе машина:

- CNC глодалице и
- CNC машине за електроерозиону обраду.

3.1 CNC глодалице

Постоје више различитих група глодалица (универзалне, порталне, копирне...) али се данас у индустријској пракси, углавном за израду алата, употребљавају CNC глодалице.

CNC глодалице су флексибилно аутоматизоване глодалице чија је основна намена високо квалитетно, продуктивно и економично обављање процеса обраде. Ове машине изводе сложене технолошке операције обраде и мерења у различитим серијама производње. При томе се промена технолошких операција, на једном те истом машинском систему, остварује само променом програма, који се извршава на CNC (*Computer Numerical Control*) управљачким системима. Основне предности примене нумерички управљаних, у односу на конвенционалне машине алатке, су [4]:

- повећање продуктивности смањењем укупног времена, услед смањења главног и помоћног времена,
- висока тачност обраде и незнатна контрола обратка,
- обрада делова сложенијих профила који тешко могу да се израде на конвенционалним машинама,
- повећање временског степена искоришћења машине,
- смањење броја и трајања припремних операција (обележавање, забушивање и сл.),
- једноставније управљање процесом производње,
- избегнута потреба за високостручним послужиоцем машине алатке,
- послужилац машине алатке има више слободног времена и може да прати рад друге машине итд.

Недостаци примене:

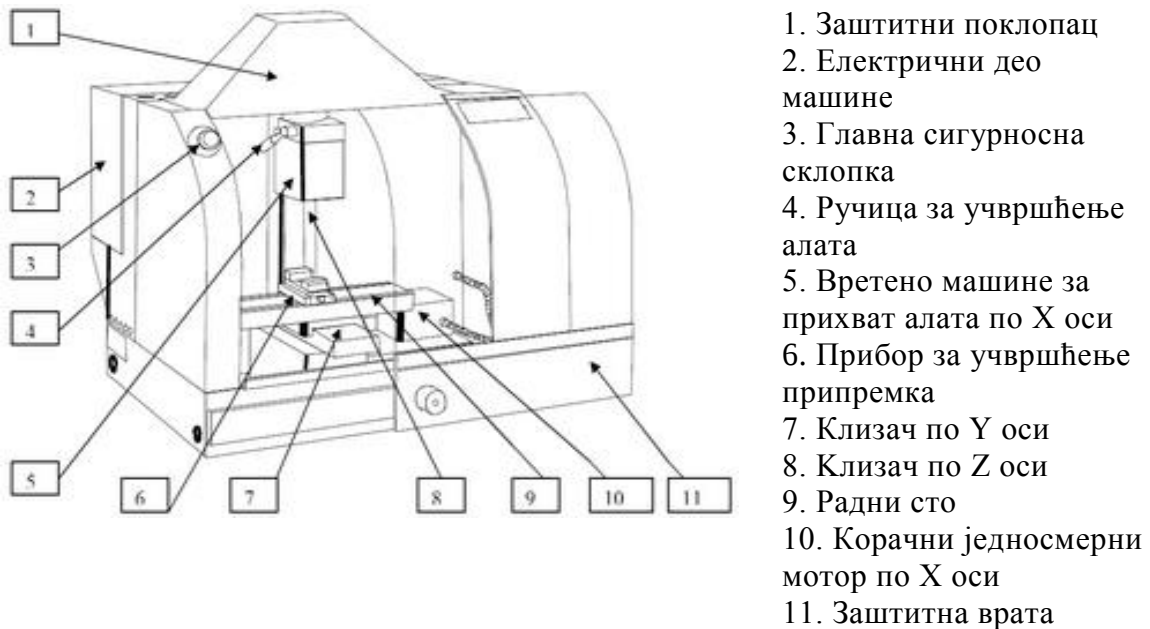
- обавезно планирање рада до детаља, као код сваке аутоматизоване производње,
- велики инвестициони трошкови повећавају трошкове машинског сата,
- потреба за високостручним програмерима,
- већи ефекти се виде у аутоматизацији великосеријске производње итд.

Код нумерички управљаних машина алатки постоје четири главне групе елемената:

- управљачки елементи и електроника,

- електрични погони (електромеханички погон),
- управљани елементи (радни столови, клизачи, носачи алата, ...) и
- мерна јединица, сензори.

CNC глодалица са позицијама основних елемената приказана је на слици 3.1.



Слика 3.1 CNC глодалица

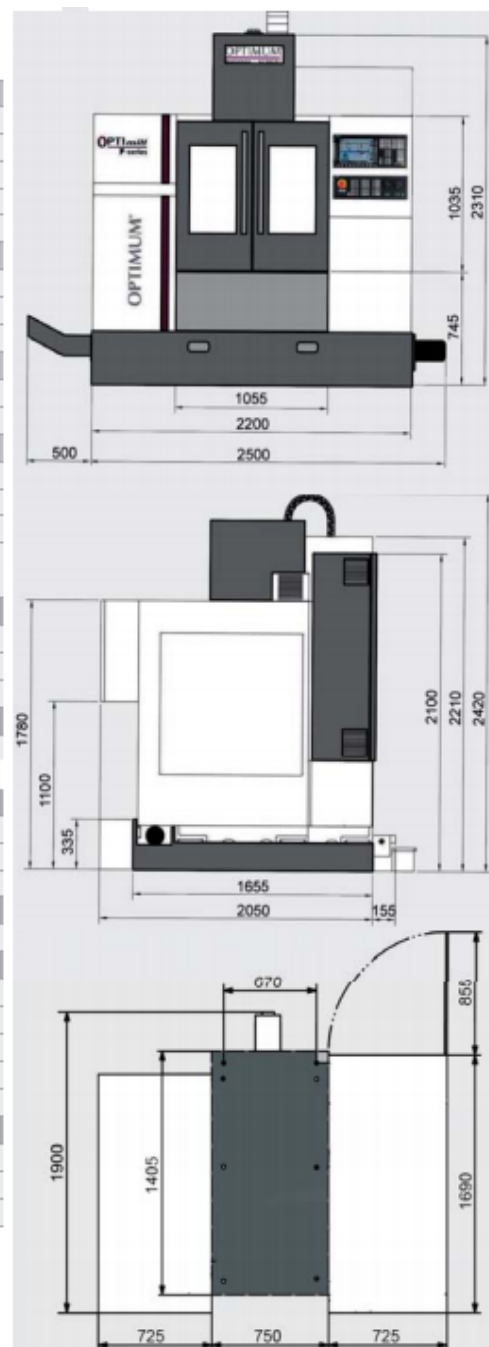
Пример CNC глодалице, произвођача OPTIMUM, дат је на слици 3.2, а њене основне карактеристике у табелици 3.1.



Слика 3.2 CNC глодалица произвођача OPTIMUM F150

Таблица 3.1 Карактеристике глодалице OPTIMUM F150

Electrical connection	
Connection ~50 Hz	400 V / 3 Ph
Total connected value	25 kW
Driving motor	12 kW (S1-mode; 9 kW)
Torque driving motor	57 Nm
Motor coolant pumps 3 pcs.	1.27 kW each
Spindle seat	
Spindle seat	ISO 40 DIN 69871
Milling head dimension max.	Ø 63 mm
End mill dimension max.	Ø 32 mm
Milling accuracy	
Repeatability	0.005 mm
Positioning accuracy	± 0.005 mm
Tool changer	
Disc type	16 tools
Tool diameter max.	89 mm
Tool weight max.	8 kg
Time - tool changing	3.5 seconds
Tool to tool	
Travels	
X axis	760 mm
Y axis	430 mm
Z axis	460 mm
Feed speeds	
Milling feed (X, Y, Z axis)	10'000 mm/min.
Rapid feed (X-, Y-, Z axis)	24'000 mm/min.
Torque motor	
X axis	6 Nm
Y axis	6 Nm
Z axis	11 Nm
Speeds	
Speeds	10 - 10'000 min ⁻¹
Cross table	
Distance spindle - table	102 - 562 mm
Throat	480 mm
Table length x width	900 x 410 mm
T-slot size / number / distance	16 mm / 4 / 102 mm
Load (max.)	350 kg
Dimensions	
Length x Width x Height	3'000 x 2'050 x 2'420 mm
Tank capacity coolant	210 litres
Total weight	3'520 kg



Из таблице 3.1 може се видети да машина располаже снагом од 25 kW, магацином од 16 алата са временом измене истих од 3,5 s. Радно вретено се може кретати у сва три координатна правца, и то у правцу X осе 760 mm, у правцу Y осе 430 mm и у правцу Z осе 460 mm. Максимална брзина глодања којом се може вршити обрада на овој машини је 10 m/min, док је брзина кретања алата када није у захвату 24 m/min. Број обртаја радног вретена је у опсегу од 10 до 10000 o/min.

3.2 CNC машине за електроерозиону обраду

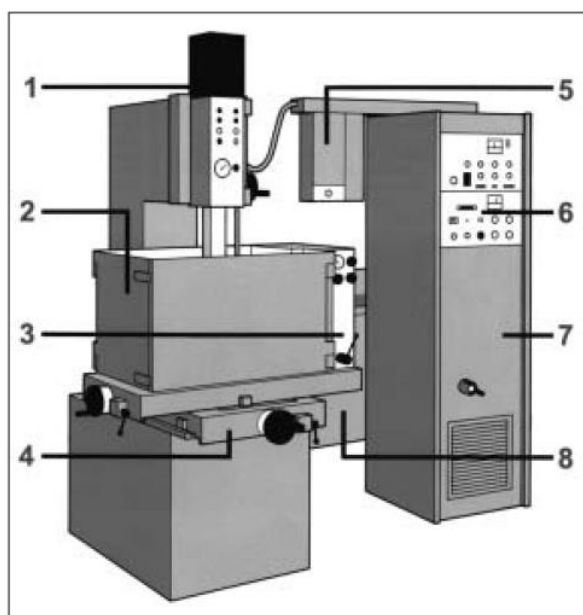
Електроерозиона обрада (*Electric Discharge Machining-EDM*) обухвата поступке обраде метала код којих се уклањање вишка материјала са предмета обраде остварује серијом електричних пражњења. Овај поступак спада у неконвенционалне поступке обраде [3].

Инсталација, односно опрема за електроерозиону обраду се састоји из четири основне компоненте: генератор електричних импулса, алатна машина, агрегат за диелектрикум и управљачка јединица. Поред ове четири основне компоненте, у инсталацију, односно опрему за електроерозиону обраду се морају убројати и електроде и диелектрикум, јер се без њих овај поступак не би могао одвијати.

Постоје две врсте машина за електроерозиону обраду:

- Ерозимат са жичаном електродом и
- Ерозимат са пуном електродом.

За израду гравура, код алата за бризгање пластике, користи се углавном ерозимат са пуном електродом. Основни елементи постројења за електроерозиону обраду са пуном електродом дати су на слици 3.3.



1. Уређај за померање електроде
2. Када за диелектрикум
3. Разводни блок за диелектрикум
4. Координатни радни сто
5. Прикључни блок за напон електроде
6. Управљачка јединица
7. Генератор електричних импулса
8. Агрегат за диелектрикум

Слика 3.3 Основни елементи постројења са пуном електродом [3]

Данас су највише у употреби савремене CNC - машине за обраду електроерозијом. Једна таква машина приказана је на слици 3.4, а њене основне карактеристике у табlici 3.2.



Слика 3.4 CNC ерозимат VMC 1370

Таблица 3.2 Основне карактеристике CNC ерозимата VMC 1370

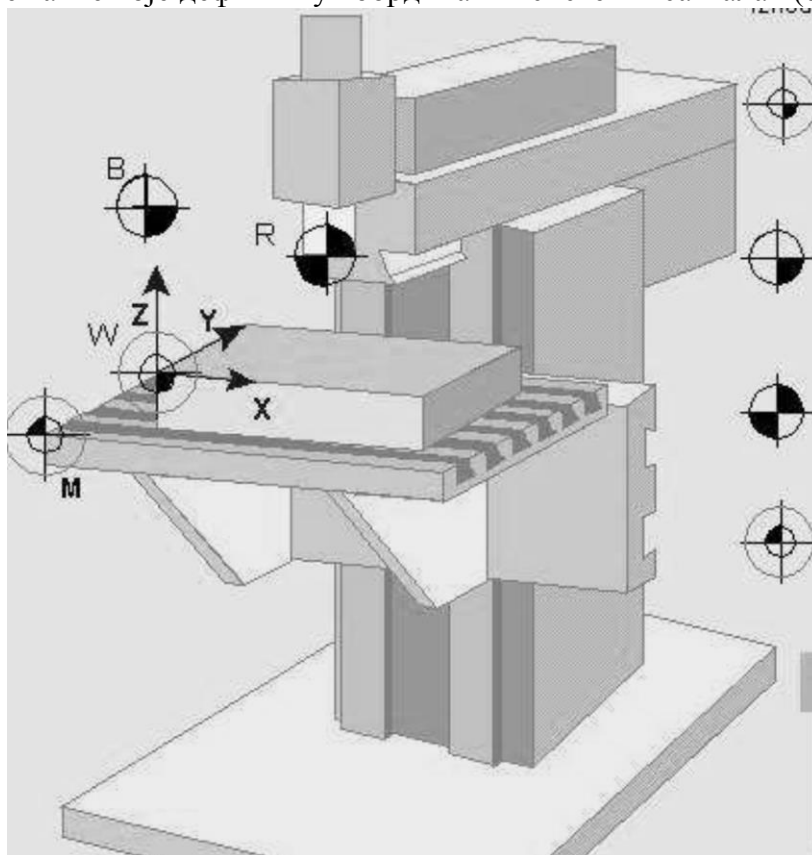
Model			VMC-1370
Travel	X-axis Travel	mm	1300
	Y-axis Travel	mm	700
	Z-axis Travel	mm	650
Distance from spinde to table surface		mm	150-180
Distance from spinde center to colum		mm	785
Table size		mm	1400*710
Max.table load		kg	1000
T-slot size		mm	5-18
Spinde taper			BT50/190
Spinde max-speed		rpm	8000
Spinde motor power		kw	15
Axis motor power		kw	3.5*3.5*3.5
X/Y/Z rapid travesse rate		m/min	15/15/12
Cutting speed		mm/min	1-10000
Screw specifications			5010
Positioning accuracy		mm	0.005
Repeatabily		mm	±0.003
pressure		kg/cm2	≥6
Overall dimensions(L×W×H)		mm	3800*2750*3100
Weight		kg	11000
Power		kw	28/32

4. Основи програмирања CNC машина

Осим чисто геометријског управљања кретањем алата или обратка, постоји и управљање машинским функцијама. Број машинских функција не зависи само од машине алатке, већ и од управљачке јединице. Оне могу бити програмиране као помоћне и додатне функције. Уколико је већи број машинских функција које се могу решити помоћу управљачке јединице, утолико је та управљачка јединица погоднија за аутоматизацију процеса обраде. На пример, машинске функције могу бити:

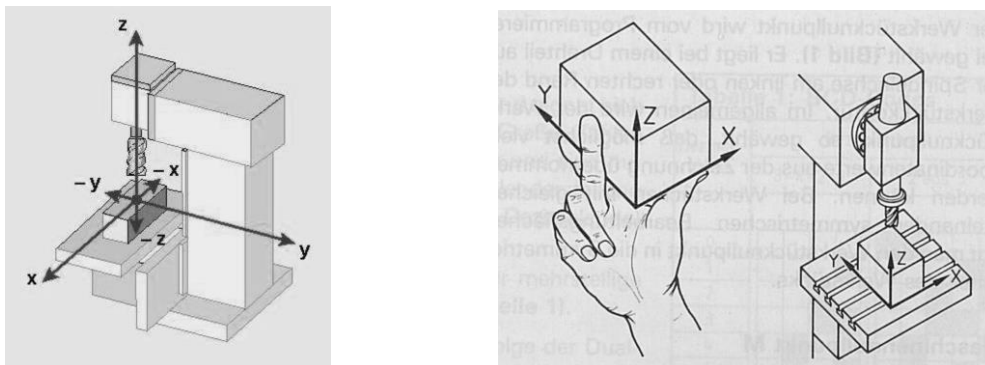
- укључивање главног вретена и регулација броја обртаја,
- позиционирање главног вретена,
- укључивање средства за хлађење и подмазивање и подешавање жељеног притиска,
- одржавање посмака константним,
- укључивање додатних уређаја,
- управљање мерним уређајима и уређајима за измену обратка, за додавање материјала, сортирање, транспорт струготине и друго.

Код програмирања CNC машина потребно је познавати одређене референтне, односно нулте тачке које дефинишу координатни систем и сам алат (слика 4.1) [6].



Слика 4.1 Координатни систем машине алатке(W – Нулта тачка припремка (Workpiece zero point), B-Почетна тачка алата (Begin point), R-Референтна тачка (Reference point), М – Нулта тачка машине(Machine zero point))

Код CNC глодалица координатни систем је троосни X,Y,Z (слика 4.2).



Слика 4.2 Координатни систем машина алатки (За одређивање позитивног правца координатног система користи се положај прстију десне руке, односно палац показује у позитивном смеру осе X, кажипрст у позитивном смеру осе Y, док средњи прст показује позитивни смер осе Z)

Процес израде делова на CNC машинама састоји се од следећих активности:

- разрада технологије и утврђивање редоследа захвата, алата и режима рада,
- припрема алата,
- програмирање,
- припрема машине,
- израда првог комада у серији и
- серијска производња.

Већина набројаних активности постоји и код класичних алатних машина, међутим оно што је својствено CNC машинама је програмирање. Програмирање је поступак писања програма према унапред дефинисаној технологији, а може се обављати ручно и помоћу рачунара. Ручно програмирање подразумева исписивање програма од стране технолога, тј. пише се сваки ред програма према дефинисаној технологији [4].

Програмирање помоћу рачунара подразумева аутоматску израду програма од стране рачунара на основу изабраних параметара програмера, као што су димензије припремка, пут алата, избор алата, режима рада итд., у посебним софтверима као што су: AUTODESK INVENTOR, PROENGINEER, SOLIDWORKS, MASTERCAM, ARTCAM, CATIA, UNIGRAPHIC NX, SOLIDCAM, VISUAL MILL, VISUAL TURN, EDGE CAM, FEATURECAM, VX-CAD/CAM, SURFCAM, и сл. Такође је могућа симулација програма и испис програма за изабрану управљачку јединицу. Овим се скраћује време и смањују трошкови израде програма, те је бржа израда првог комада на машини.

Програмирање подразумева израду следеће документације:

- операциони лист – садржи редослед операција радног предмета са потребним режимима рада и временима израде,
- план алата за радни предмет – садржи попис свих коришћених алата за обраду према редоследу коришћења, потребне мере, стандардне режиме и корекције,

- план стезања – обухвата основне габарите радног простора, положај радног предмета на машини, тачке ослањања предмета и место стезања, те положај нулте тачке,
- план резања – је главни документ за испис програма на којем су видљиве путање кретања алата за сваку операцију. Прати се пут кретања врха алата од почетка до краја обраде и
- испис програма – или краће програм, је задњи и најважнији документ по којем се уносе наредбе за управљање машином.

4.1 CAD/CAM систем

Савремен развој производа и производње један је од најважнијих предуслова успеха и опстанка на светском тржишту. То подразумева, између осталог, примену разних софтверских алата и технологија, међу којима су алати и технологије за аутоматизацију пројектовања, анализе, тестирања и израде производа који заузимају кључно место. Ови софтверски алати и технологије данас се описују скраћеницом PLM систем (енглески: „*Product Lifecycle Management system*”, систем за управљање животним циклусом производа), која означава свеукупност алата и технологија за аутоматизацију пројектовања машинских конструкција и њихову израду. Примена савремених CAD система, независно или у оквиру PLM система, подразумева стварање 3D геометријског модела производа применом моделских форми. Карактеристике моделских форми и читавог модела су параметарски описане, што доприноси високом нивоу флексибилности током развоја производа и његове даље употребе.

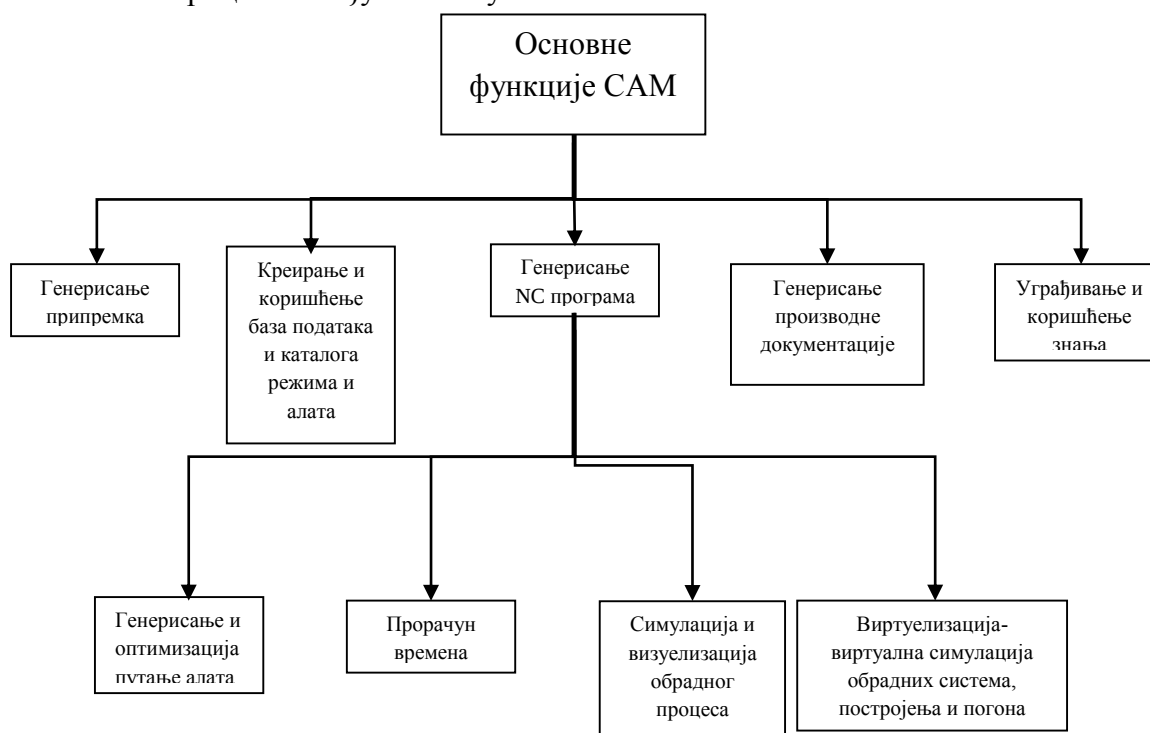
Приказивање, односно визуелизација, геометријских модела на екрану рачунара може се извести на више начина. Који ће се од начина изабрати зависи од врсте и сложености производа и потреба конструктора. За време развоја производа стално се јавља потреба за различитим начинима приказивања, како у циљу провере и контроле геометрије производа, тако и због олакшавања појединих поступака конструисања. Због тога модерни CAD/CAM системи поседују функције које кориснику омогућавају веома лак и брз прелазак са једне на неку другу врсту модела.

Када се заврши развој конструкције појединачних делова и склопова производа, у смислу детаљне разраде, анализе и оптимизације геометрије и физичких особина, приступа се њиховој изради. Другим речима, потребно је дефинисати процес трансформације од апстрактне (електронске) форме модела ка физичкој форми готовог производа. За ову намену користе се САМ системи, односно програмски системи за рачунаром подржану производњу.

САМ системи имају широко значење, с обзиром да, у општем случају, покривају велики број функција и активности које припадају различитим областима производних система, техника и технологија. Генерално, САМ системи представљају програмске алате који подржавају интензивну употребу рачунара за планирање и пројектовање производних и технолошких процеса и операција и управљање производњом, односно производним процесима. САМ системи имају могућност за аутоматско генерисање припремка на основу геометријског модела производа. Ова функција заснива се на тзв. логици додатака за обраду, односно логици стандардних димензија материјала. Користећи габаритне димензије геометријског модела САМ систем генерише допунски модел, тј. модел припремка и придружује га производно-технолошком моделу. Аутоматско генерисање припремка није увек могуће, или није увек пожељно, па је кориснику остављена

могућност директне интервенције и креирања припремка у складу са својим потребама.

Основне функције САМ система (слика 4.3) везане су за планирање производних технолошких процеса. Међу њима су:



Слика 4.3 Основне функције САМ система [4]

Генерисање и оптимизација путање алата је функција САМ система која се најчешће изводи у оквиру технолошког планирања. Међутим, има производних ситуација које захтевају накнадну проверу путања алата и њихову евентуалну корекцију и репарацију. Оне се углавном спроводе приликом израде сложенијих производа, када су путање алата ограничене, не само конфигурацијом производа, већ и конфигурацијом машина, опреме и радне околине. Тада је потребно обезбедити одговарајућу приступачност алата површинама и елементима на које делује, без интеракције са окружењем. Дакле, поред радних путања, директно повезаних са изработом производа, треба исправно генерисати и помоћне путање којима су дефинисани начини прилаза алата.

Креирање база података и дигиталних каталога машина, опреме, алата, прибора, режима рада и других битних елемената производног процеса од виталног је значаја за брзо и ефикасно моделирање и симулацију производње. САМ системи поседују посебне модуле за ту намену. Прорачун времена израде изводи се аутоматски на основу осталих производно-технолошких параметара, узимајући у обзир величину и конфигурацију производа. У општем случају, време израде, поред главног времена, укључује сва припремна, помоћна и завршна времена, како обрадног подсистема, тако и монтажног, транспортног и других подсистема производног система. Генерисање NC програма, којима се врши рачунарско управљање производном опремом, у потпуности је аутоматизовано. То се изводи посебним функцијама САМ система, на основу геометријског и технолошког модела.

Генерисање производне документације у савременим САМ системима односи се, пре свега, на формирање документације у електронском облику погодном за размену између различитих учесника у развоју производа. Како се данас комуникација ове врсте изводи у интернет окружењу, то се генерисање производне документације односи на аутоматско креирање (хипер текст) документа у HTML формату. Тако, на пример, за операцију глодања неког призматичног машинског елемента генерише се документ који садржи све релевантне податке о тој операцији.

У општем случају, CNC програмирање помоћу САМ система подразумева одређивање путање алата, режима резања и превођење плана обраде у списак инструкција разумљивих управљачкој јединици машине. Путања алата је скуп линија и тачака дуж којих се алат креће и у којима се посебно позиционира, или се извршава нека функција машине, од свог базног („паркирног“) положаја у радном простору машине, па током активне обраде дела, све до поновног враћања у базни положај.

Алат се дуж активног (обрадног) дела путање најчешће креће у више пролаза. Пролаз представља један циклус кретања алата по путањи. По завршетку једног пролаза алат се помера бочно у односу на путању, ка радном комаду, за величину додатка за обраду и изводи наредни пролаз. Тај поступак се понавља у оном броју пролаза који обезбеђује уклањање комплетног материјала са припремка предвиђеног текућим захватом или операцијом. Путања, поред линија, може садржати и скуп карактеристичних тачака у којима се врши промена смера кретања, промена режима обраде, укључивање или искључивање средстава за хлађење и подмазивање, измена алата и сл.

4.2 NC програм

NC програм садржи све информације потребне за процес обраде. Свака елементарна операција је дефинисана преко реченица. Више реченица чине блок који представља одређени захват на машини. Свака информација у оквиру реченице даје се преко речи. Реч се састоји из адресе и припадајућег броја са опционим предзнаком. Адресе су словни симболи који представљају одређену функцију и увек се налазе на почетку речи. Редослед речи у реченици је прописан. Адресе и кодне ознаке према ISO препорукама објашњавају се на следећи начин [8]:

- **N**→Број реченице и представља редни број. Неке управљачке јединице имају уређај за тражење реченица и допуштају произвољан редослед писања реченица.
- **G**→Функција инструкције померања, услова пута и информација о путу представља геометријски део програма. Услови пута одређени су адресом G и двоцифреним бројем.
- **X,Y,Z**→Координате. Ове адресе дефинишу главне осе усвојеног координатног система за путање кретања, дају информације о кретању.
- **I,J,K**→Адресе, помоћни параметри за кружну интерполацију, при чему параметар I одговара X-оси, J - Y-оси и K - Z-оси. Представљају растојања од почетне тачке интерполације до центра кружне линије мерено у правцу одговарајуће осе. Предзнак + је ако је то растојање мерено у + смеру одговарајуће осе, минус је супротан смер.
- **S**→Адреса за дефинисање броја обртаја. Зависно од врсте управљачке јединице и од тога да ли машина алатка поседује преносник са континуалном променом броја обртаја или не, постоји могућност

задавања броја обртаја директно у o/min. На пример за $n = 1120$ o/min следи да је S1120.

- **F**→Адреса за дефинисање помоћног кретања, посмака у mm/min. На пример F100 - представља брзину помоћног кретања од 100mm/min.
- **T**→Адреса за дефинисање броја алата. Наредба има словни симбол и два, три или четири цифарска места. Овом наредбом се дефинише број алата као и број припадајућег пара коректурних прекидача.
- **M**→Адреса за дефинисање помоћних или додатних функција: укључивање и искључивање главног вретена, измена алата, означавање краја блока и друго.
- **L**→Адреса за дефинисање „скока“, на пример, корака при пробијању, померање пробојца за исту величину корака у правцу кретања једне управљане осе.

Елементи програма и њихов ток су стандардизовани. Програм је сачињен од реченица - блокова. Једна реченица садржи све податке неопходне за спровођење једног радног захвата. Програмске реченице могу бити програмиране са променљивим бројем знакова. Свака реченица састоји се од више речи, а свака реч има одређено значење. Програмска реч је основни носилац информација. У програмирању су тачно дефинисани облик писања, дужина и садржај речи. Програмска реч представља комбинацију слова, знакова и цифара.

Функције су стандардизоване. Преглед основних G и M функција дат је у табелама 4.1 и 4.2.

Табела 4.1 Опис G функција

G функције		
Ред. бр	Речи	Значење речи
1.	G0	Брзо позиционирање (ход)
2.	G1	Линеарна интерполација
3.	G2	Кружна интерполација
4.	G3	Кружна интерполација
5.	G4	Време задржавања
6.	G9	Тачност заустављања
7.	G10	Програмско задавање коректура алата
8.	G12	Кружно глодање цепова
9.	G13	Кружно глодање цепова
10.	G17	Избор равни обраде XY
11.	G18	Избор равни обраде XZ
12.	G19	Избор равни обраде YZ
13.	G20	Програмирање у инчном систему
14.	G21	Програмирање у метричком систему
15.	G28	Одлазак у референтну тачку
16.	G29	Међуположај пре референтне тачке
17.	G31	Функција прескока
18.	G35	Аутоматско мерење пречника алата
19.	G36	Аутоматско мерење нулте тачке
20.	G37	Аутоматско мерење дужине алата

21.	G40	Поништавање коректуре пречника алата
22.	G41	Корекција дужине алата – лева
23.	G42	Корекција дужине алата – десна
24.	G43	Компензација дужине алата – позитивна
25.	G44	Компензација дужине алата – негативна
26.	G47	Гравирање
27.	G49	Поништавање функција G43 и G44
28.	G50	Поништавање функције G51
29.	G51	Скалирање
30.	G52	Постављање координатног система
31.	G53	Опозив текућег координатног система
32.	G54	1. Нулта тачка
33.	G55	2. Нулта тачка
34.	G56	3. Нулта тачка
35.	G57	4. Нулта тачка
36.	G58	5. Нулта тачка
37.	G59	6. Нулта тачка
38.	G60	Позиционирање увек из истог смера
39.	G61	Тачност заустављања
40.	G64	Укидање функције G61
41.	G65	Позив макро потпрограма
42.	G68	Ротација
43.	G69	Поништавање G68
44.	G70	Обрада отвора по кругу
45.	G71	Обрада отвора по кружном луку
46.	G72	Обрада отвора по правцу
47.	G73	Дубоко бушење
48.	G74	Урезивање навоја – леви навоји
49.	G76	Фино разбушивање
50.	G77	Разбушивање од дна рупе
51.	G80	Поништавање затворених циклуса
52.	G81	Циклус бушења
53.	G82	Циклус бушења са заустављањем
54.	G83	Циклус бушења са прекидима
55.	G84	Циклус урезивања навоја - десно
56.	G85	Циклус разбушивања, развртања
57.	G86	Циклус разбушивања са заустављањем
58.	G87	Циклус разбушивања са ручним повратком
59.	G88	Циклус разбушивања са чекањем
60.	G89	Циклус разбушивања са чекањем
61.	G90	Програмирање у апсолутним координатама
62.	G91	Програмирање у инкременталном координатном систему
63.	G92	Задавање радног координатног система
64.	G93	Задавање радног координатног система
65.	G94	Помоћно кретање дато као померај у минути
66.	G98	Повратак алата у стартну тачку циклуса
67.	G99	Повратак алата у референтну тачку циклуса
68.	G100	Поништавање функције пресликавања осе

69.	G101	Активирање функције пресликавања око осе
70.	G102	Програмирање излаза RS – 232
71.	G103	Лимитирање блокова гледаних унапред
72.	G110	7. Нулта тачка
73.	G111	8. Нулта тачка
74.	G112	9. Нулта тачка
75.	G113	10. Нулта тачка
76.	G114	11. Нулта тачка
77.	G115	12. Нулта тачка
78.	G116	13. Нулта тачка
79.	G117	14. Нулта тачка
80.	G118	15. Нулта тачка
81.	G119	16. Нулта тачка
82.	G120	17. Нулта тачка
83.	G121	18. Нулта тачка
84.	G122	19. Нулта тачка
85.	G123	20. Нулта тачка
86.	G124	21. Нулта тачка
87.	G125	22. Нулта тачка
88.	G126	23. Нулта тачка
89.	G127	24. Нулта тачка
90.	G128	25. Нулта тачка
91.	G129	26. Нулта тачка
92.	G150	Опште решење глодања цепова
93.	G154	Координатни систем
94.	G187	Контрола тачности обраде углова

Табела 4.2 Опис М функција

М функције		
Ред. бр	Речи	Значење речи
1.	M0	Обавезан прекид програма
2.	M1	Опциони прекид програма
3.	M2	Крај програма и заустављање машине
4.	M3	Обртање вретена у негативном математичком смеру
5.	M4	Обртање вретена у позитивном математичком смеру
6.	M5	Заустављање вретена
7.	M6	Измена алата
8.	M7	Укључивање СХП средства у млазу
9.	M8	Укључивање СХП средства у спреју
10.	M9	Искључивање СХП средства
11.	M10	Активирање кочнице за 4 осу
12.	M11	Деблокирање кочнице за 4 осу
13.	M12	Активирање кочнице за 5 осу
14.	M13	Деблокирање кочнице за 5 осу
15.	M16	Измена алата (опциона)
16.	M17	Отпуштање изменљиве палете и отварање врата за палете

17.	M18	Стезање изменљиве палете и затварање врата за палете
18.	M19	Оријентација вретена
19.	M21 – M28	Опције кориснички дефинисане М речи
20.	M30	Крај програма са повратком на почетак
21.	M31	Активирање система за одвођење струготине
22.	M33	Деактивирање система за одвођење струготине
23.	M34	Померање расхладне цеви на горе
24.	M35	Померање расхладне цеви на доле
25.	M36	Спремност палете делова
26.	M39	Обртање магацина алата
27.	M41	Нижи степен преноса
28.	M42	Виши степен преноса
29.	M50	Измена палете
30.	M51 – M58	Активне кориснички дефинисане М речи
31.	M59	Директно укључење дискретног излаза релеја
32.	M61 – M68	Неактивне кориснички дефинисане М речи
33.	M69	Затварање излазног релеја
34.	G75	Давање референтне тачке
35.	M76	Гашење екрана
36.	M77	Активирање екрана
37.	M78	Активирање аларма у случају сигнала прескакања
38.	M79	Активирање аларма у случају да не постоји сигнала преск.
39.	M80/M81	Аутоматска врата отворена/затворена
40.	M82	Алат отпуштен
41.	M83/M84	Аутоматски ваздушни пиштољ укључен/искључен
42.	M86	Стезање алата
43.	M88	Укључивање хлађења кроз вретено
44.	M89	Искључивање хлађења кроз вретено
45.	M96	Скок ако нема улаза сигнала
46.	M97	Позивање локалног потпрограма
47.	M98	Позивање потпрограма
48.	M99	Повратак из потпрограма или петље
49.	M109	Узајамни или кориснички улазни сигнал

4.3 Управљачки систем и интерфејс оператера за Haas – ову глодалицу

Управљачка јединица пројектована је тако да прихвата само оне информације и инструкције које су написане и задате у одговарајућем коду, при чему се под тим подразумева скуп синтаксних и семантичких правила за писање, презентацију и трансформисање података из једног облика у други, написаних у алфа - нумеричком облику. Са тог аспекта управљачки систем треба да задовољи обезбеђење свих неопходних функција којима се реализује програмски рад машине и управљање програмским радом машине.

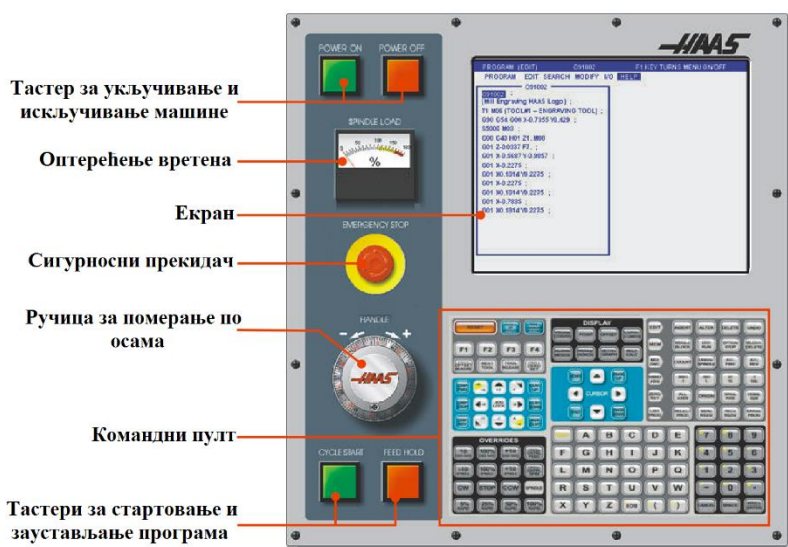
Стандардима је предвиђен начин кодирања информација, али сваки од произвођача управљачких јединица, па тако и управљачка јединица разматраног техничког система (Haas), има нека специфична одступања при дефинисању система кодирања. Њена примена, осим троосног управљања, омогућава и аутоматска геометријска прорачунавања, апсолутни и инкрементални унос вредности координата и програмабилну корекцију алата. Подаци могу да се уносе ручно, преко тастатуре на управљачкој табли, или посредством РС рачунара. Управљачка јединица обезбеђује:

- Слање управљачких сигнала (електричних импулса) извршним органима,
- Слање сигнала за вентиле протока, јачину струје преко D/A конвертора,
- Слање дигиталних сигнала до сервомотора и мерних уређаја преко појачавача,
- Слање сигнала до командних, граничних и радних прекидача,
- Приказ информација послужиоцу о активностима, стању и грешкама, итд.

Грешке које настају у процесу обраде углавном су програмског карактера, али и произвођач даје списак могућих грешака. Грешке се појављују у виду упозорења (алармне поруке, светлосна сигнализација, итд.). Уколико грешка није фатална, дакле уколико не угрожава спровођење процеса, исти се наставља до завршетка.

Командну таблу (слика 4.4), чине следећи елементи:

- Екран,
- Дигитална поља,
- Сигнална сијалица,
- Прекидачи за избор начина рада (аутоматски рад кроз реализовање програма, задавање кота и корекција алата, и осталих карактеристичних тачака обраде),
- Елементи за управљање алатом (директно активирање функција, укључивање разних опција, промена бројева обртаја, корекција параметара обраде, разне блокаде и прекидачи).



Слика 4.4 Командна табла техничког система HAAS ToolRoom Mill TM-1HE

Преко управљачке тастатуре оператер може у сваком тренутку да унесе податке за бројне акције. Они се углавном односе на заустављање рада вретена ради контроле, укључивање и искључивање средства за хлађење и подмазивање, итд. Како се врхови резних алата у одређеној мери хабају, долази до промене положаја стварне путање у односу на програмирану, па је неопходно извршити њену корекцију.

Једна од важних предности система управљања је и могућност корекције врха алата, чиме су избегнуте све могуће грешке услед затупљености алата. Корекција алата може се вршити и у току процеса извршења програма, уносом корективних вредности преко тастатуре.

На Наас – овој управљачкој јединици се може остварити програмирање на два начина:

- Ручно и
- Аутоматско програмирање.

4.3.1 Ручно програмирање

MDI режим

Ручно уношење података представља куцање програма директно преко тастатуре не користећи режиме **EDIT** и **MEM**. Програм се тада може извршавати а да се не уноси у меморију машине. Подаци из овог програма се губе када се искључи машина.

Едитовање у **MDI** је потпуно исто као код едитовања у меморију. У **MDI** су омогућене ручне команде за хлађења, вретено и магацин алата. Програм из **MDI** се увек може пребацити у меморију, тако што се курсор доведе на први ред (**HOME**), куца се име новог програма у стандардном формату а тада притисне тастер **ALTER**.

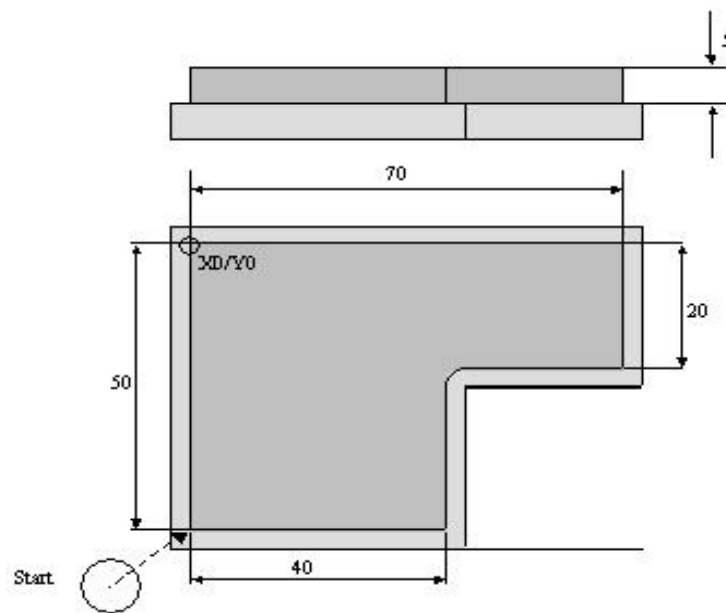
Унети програм у **MDI** се може комплетно избрисати притиском на тастер **ERASE PROG**. Најбржи начин избора неког одређеног алата из магацина јесте куцањем броја **Tnn** а потом се притиском на тастер **ATC FWD** или **ATC REV** бира смер окретања. Уколико су врата отворена да би се ово реализовало мора се држати тастер на левом боку пулта. Када је у параметру **57 bit DOOR STOP SP** сетован на 1, број обртаја вретена је аутоматски ограничен на 750 o/min, када су врата отворена.

HANDLE JOG режим

Ручно померање алата остварује се у режиму **HANDLE JOG**, помоћу тастера за смер осе. Помоћу четири тастера бира се вредност једног подеока ручног точкића (0.001; 0.01; 0.1 mm/prod), или брзину кретања по оси (0.1; 1.; 10.; 100 mm/min). Помоћу тастера **JOG LOCK** меморише се путања кретања алата, тако да алат наставља да се креће и када се пусти команда смера. Кретање се зауставља поновним притиском на тастер **JOG LOCK** или помоћу **RESET** тастера. Да би се алат кретао помоћу тастера смера потребно је тастер држати дуже од 0,5 секунди.

Два примера ручног програмирања за Наас – ову управљачку јединицу дата су у следећем тексту.

Пример 1 (чеоно глодање – слика 4.5)

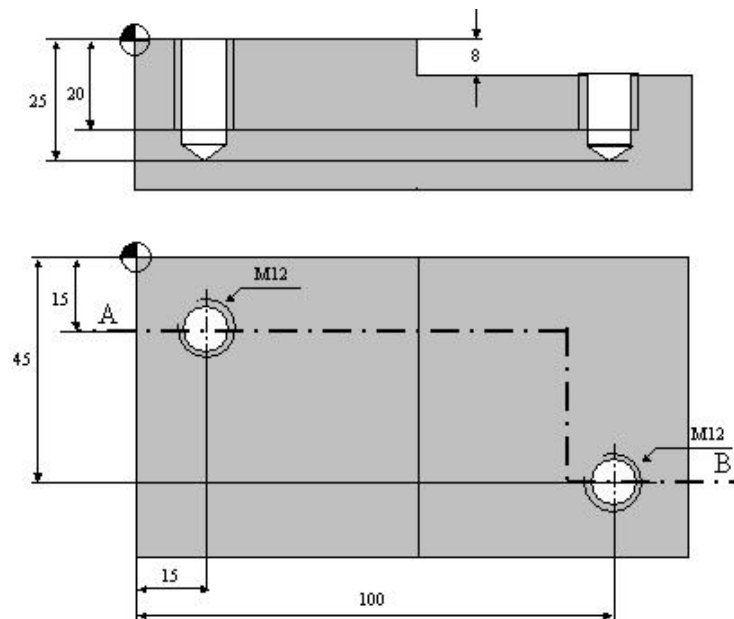


Слика 4.5 Чеоно глодање

Таблица 4.3 Програм за чеоно глодање

O00001 (Апсолутно програмирање)	Редни број NC програм
T1 M06 (Чеоно глодало Ø10)	Измена алата врши се функцијом M06, редни број алата означава се са T
G54	Меморисане позиције коришћеног координатног система
G90	Програмирање у апсолутном мерном систему
G00 X – 15. Y – 65. S900 M3	G0 – брзи ход; X, Y су координате кретање алата, S – број обртаја главног вретена (o/min).
G43 H01 Z3 /M08	
G01 Z -5. F500	Посмак 500 mm/min
G01G41 X0 Y – 50.D01 F300	D01 – позивање полупречника одређеног алата којег машина компензује при обради са познатим полупречником који је смештен у регистар D, под редним бројем 1.
Y0	
X70	
Y-20	
X40	
Y-50	
X0	
G0 G40 X-15. Y-65.M09	G40 поништавање актуелне компензације алата G40 или G42; M09 – искључено расхладно средство.
G0 G53 Z0	
G53 Y0	
M30	

Пример 2 (обрада забушивањем, бушењем и урезивањем навоја – слика 4.6)



Слика 4.6 Обрада забушивањем, бушењем и урезивањем навоја

Таблица 4.7 Програм за обраду забушивањем, бушењем и урезивањем навоја

O00002	Редни број NC програма
T01M06	Измена алата врши се функцијом M06, редни број алата означава се са T.
G54	Меморисана позиција корисничког координатног система
G90 G0 X15. Y-15. S1000 M03	G0 – брзи ход; X, Y су координате кретања алата, S – број обртаја главног вретена (o/min).
G43 H01 Z2. M08	
G81 Z -6.3 R1. F120.	G81 – циклус бушења, Z – дубина рупе, R – позиција R равни (у овом случају 1 mm изнад предмета обраде), F – посмак (mm/min).
X100. Y-45.R-7	
G80	
T2 M06 (Спирална бургија Ø10.5)	Измена алата
G54 G90	G54 – меморисана позиција корисничког координатног система, G90 – програмирање у апсолутном мерном систему
G0 X100. Y -45. S900 M03	S – број обртаја главног вретена (o/min), M3 – служи за давање смера обртања главног вретена)
G43 H2 Z2. M08	
G83 Z-25. R-7.16. J1. K3. F100.	G83 – циклус бушења са прекидима, Z – дубина бушења, R – позиција R равни (у овом случају -7,16 mm изнад предмета обраде), J – величина којом се редукује

	сваки следећи пролаз (mm), K – минимална дубина пролаза (mm), F – посмак (mm/min).
X15. Y-15. R1	
G80	
T3 M06 (Урезница M12)	Измена алата
G54 G90 G0 X15 Y-15. S400	S – број обртаја (o/min)
G84 Z-20.R3. F800	G84 – циклус урезивања навоја (десни), Z – позиција дна, R – позиција R равни (у овом случају 3 mm изнад предмета обраде), F - посмак –(mm/min)
X100. Y-45.R-5.	
G80.	
G53Z0M09	
G53Y0M05	
M30	

4.3.2 Аутоматско програмирање

Селектовање програма из листе

Да би се селектовао неки програм из листе потребно је прећи у режим **LIST PROG**. Тада се види комплетна листа програма који се налазе у меморији. Селектовање програма се врши тако што се курсор доведе, помоћу тастера **CURSOR UP/DOWN** на жељени програм а потом се притисне тастер **SELECT PROG**. Испред одабраног програма појавиће се звездица *.

Други начин да се селекује програм из листе јесте да се откуца име жељеног програма и потом притисне тастер **SELECT PROG**.

Стартовање извршења програма

По укључењу машине мора се најпре ићи на иницијализацију — проналажење референтне тачке свих оса машине. Најједноставнији поступак је да се користи тастер **POWER UP/RESTART**. Све осе ће отићи у референтну тачку и магацин алата ће се иницијализовати (наћи ће први алат), појавиће се екран **CURRENT COMMANDS**, и прећи ће се у **MEM** режим. Тада је управљање спремно да стартује извршење програма који је први на листи.

Покретање програма се врши помоћу тастера **CYCLE START. SETING 36** је битан за поступак рестарта програма. Било која грешка у програму изазваће одговарајући аларм и зауставиће даље извршење програма. Типичне грешке су прекорачење радног поља или заборављени параметри I, J или Q.

Ресетовање програма

Овај поступак омогућује оператеру на машини да стартује програм са било ког блока. Потребно је **setting 36** подесити на **ON**, довести курсор на жељени блок, и стартовати са **CYCLE START**. Управљање почиње да извршава такозвани невидљиви

део програма, а када дође до одабраног блока оно преузима све потребне податке из претходних блокова. После тога нормално наставља да извршава жељени блок и све иза њега до краја програма.

STOP програм

Постоји неколико начина за заустављање извршења програма:

- Програмски помоћу M00, M01, M02 или M30,
- Са **FEED HOLD** тастером. Наставља се са **CYCLE START**,
- Зауставља се на крају блока уколико је активирана функција **SINGLE BLOCK**. Наставак са **CYCLE START** и
- Када се отворе врата програм се зауставља а наставља када се врата затворе.

Нерегуларно заустављање програма

RESET - тастером се заустављају све осе, вретено, магацин алата, хлађење. Уколико је **setting 31** на **ON** курсор остаје и не враћа се на почетак програма.

EMERGENCY - Овај тастер зауставља све осе, вретено, магацин алата, хлађење.

STOP – не може се наставити програм већ се мора ресетовати грешка бар два пута.

ALARM - Уколико се укључи аларм у току извршења програма, извршење се зауставља. Најпре се мора ресетовати грешка, али се не може наставити од блока на ком је програм стао.

POWER OFF - Сва кретања се заустављају у оквиру једне секунде.

Сигнализација стања машине

Ова сигнализација налази се на командној табли. Постоје црвена и зелена светиљка и оне служе да се прати статус машине из било ког угла. Зелена светиљка светли трајно док се програм нормално извршава.

Зелена светиљка трепери приликом заустављања извршења програма на машини, у следећим ситуацијама:

- Ако је селековано **FEEDHOLD**,
- Ако је селековано **SINGLE BLOCK** и
- Ако се у програму појави M00, M01, M02 , M30.

Треперење престаје притиском на тастер **RESET** или при отварању врата на крају програма.

Црвена светиљка трепери уколико се укључи **ALARM** или је притиснут тастер **EMERGENCY STOP**.

Креирање програма

Креирање новог програма врши се у модулу **PRGRM/CONVRS**, режиму **LIST PROG**. Уноси се **O** (слово O не број 0) и петоцифрени број, што представља име програма, и затим се притисне тастер **SELECT PROG** или **ENTER**. Сада се празан програм налази у главној меморији, и један је од програма који се може видети у **MEM** или **EDIT** режиму. Да би се видео садржај програма потребно је притиснути тастер **EDIT**. Тај нови програм садржи само име програма **Oxxxxx** и знак за крај блока **EOB (;)**. Сви нови подаци се уносе куцањем помоћу алфанумеричке тастатуре, а њихова потврда се врши тастерима **INSERT**, **ALTER** или **WRITE**. Унети подаци могу бити адресни (слово и одређени број), коментари (текст од мах 80 знакова) који се налазе унутар заграде (**xxxxx**), или знак за крај блока **EOB (;)**.

Проналажење неког податка у програму, врши се на следећи начин.

Унеси се податак који се тражи а онда се стрелицом доле/горе врши претраживање према крају или почетку програма. Сваки пут када рачунар пронађе тражени текст он се заустави на њему. Новим притиском на тастер тражи се следећи блок у ком се налази исти текст.

Када је потребно додати податак у неком блоку програма пише се нови текст, довођењем курсора на жељено место и притиском на тастер **INSERT**. Тада се нови податак уноси у програм на место иза курсора. Када треба неки податак заменити са новим, пише се тај нови податак и потом притисне тастер **ALTER**.

За брисање неког податка из програма користи се тастер **DELETE**. Помоћу тастера **UNDO** може се вратити до девет корака уназад приликом уношења измена. Име једном унетог програма лако се мења уношењем новог имена и притиском на тастер **ALTER** врши се замена старог.

Едитовање програма

EDIT режим се користи за уношење измена у програму који се налази у меморији. Промена имена програма врши се довођењем курсора на име, уношењем слова **O** и нових пет цифара а тастером **ALTER** се изврши замена.

За померање курсора кроз програм може се користити и ручни точкић. Да би се ова функција активирала потребно је у параметру 57 променити одговарајући бит.

BECKGROUND едитовање је уношење новог програма преко тастатуре док се неки други програм извршава.

Брисање програма из меморије

Како би се избрисао постојећи програм потребно је ући у **LIST PROG**, затим се помоћу курсора означити жељени програм и притисне тастер **ERASE PROG**. Такође се може унети број програма који се жели обрисати, а затим притиснути тастер **ERASE PROG**.

Рад са блоковима

Ово се односи на блокове од једне или више линија програма. Са њима се могу вршити следеће радње:

- **BLOCK DUPLICATE,**
- **BLOCK MOVE** и
- **BLOCK DELETE.**

Да би се дефинисао жељени блок тастером **F1** означи се почетак (прва линија), а тастером **F2** крај блока (последња линија). Када је извршено одређивање блока од више програмских линија, на екрану ће се појавити упутство које тастере треба користити за одабрану операцију.

- Тастер **INSERT** се користи за уметање овог блока на позицију курсора,
- Тастер **DELETE** се користи за брисање целог блока,
- Тастер **ALTER** се користи за замену, премештање блока и
- Тастер **UNDO** се користи за поништавање дефиниције блока.

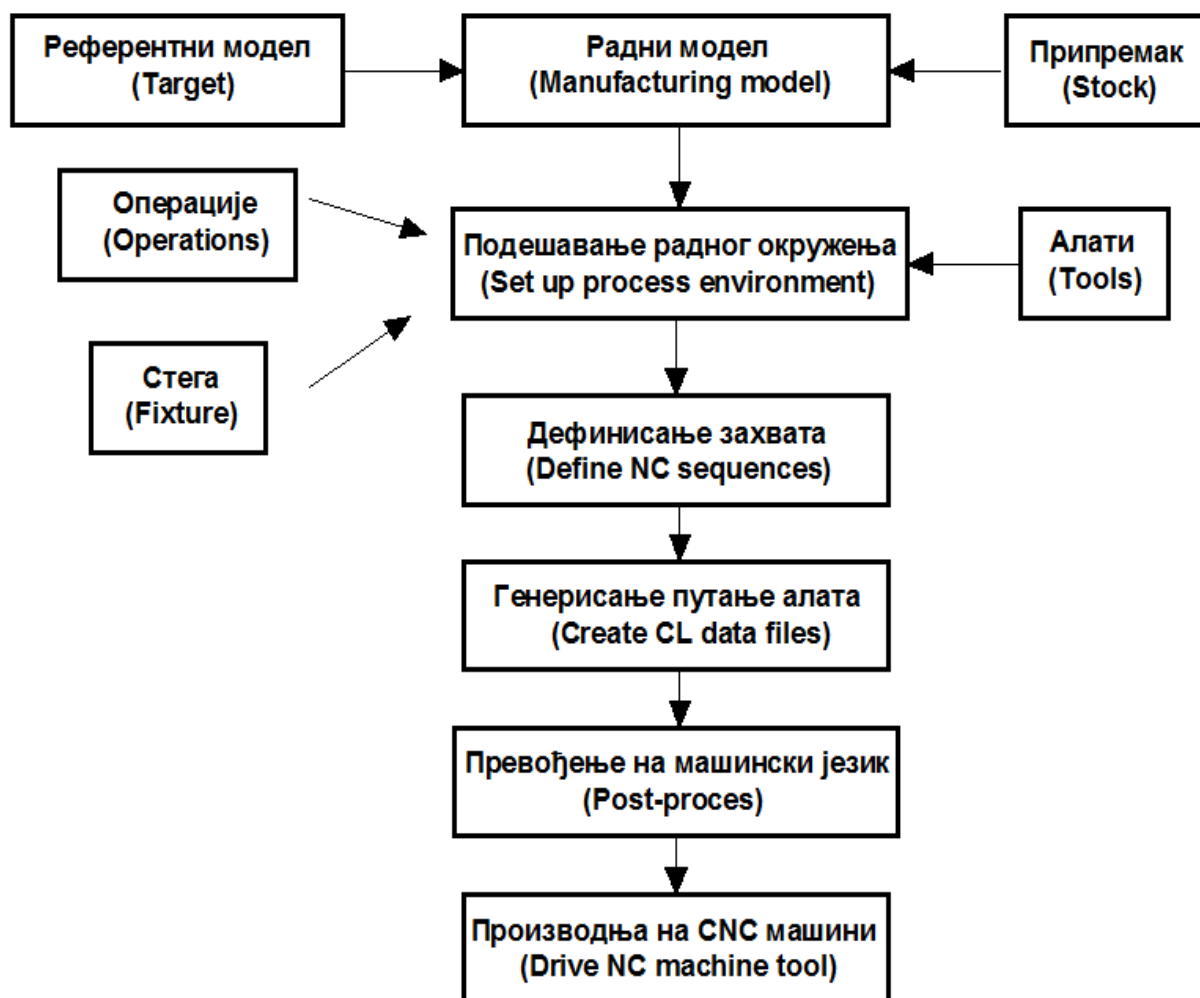
Делови програма могу се копирати из једног програма у други помоћу **BLOCK COPY** команде (помоћу тастера F1 и F2). Најпре се селекује део програма, затим се пређе у други програм и курсор доведе на жељено место и тастером **INSERT** изврши копирање. Тастером **UNDO** излази се из **BLOCK COPY** опције.

5. Технологија израде калупа алата

Производња делова на класичним машинама захтева ангажовање великог броја људи, почев од конструктора, технолога, контролора па до непосредних извршиоца (стругара, глодача, брусача итд.) [6].

Са појавом CNC машина поступак производње је доста поједностављен. Највећи део посла завршава програмер, а све остало припада машини.

Увођењем програмских пакета за моделирање производа, учињен је још један корак напред. Наиме, сада се на основу модела може генерисати путања алата и аутоматски направити програм за CNC машину. Шематски приказ оваквог начина производње приказан је на слици 5.1.



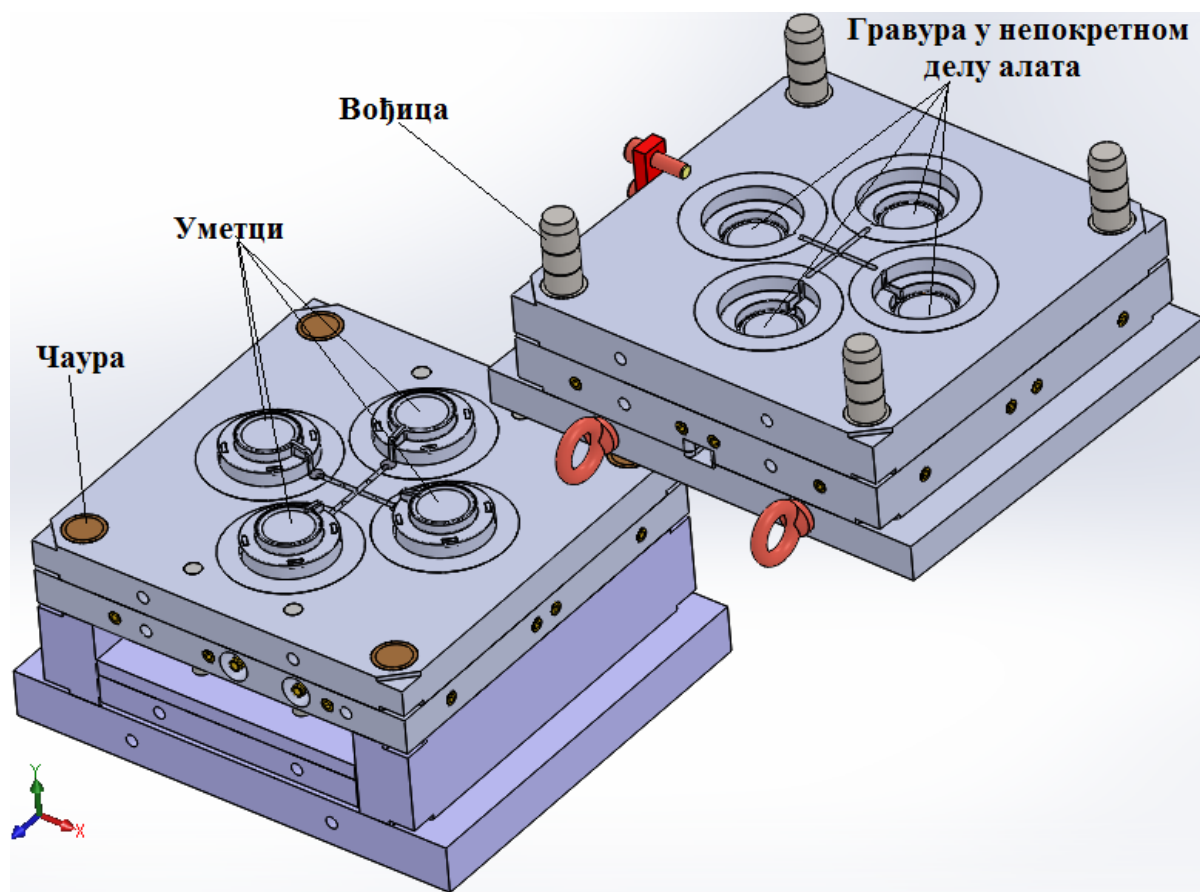
Слика 5.1 Примена софтвера у производњи [6]

Као што се види на слици 5.1 полазни основ за софтвером подржану производњу представља радни модел, који се формира у CAD окружењу и састоји се од припремног и референтног модела. За такав модел врши се подешавање радног окружења, што подразумева постављање редоследа операција, избора алата и одређивање начина стезања. Наредни корак представља дефинисање захвата и генерисање путање алата. Последњи корак, пре саме производње, је писање програма на начин разумљив CNC машини и као такав се користи на истој.

У овом поглављу, за алат приказан на слици 5.2, биће дата технологија израде уметака и калупне шупљине, који се израђују коришћењем следећих технологија:

- Груба обрада глодањем,
- Фина обрада глодањем,
- Термичка обрада и
- Електроерозиона обрада.

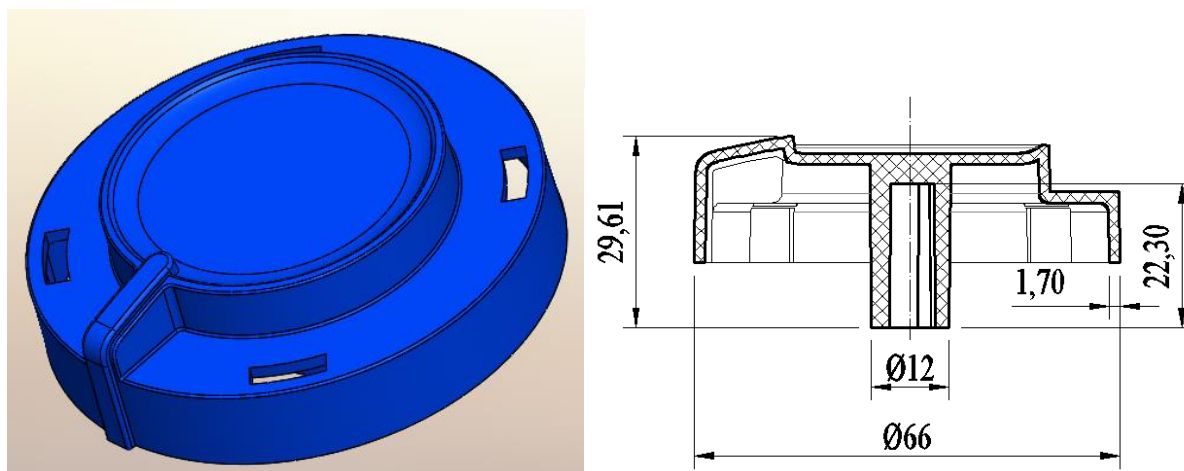
За процес глодања (груба обрада) биће детаљно разрађена технологија израде коришћењем софтвера SolidCAM, док ће за процес финог глодања бити дат генерисани NC код.



Слика 5.2 Алат за бризгање пластике

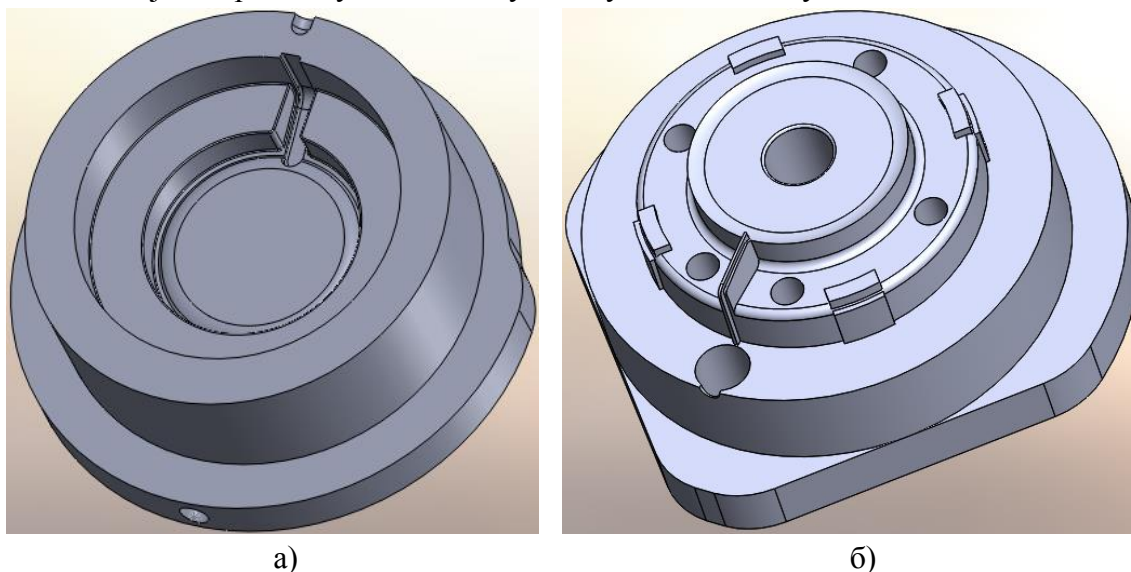
Алат приказан на слици 5.2 користи се за бризгање тела дугмета бојлера, приказаног на слици 5.3. Због повећања продуктивности производње алат је израђен са

четири гнезда. Делови калупа алата израђени су као уметци. Један део представља калупну шупљину (женски део) и налази се у непокретном делу алата, док други део представља мушки део гравуре и налази се у покретном делу алата.



Слика 5.3 Тело дугмета бојлера

Издвојени прикази уметка и калупне шупљине дати су на слици 5.4.



Слика 5.4 Делови калупа алата (а – калупна шупљина (женски део), б – уметак (мушки део))

Како би се исправно прописала технологија, потребно је упознати се са главним карактеристикама материјала. Материјал коришћен за израду уметка и калупне шупљине је челик X38CrMoV5-1 (UTOPMO1). Овај челик спада у групу високолегираних челика и погодан је за обраду. Упоредне ознаке овог челика са другим стандардима и основне карактеристике дате су у следећим таблицама [10].

Таблица 5.1 Упоредне ознаке челика X38CrMoV5-1

Име челика	Равне број	Мат. број	JUS	EN	AISI
UTOPMO1	850	1.2343	Ї 4751	X27CrMoV51	H11

Таблица 5.2 Хемијски састав челика X38CrMoV5-1

C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	V	W	Друго
0,37	1	0,38	5,15	1,30	-	0,40	-	-

Таблица 5.3 Физичке карактеристике челика X38CrMoV5-1

Модул еластичности [$\times 10^3$ MPa]	215, 176 (на 500°C), 165 (на 600°C)
Густина [g/cm^3]	7,80, 7,62 (на 500°C), 7,60 (на 600°C)
Термичка проводљивост [W/mK]	25, 28,5 (на 500°C), 29,3 (на 600°C)
Електрична отпорност [Ω]	0,52, 0,86 (на 500°C), 0,96 (на 600°C)
Специфични топлотни капацитет [J/gK]	0,46, 0,55 (на 500°C), 0,59 (на 600°C)

5.1 Основне команде софтвера SolidCAM

Један од CAM софтвера намењен за добијање NC кода је **SolidCAM 2013**, производ фирме **Dassault systemes**. Главни задаци које овај софтвер обезбеђује приликом генерисања NC кода су:

- Одређивање облика почетног комада,
- Дефинисање операција на деловима при генерисања NC кода,
- Дефинисање услова генерисања NC кода при обрадном процесу,
- Визуелизација скидања вишка материјала, приказ обрадног процеса,
- Модификовање геометрије и поправљање операција генерисања NC кода и
- Генерисање NC кода за CNC машине.

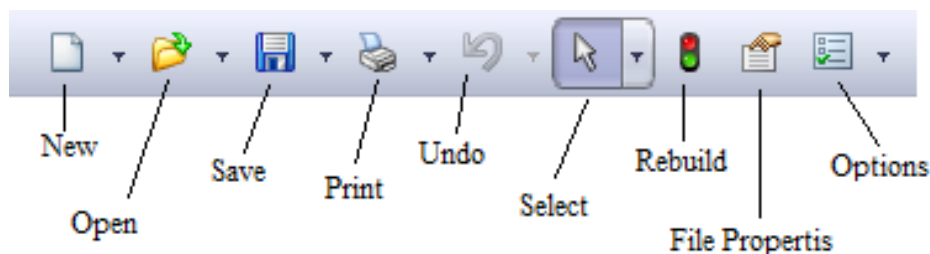
Програм поседује модуле за 2.5D и 3D глодање на троосним машинама, моделирање пуних облика, аутоматско препознавање облика (feature-a) на 3D моделима, обраду на 2D струговима. Основна предност је што се за процесе аутоматски врши одабир операција, алата, стратегија, брзина, корака, путања и на крају NC кода. Могуће је коришћење модела из других софтвера (*AUTODESK INVENTOR*, *PROENGINEER*, *SOLIDWORKS*, *MASTERCAM*, *CATIA*), у формату *iges*, *step*, *stl* или у форматима CAD програма *CATIA (catpart)*, *PROENGINEER (prt)*, *SOLIDWORKS (sldprt, sldasm)*, *AUTOCAD (dwg, dxf)*, *AUTODESK INVENTOR (ipt, iam)* итд.

Радно окружење програма је једноставно и прегледно, урађено по стандардном обрасцу **Windows** окружења (линија менија, алата, радна површина, статусна линија). Све команде, којима овај модул располаже, налазе се на одговарајућим палетама алата (**toolbars**), а неколицина се понавља и у падајућим менијима. Даље, у тексту ће бити објашњене карактеристичне палете алата за овај модул. Палете алата, посматране са аспекта значаја заступљености у фазама симулирања процеса, могу се поделити у две групе:

- Палете алата за општу намену и
- Палете алата за процесирање.

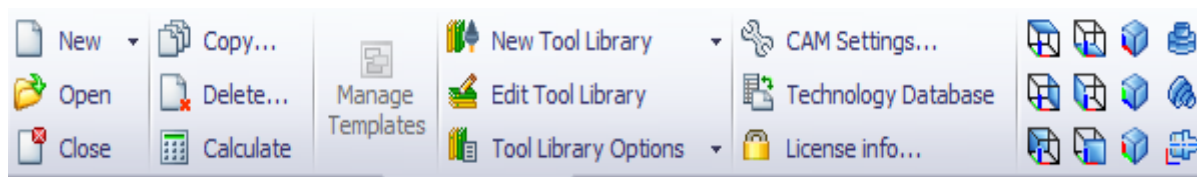
Детаљна функција команди појединих палета алата биће образложена само за поменућу групу опште намене, док ће се осталим палетама посебно посветити пажња у одговарајућим поглављима.

Основна палета алата је приказана сликом 5.5. У овој палети алата се налазе следеће команде: **New** – нов документ; **Open** – отварање постојећег документа; **Save** – снимање активног документа; **Print** – штампање; **Options** – додатне опције; **Undo** – враћање корак уназад; **Select** – обележавање; **Rebuild** – преправљање модела; **File Propertis** – информације о моделу.



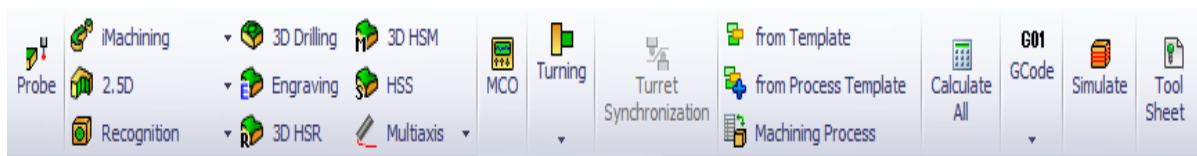
Слика 5.5 Основна палета алата

У оквиру палете алата **SolidCAM Part** (слика 5.6) налазе се следеће команде: **Calculate** – рачунање операције, **New Tool Library** – нова библиотека алата, **Edit Tool Library** – промена у библиотеци алата, **Tool Library Options** – опције библиотеке алата, **CAM Settings** – подешавање основних параметара SolidCAM, **Technology Database** – база технологије, **License info** – информације о лиценци,  - једна од команди за визуелни приказ.



Слика 5.6 Палета алата SolidCAM Part

Палета алата за процесирање – **SolidCAM Operations** (слика 5.7) у себи садржи следеће команде: **Probe** – мерење, **iMachining** – укопавање жлеба, **3D Drilling** – бушење, **Engraving** – гравирање, **3D HSR** – груба обрада 3D делова, **3D HSM** – фина обрада 3D делова, **HSS** – фина обрада селектованих површина, **Multiaxis** – вишеосна обрада, **Turning** – стругање, **Calculate All** – прорачун свих операција, **GCode** – генерисање G кода, **Simulate** – пуштање симулације, **Tool Sheet** – генерисање основних информација о алату.

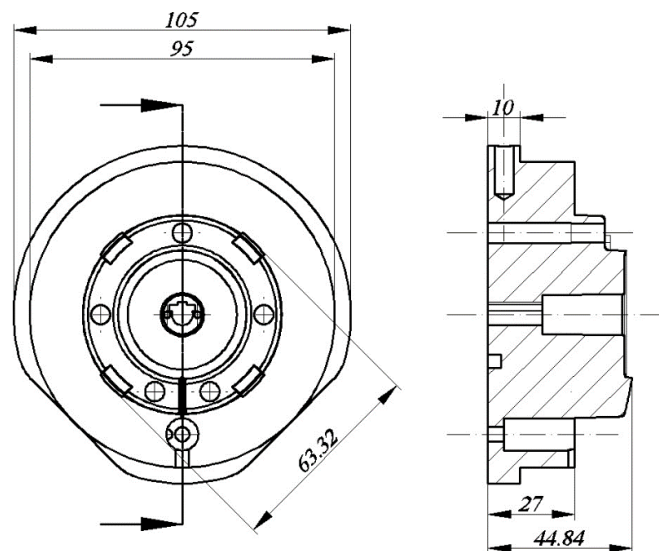


Слика 5.7 Палета алата SolidCAM Operations

5.2 Машинирање делова калуца алата

Након општег осврта на софтвер и његово основно окружење, може се приступити решавању конкретног проблема, кроз који ће практично бити описана

функција појединих команди. Пример на којем ће бити објашњен процес машинирања дат је на слици 5.4 – а, а његове основне димензије дате су на слици 5.8.



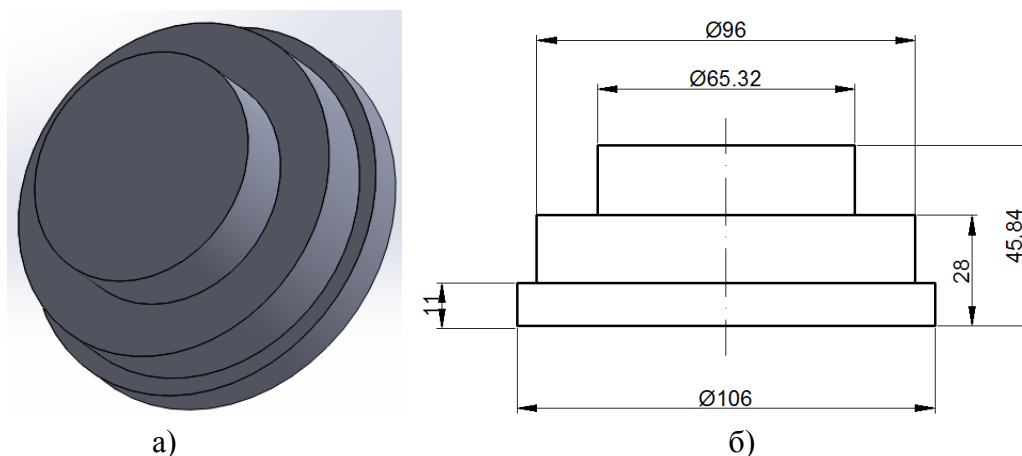
Слика 5.8 Основне димензије уметка

Процес машинирања се састоји из неколико фаза:

- Дефинисање геометрије припремног комада и формирање склопа,
- Увожење и дефинисање склопа у SolidCAM –у,
- Процес машинирања и
- Генерисање NC кода за машину.

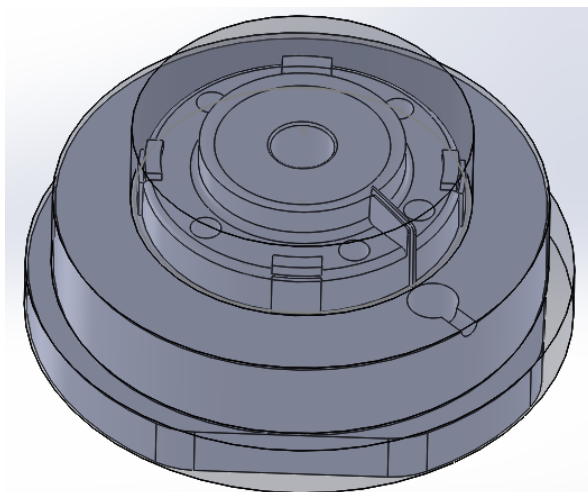
5.2.1 Дефинисање геометрије припремног комада и формирање склопа

Припремни комад мора имати веће димензије у односу на радни комад за величину додатака потребних за фину и грубу обраду. Ти додаци износе 1 mm по пречнику за цилиндричне површине и 1 mm за хоризонталне површине. Формирање припремног комада изводи се у софтверу **SolidWorks**. Припремак и његове основне димензије дате су на слици 5.9.



Слика 5.9 Припремак (а – 3D модел, б – технички цртеж)

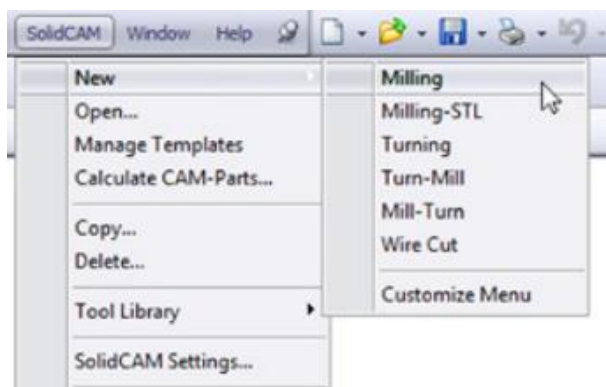
Након дефинисања геометрије припремка формира се склоп за машинирање. Склоп се састоји из припремног и референтног комада и приказан је на слици 5.10. Делови су везани по доњој површини и центрирани по оси симетрије.



Слика 5.10 Склоп припремка и референтног модела

5.2.2 Увожење и дефинисање склопа у SolidCAM –у

Припремљени склоп отвара се у стандардном окружењу **SolidWorks** - а након чега се одабиром иконице **SolidCAM Part** отвара палета алата **SolidCAM** –а. Одабиром команде **New/Milling** (слика 5.11) прелази се у модул за машинирање процеса глодања.

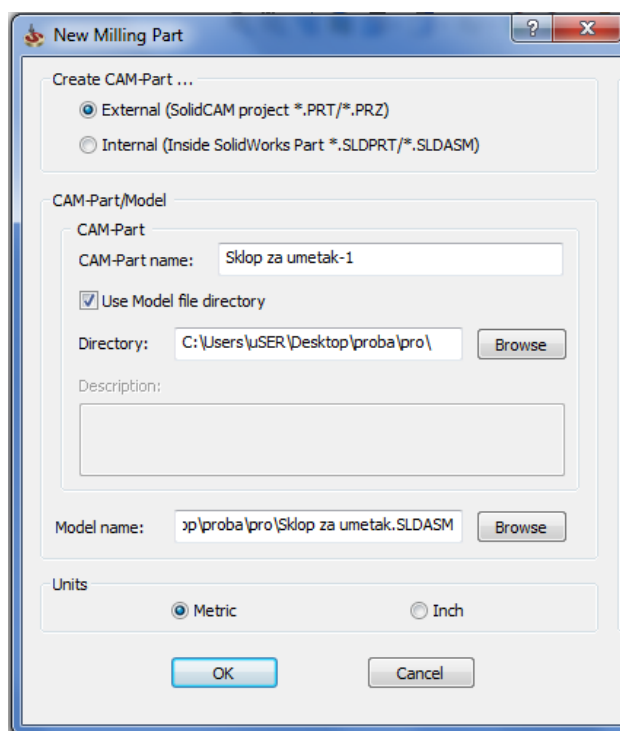


Слика 5.11 Улазак у модул SolidCAM

Следећи прозор који се појављује је **New Milling Part** (слика 5.12). У оквиру овог прозора се дефинише локација на којој ће бити чуван нови CAM модел. Постоје две могућности снимања:

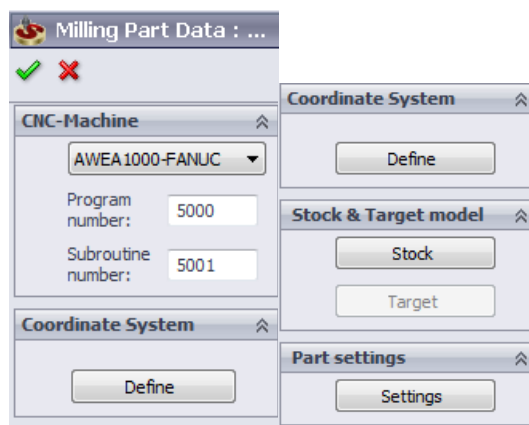
- **External** – задржава се већ постојећи CAD модел и на новој локацији се формира CAM модел и
- **Internal** – постојећи CAD модел се трансформише у CAM модел.

У оквиру овог прозора се дефинише и локација на којој се врши снимање, као и систем јединица који се користи (метрички или инчни)



Слика 5.12 Прозор New Milling Part

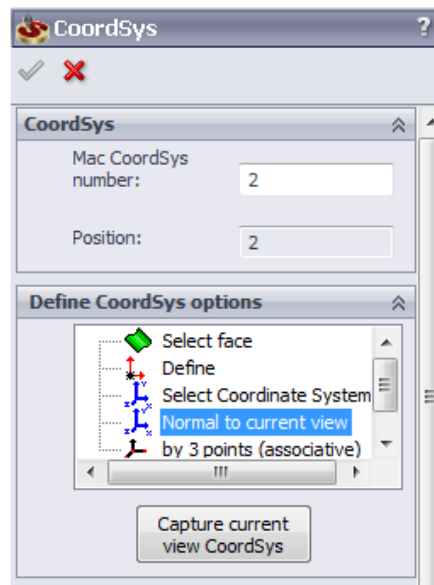
Наредни корак је дефинисање радног модела (слика 5.13). То подразумева дефинисање референтног модела (**Target**), припремка (**Stock**) и координатног система (**Coordinat System**). Како би се дефинисало радно окружење потребно је, поред наведених параметара, одредити и машину на којој ће се обрада вршити (**CNC – Machine**).



Слика 5.13 Прозор Miling Part Data

Приликом дефинисања координатног система може се одабрати претходно формиран координатни систем у CAD моделу (**Select Cordinat System**). Уколико не постоји претходно формиран координатни систем, он се може дефинисати одабиром једне од следећих команди (слика 5.14):

- **Select face** – постављање координатног система на обележену површину,
- **Define** – дефинисање координатног система преко координата,
- **Normal to current view** - нормално на одређени поглед и
- **By 3 points** – преко 3 тачке.

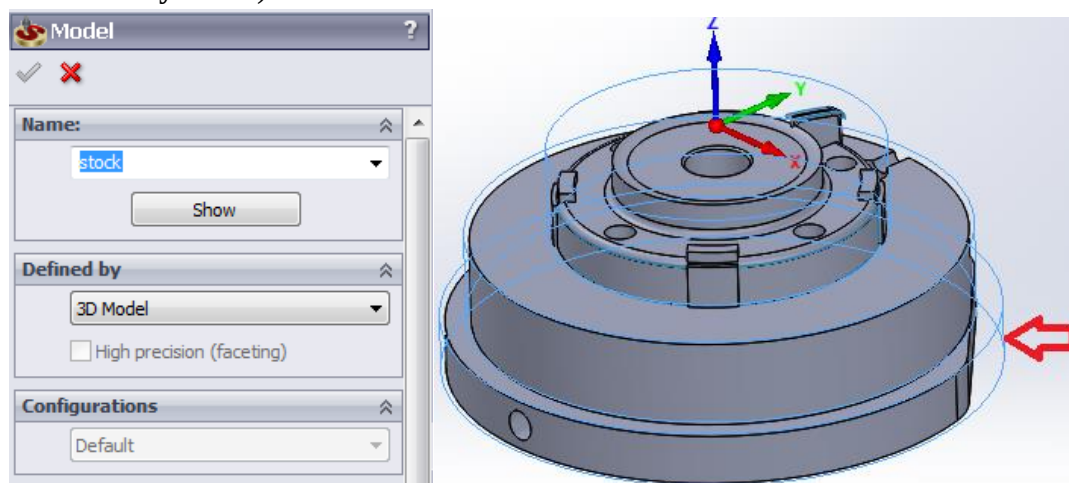


Слика 5.14 Дефинисање координатног система

У овом примеру изабран је већ постојећи координатни систем формиран у CAD моделу.

Дефинисање припремног комада (**Stock**) могуће је извршити на два начина (слика 5.15):

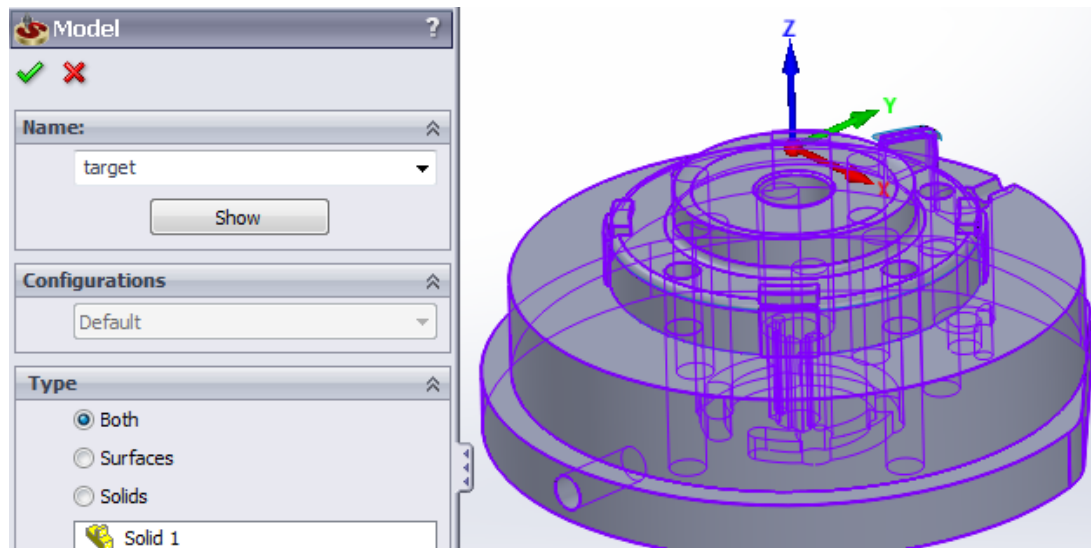
- Одабиром већ постојећег CAD модела припремка (**3D model, STL**) или
- Формирањем припремка у оквиру SolidCAM-а (**Box, Extruded boundary, Cylinder**).



Слика 5.15 Дефинисање припремка (Stock)

За разматрани случај изабран је већ постојећи CAD модел припремка.

Референтни модел (**Target**) се дефинише обележавањем увезеног CAD модела уметка (слика 5.16).



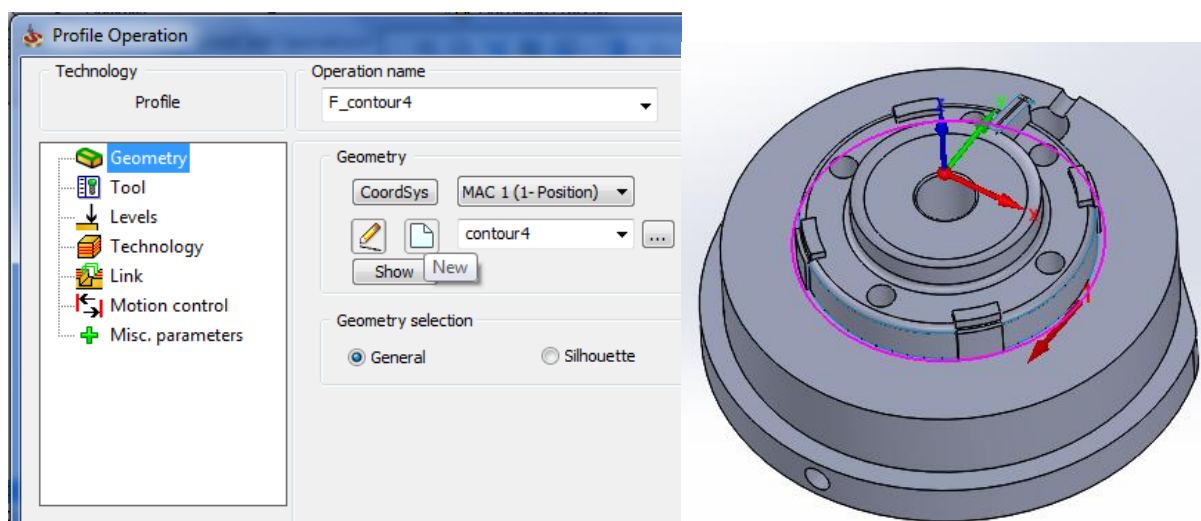
Слика 5.16 Дефинисање референтног модела

5.2.3 Процес машинирања

Након што је у потпуности дефинисан радни модел, може се приступити процесу машинирања. Прва операција, која се користи за скидање материјала по задатој путањи, је **Profile Operation** (профилно глодање). У оквиру ове операције потребно је дефинисати:

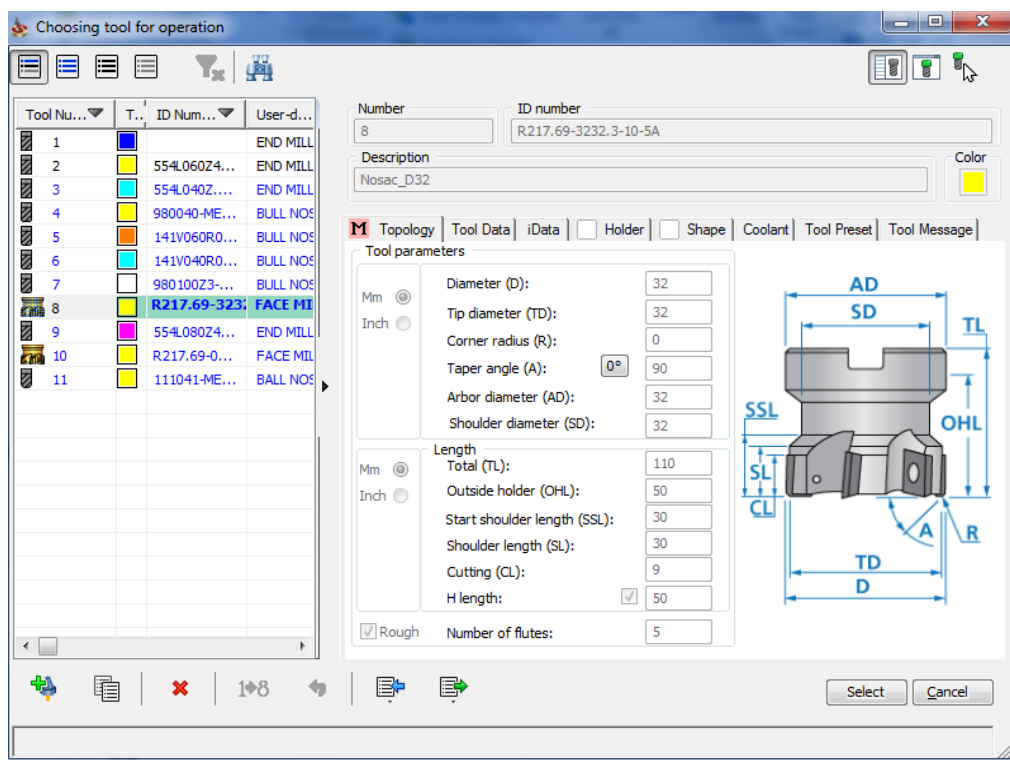
- Путању алата,
- Алат и режим обраде,
- Дубину резања и сигурносну раван и
- Стратегију обраде.

Путања алата се дефинише у оквиру прозора **Geometry**, избором команде **New** и селектовањем контуре на CAD моделу радног комада (слика 5.17).



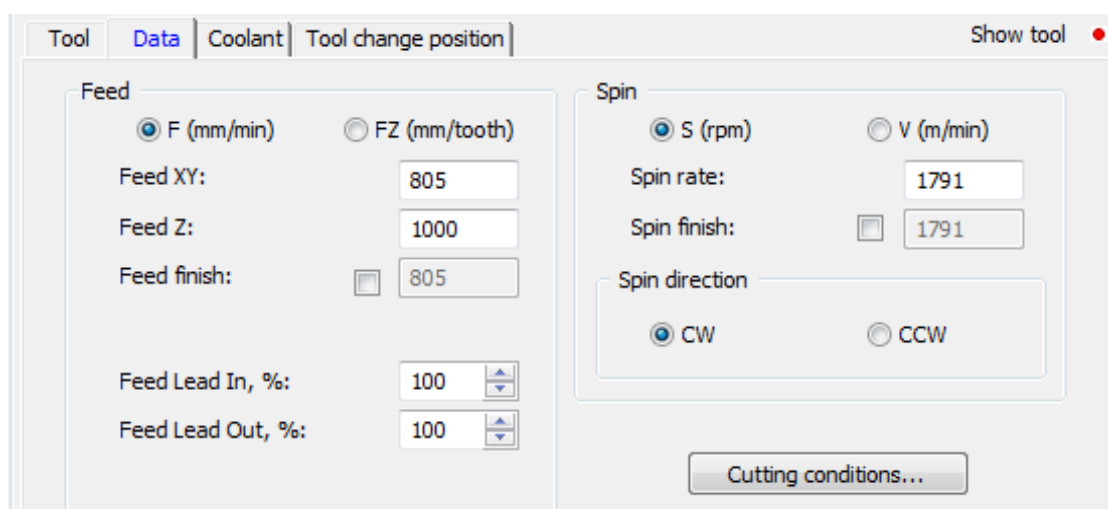
Слика 5.17 Селектовање путање алата

Дефинисање алата се врши у прозору **Tool**, избором команде **Select**, чиме се отвара прозор **Choosing tool for operation**, где се бира већ постојећи алат или формира нов. Алат који се у овом случају користи је приказан на слици 5.18.



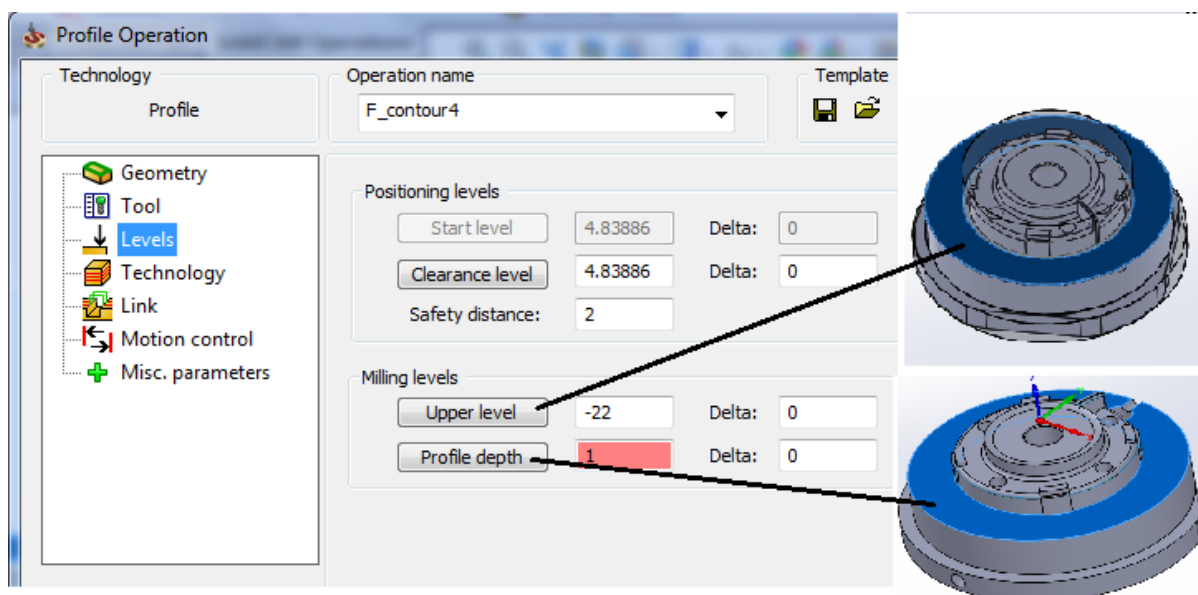
Слика 5.18 Избор алата

Избор параметара за обраду се врши у прозору **Data** (слика 5.19). Сви алати и режими су прописани уз консултације са инжењерима фирме **GommaLine**.



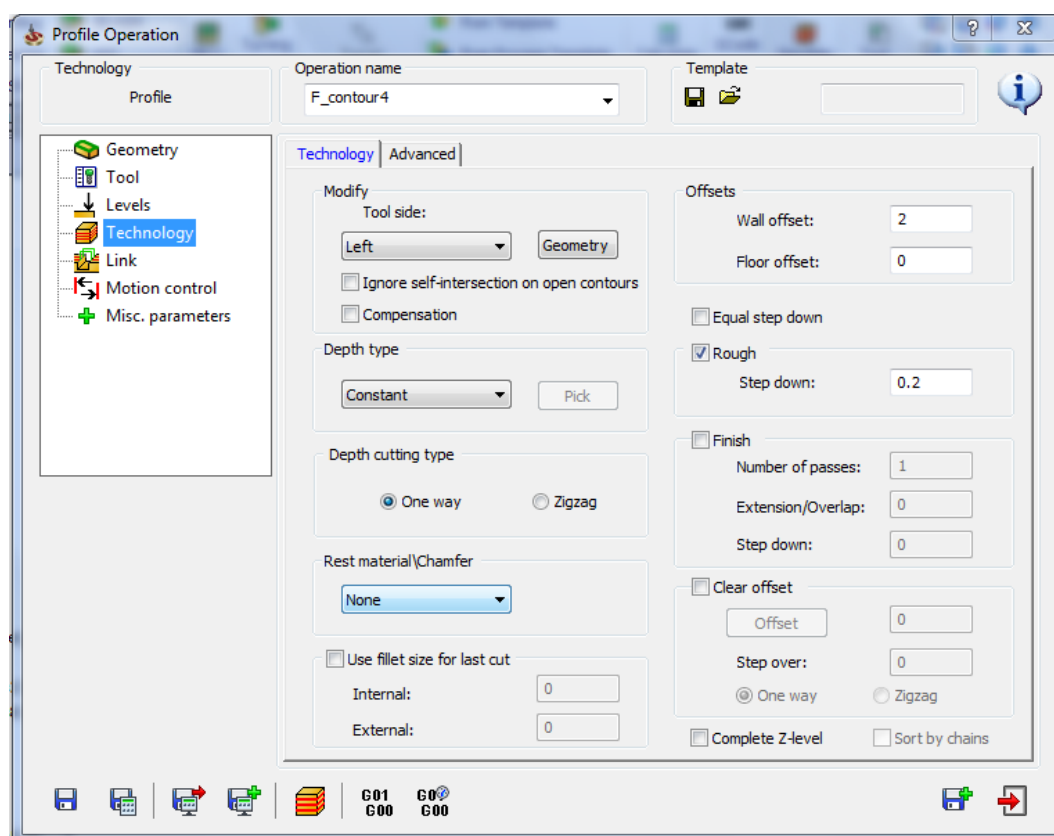
Слика 5.19 Избрани режими потребни за обраду

Дефинисање дубине резања се врши у оквиру прозора **Levels** (слика 5.20). Избором команде **Upper Level** (селектовањем површине од које креће обрада) и **Profile depth** (селектовањем површине до које се врши обрада). Такође, у оквиру овог прозора се дефинише и сигурносна раван од које креће алат (**Clearance level**).



Слика 5.20 Дефинисање дубине резања

Стратегија глодања се дефинише у прозору **Technology** (слика 5.21).



Слика 5.21 Дефинисање стратегије глодање

У оквиру овог прозора се одређује:

- Начин на који глодало прати задату путању алата (**Tool side**):
 - Са леве стране у односу на путању алата (**Left**),
 - Са десне стране у односу на путању алата (**Right**) и

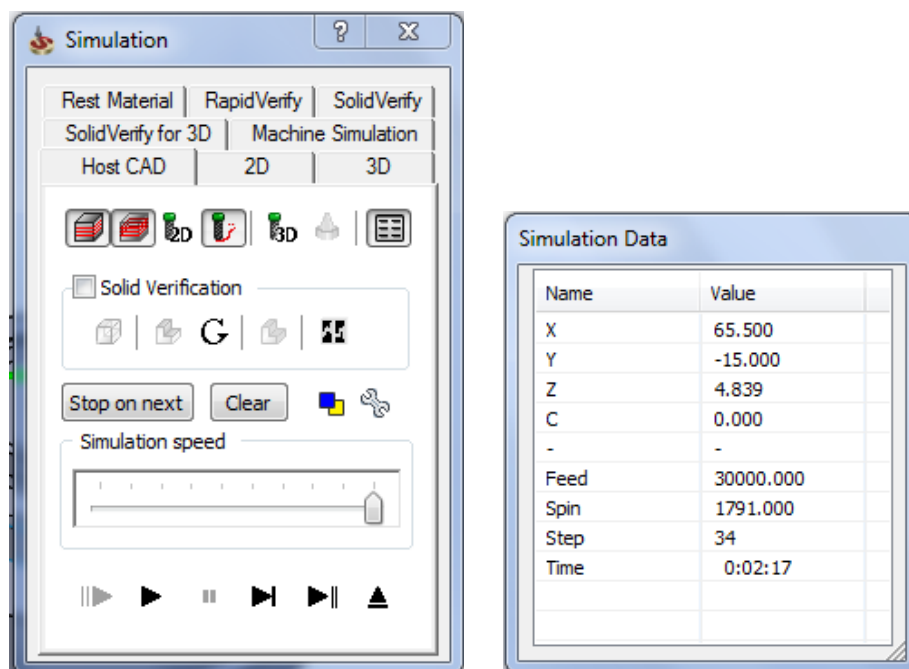
- Централно у односу на путању алата (**Center**).

У конкретном случају, изабрано је кретање алата са леве стране у односу на путању алата.

- Начин на који се глодало спушта до следећег нивоа обраде (**Depth type**):
 - Са константним кораком (**Constant**) – коришћен у овом случају,
 - Хеликоидно (**Helical**) и
 - Ручно дефинисано (**Define**).
- Радни ход алата (**Depth Cutting type**):
 - Обрада у једном правцу (**One way**) или
 - Обрада у оба правца (**Zigzag**).
- Материјал који се оставља за фину обраду (**Offsets**):
 - Додатак материјала на вертикалној површини (**Wall Offsets**) и
 - Додатак материјала на хоризонталној површини (**Floor Offsets**).
- Дубина резања (**Step down**).

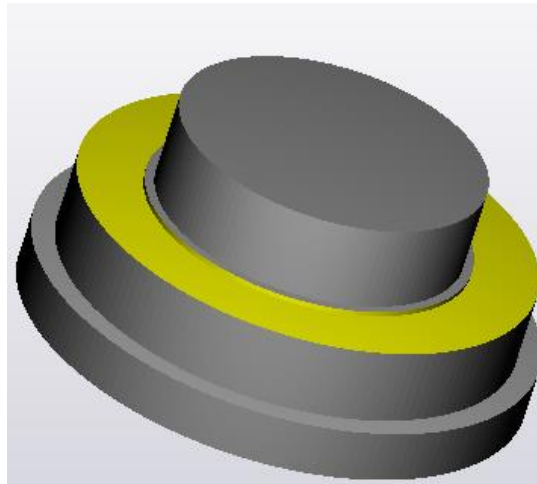
Након дефинисања свих потребних параметара, притиском на иконицу  (**Calculate**) врши се прорачун, а симулација обраде се покреће преко иконице  (**Simulate**).

У оквиру прозора **Simulate** постоји више могућности за приказ симулације, као и клизач којим се може регулисати брзина симулације. Време трајања процеса обраде се може видети у оквиру прозора **Simulation Data**. Ови прозори су приказани на слици 5.22.



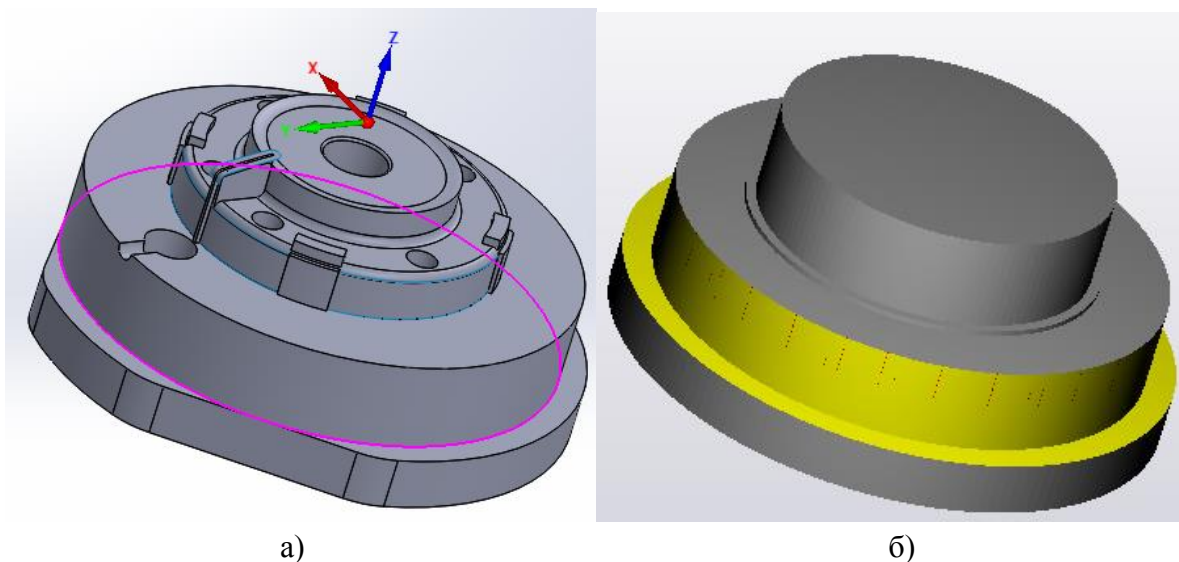
Слика 5.22 Прозор Simulation и Simulation Data

На слици 5.23 приказан је радни комад након извршене прве операције (обрађена површина приказана је жутом бојом).



Слика 5.23 Радни комад након извршене прве операције

Друга операције је такође профилно глодање. Параметри (алати, режими, стратегија) су исти као и за претходну обраду. Једина разлика је у путањи по којој се врши процес глодања (слика 5.24 - а). Резултати симулације обраде приказани су на слици 5.24 – б.

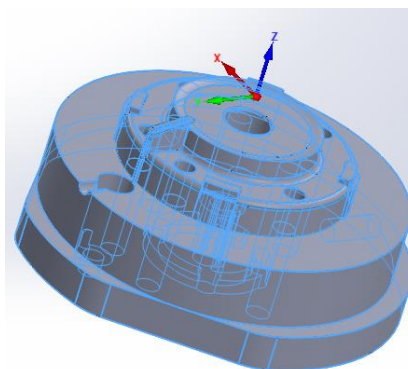
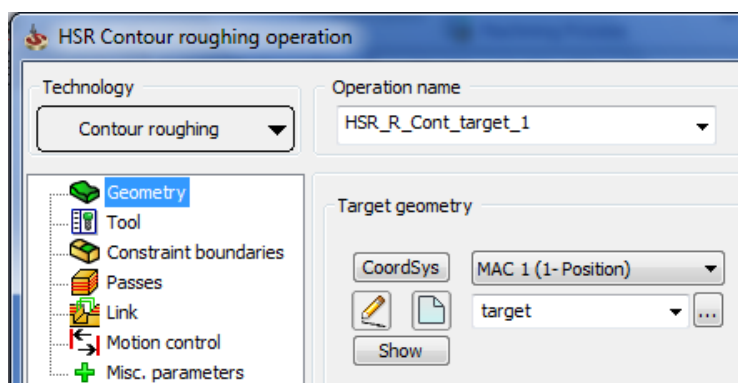


Слика 5.24 Радни комад (а – контура по којој се врши обрада, б – након извршене операције)

Трећа операције је груба обрада (**HSR**). У оквиру ове операције потребно је дефинисати:

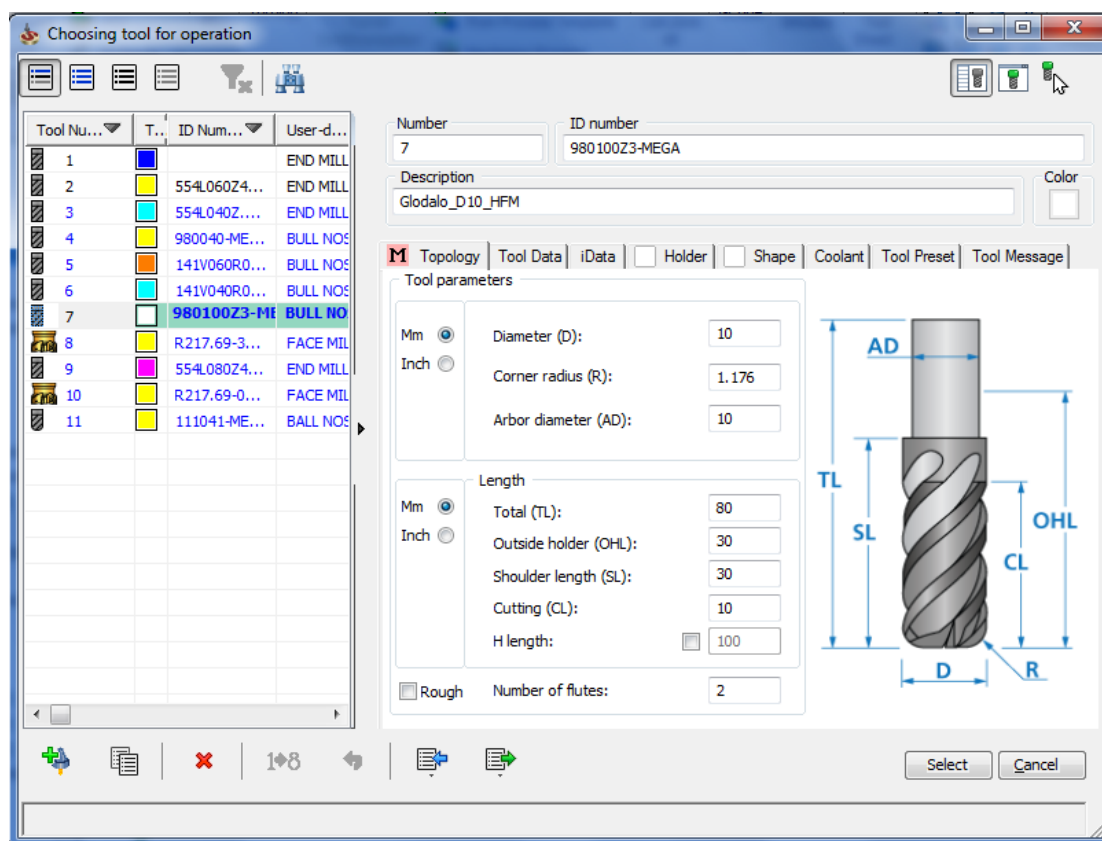
- Референтни модел,
- Алат и режиме обраде,
- Ограничење кретања алата и
- Стратегију обраде.

У прозору **Geometry**, избором команде **New**, бира се референтни модел (слика 5.25).



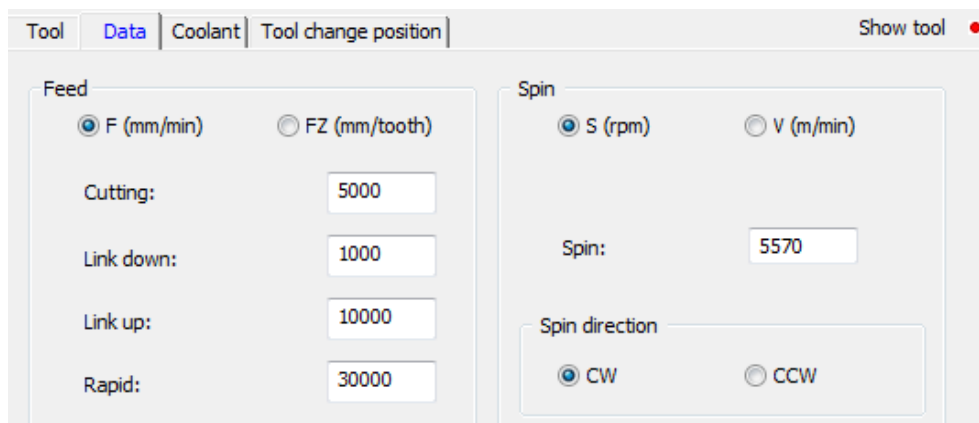
Слика 5.25 Селектовање путање алата

Дефинисање алата се врши у оквиру прозора **Tool**, избором команде **Select**, чиме се отвара прозор **Choosing tool for operation**, где се може одабрати већ постојећи алат или формирати нов. Алат који се у овом случају користи је приказан на слици 5.26.



Слика 5.26 Избор алата

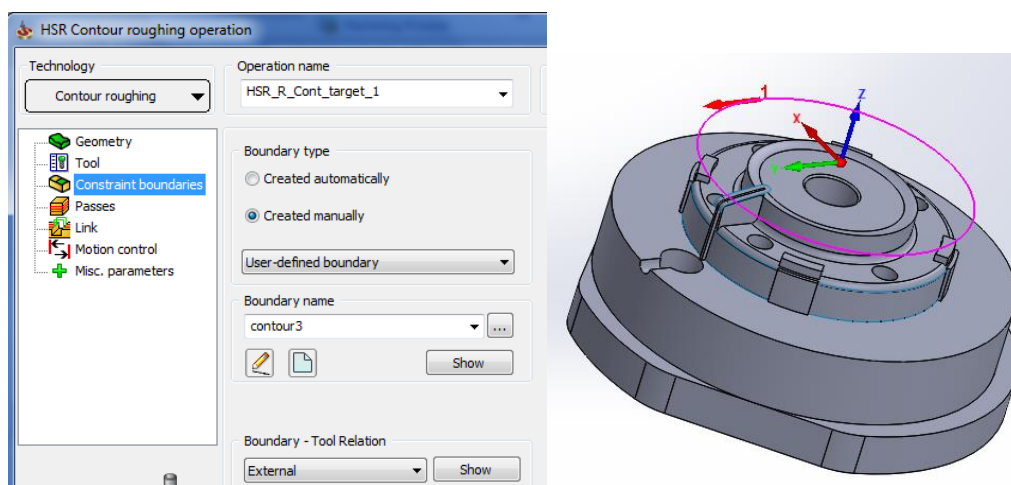
Избор параметара за обраду се врши у оквиру прозора **Data** (слика 5.27).



Слика 5.27 Избрани режими потребни за обраду

Дефинисање ограничења кретања алата врши се у оквиру прозора **Constraint boundaries**. Ово ограничење се може формирати аутоматски (**Created Automatically**) или ручно избором опције **Created Manually**. Избором команде **New** врши се селектовање већ формиране скице (слика 5.28), која ограничава кретање алата. Алат се у односу на скицу може кретати са:

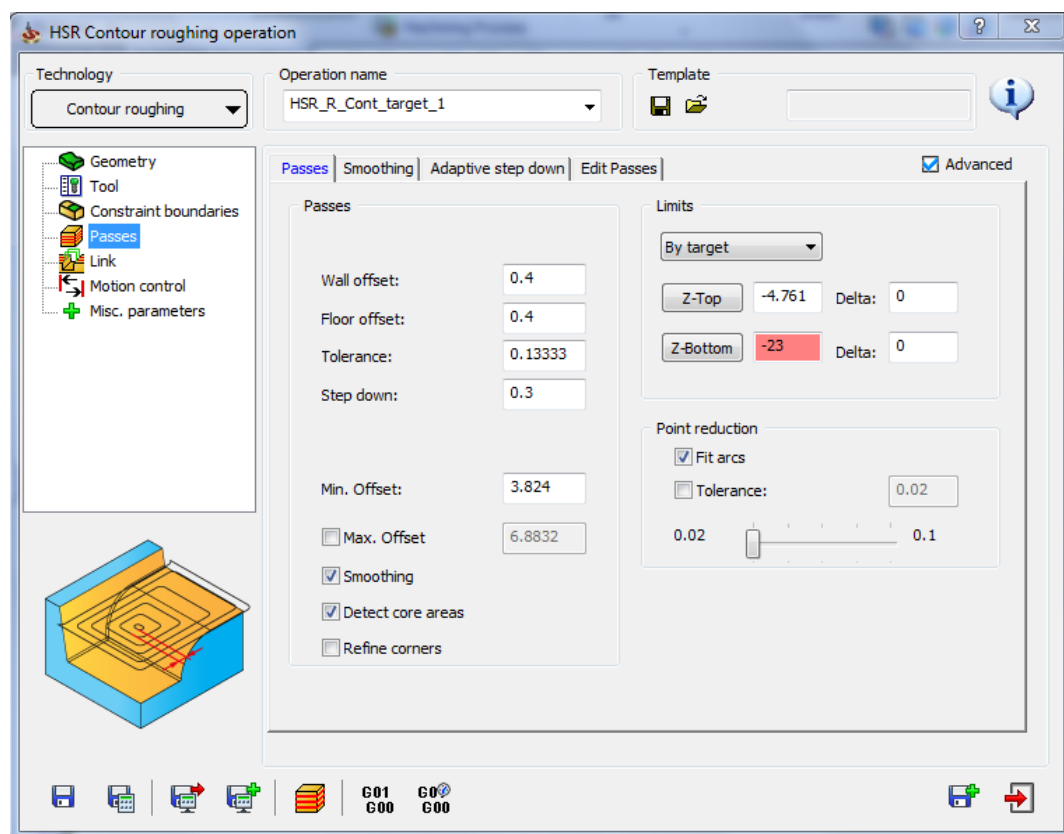
- Спољашње стране скице (**External**) – коришћено у овом случају,
- Унутрашње стране скице (**Internal**) и
- Кретање средином глодала по скици (**Centered**).



Слика 5.28 Дефинисање ограничења кретања алата

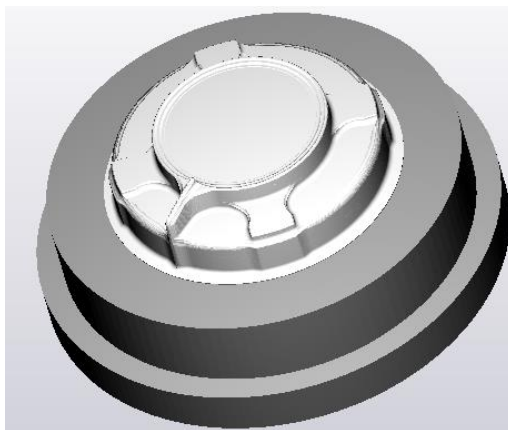
Стратегија обраде се дефинише у оквиру прозора **Passes** (слика 5.29), где се задају вредности за следеће параметре:

- Додатак за обраду на вертикалној површини (**Wall offset**),
- Додатак за обраду на хоризонталној површини (**Floor offset**),
- Толеранција (**Tolerance**),
- Дубина резања (**Step down**),
- Радијални корак (**Min. Offset**),
- Ниво од којег креће глодање (**Z – top**) и
- Ниво до којег се врши глодање (**Z – bottom**).



Слика 5.29 Дефинисање стратегије обраде

Резултати ове симулације су приказани на слици 5.30.



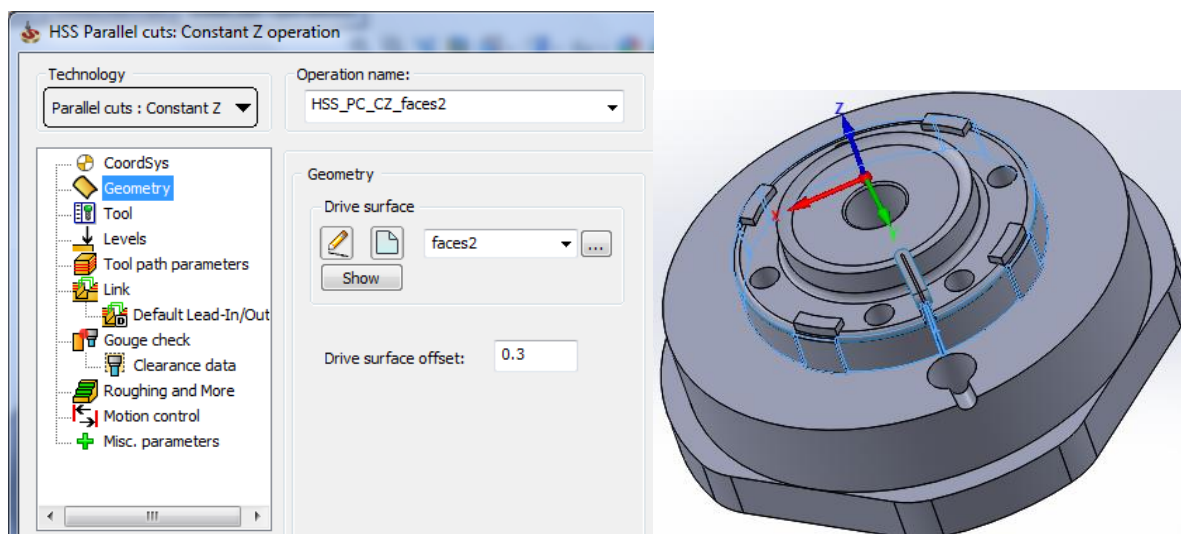
Слика 5.30 Радни комад након извршене треће операције

Следећа операција је фина обрада обележених површина (**HSS**). У оквиру ове операције потребно је дефинисати:

- Површине до којих се врши обрада,
- Алат и режиме обраде и
- Дефинисање сигурносне равни.

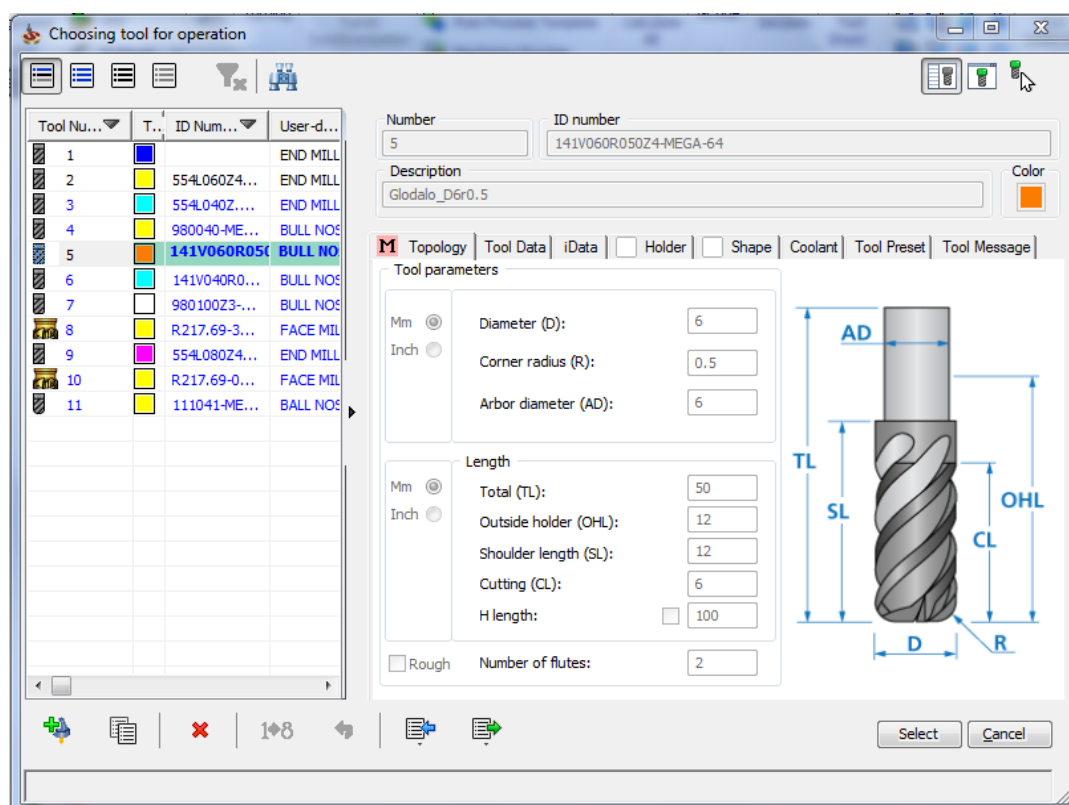
Површине до којих се врши обрада, дефинишу се у оквиру прозора **Geometry** избором команде **New** и селектовањем површина приказаних на слици 5.31. Додатак који

је потребно оставити за фина обраду се такође дефинише у оквиру овог прозора, командом **Drive surface offset**.



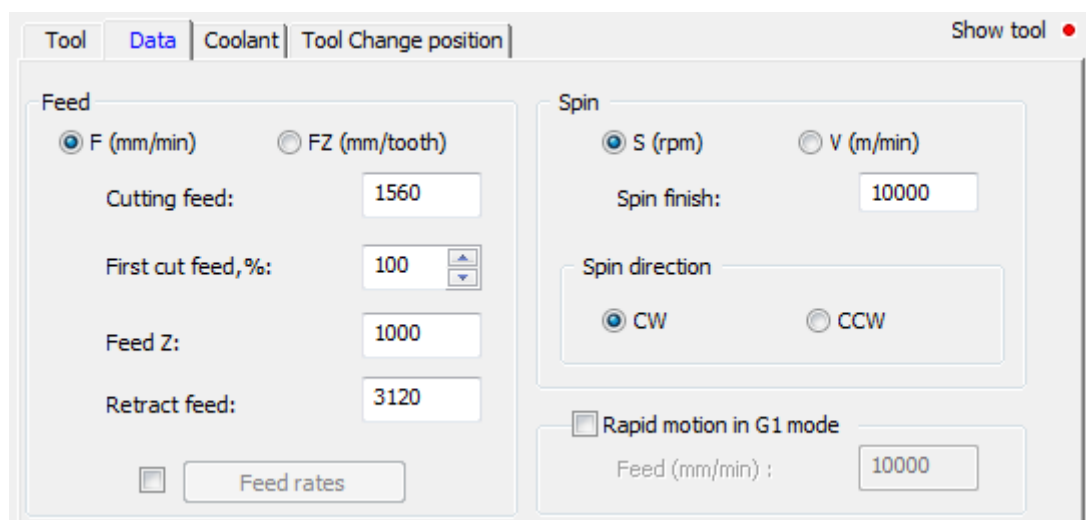
Слика 5.31 Дефинисање површине до које се врши обрада

Дефинисање алата се врши у прозору **Tool**, избором команде **Select**, чиме се отвара прозор **Choosing tool for operation**. Алат који се у овом случају користи је приказан на слици 5.32.



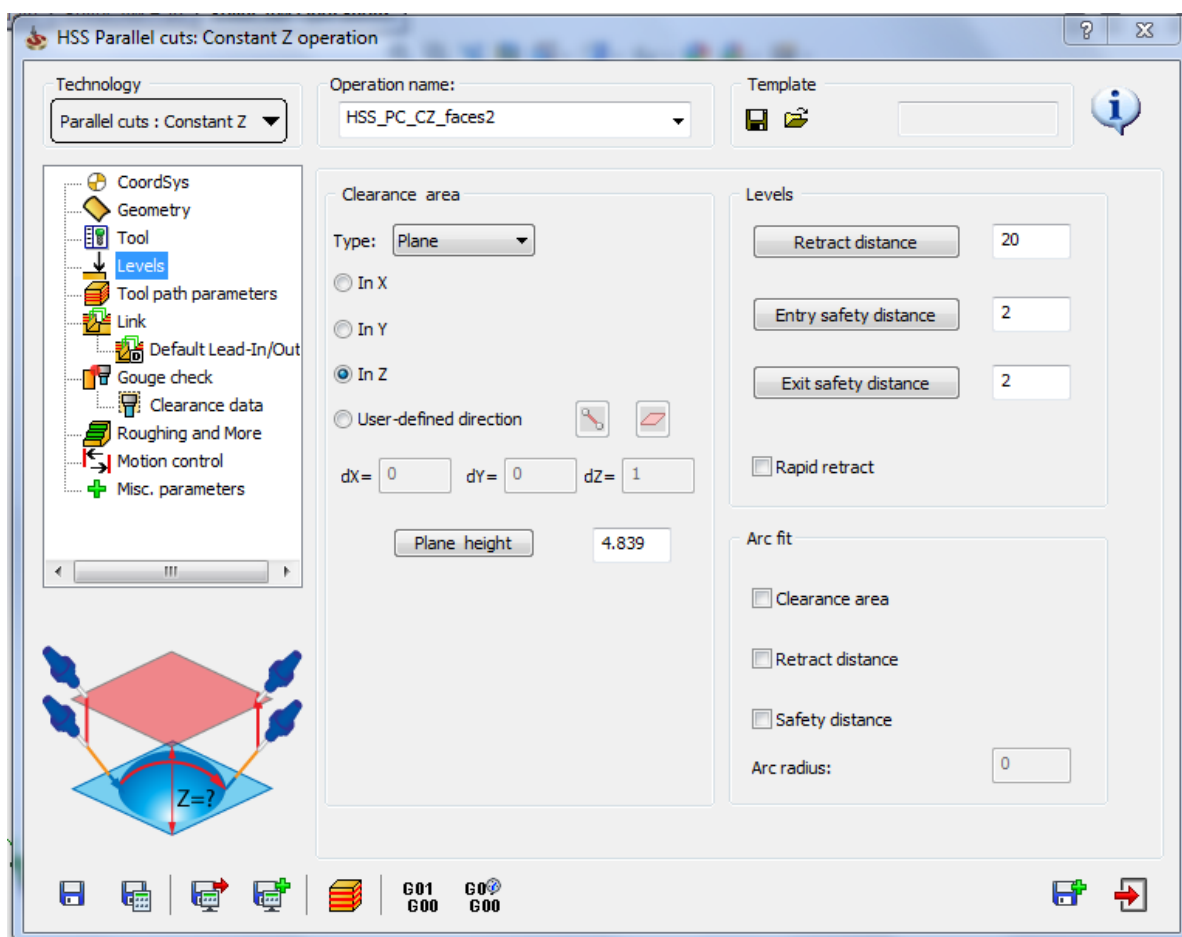
Слика 5.32 Избор алата

Избор параметара за обраду се врши у оквиру прозора **Data** (слика 5.33).



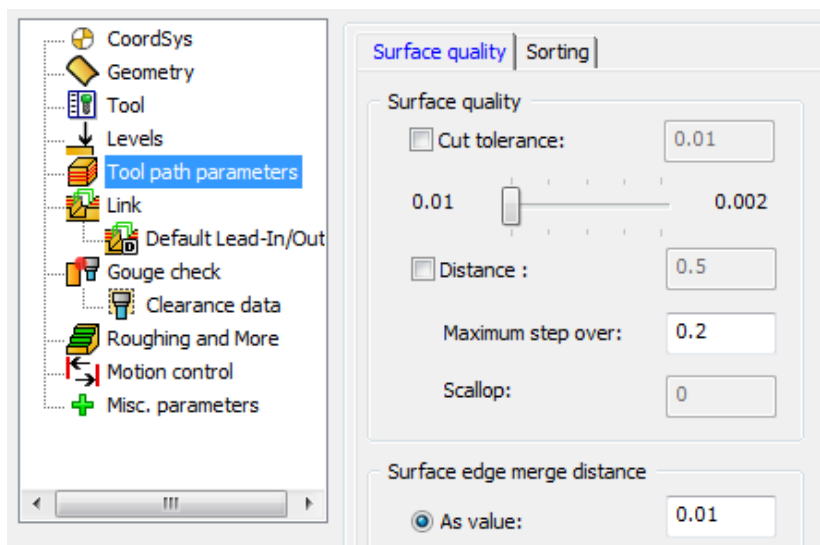
Слика 5.33 Избрани режими потребни за обраду

У оквиру прозора **Levels** врши се дефинисање сигурносне равни. Сигурносна раван се може формирати у односу на већ постојеће равни, удаљавањем од њих за одређено растојање, или се може независно дефинисати (слика 5.34).



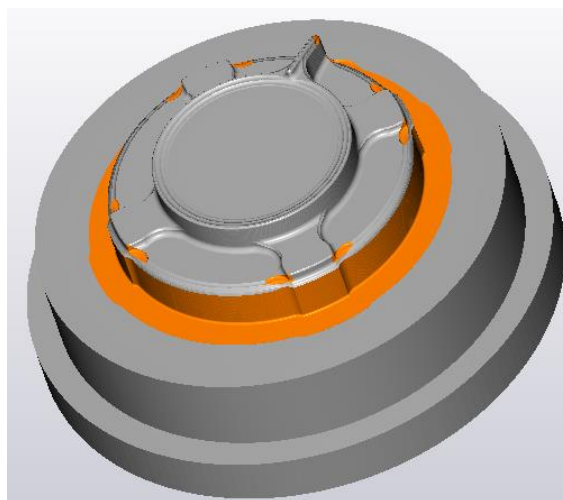
Слика 5.34 Дефинисање сигурносне равни

У оквиру прозора **Tool Path parameters** (слика 5.35) дефинише се толеранција при обради (**Cut tolerance**), као и радијални корак алата (**Maximum step over**).



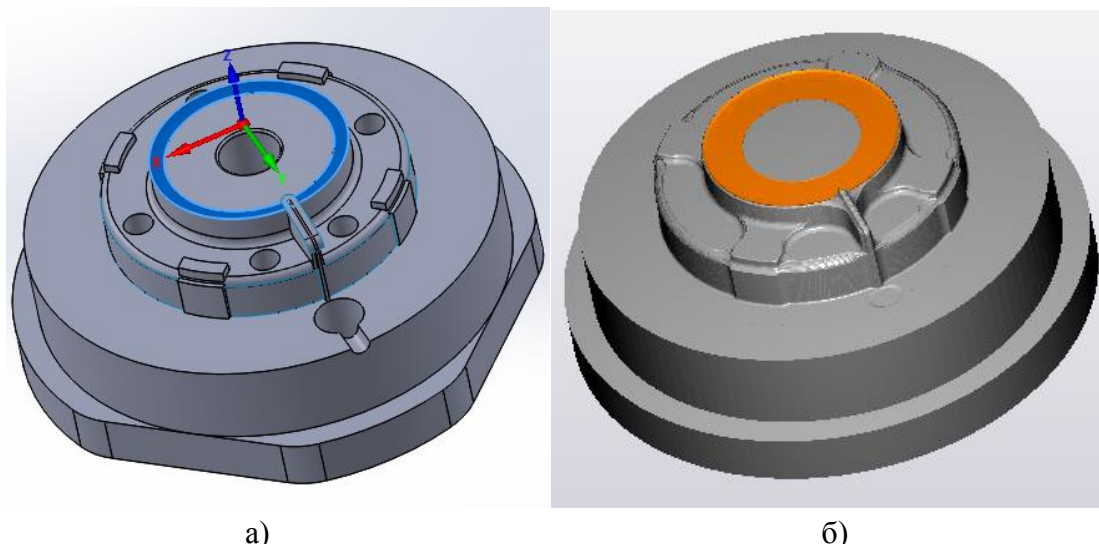
Слика 5.35 Прозор Tool Path parameters

Резултати ове операције приказани су на слици 5.36.



Слика 5.36 Изглед радног комада након извршене четврте операције

Пета операције је такође **HSS** обрада. Параметри (алати, режими, стратегија) су исти као и за претходну обраду. Једина разлика је у површини до које се врши процес глодања (слика 5.37 - а). Резултати симулације обраде приказани су на слици 5.37 – б.

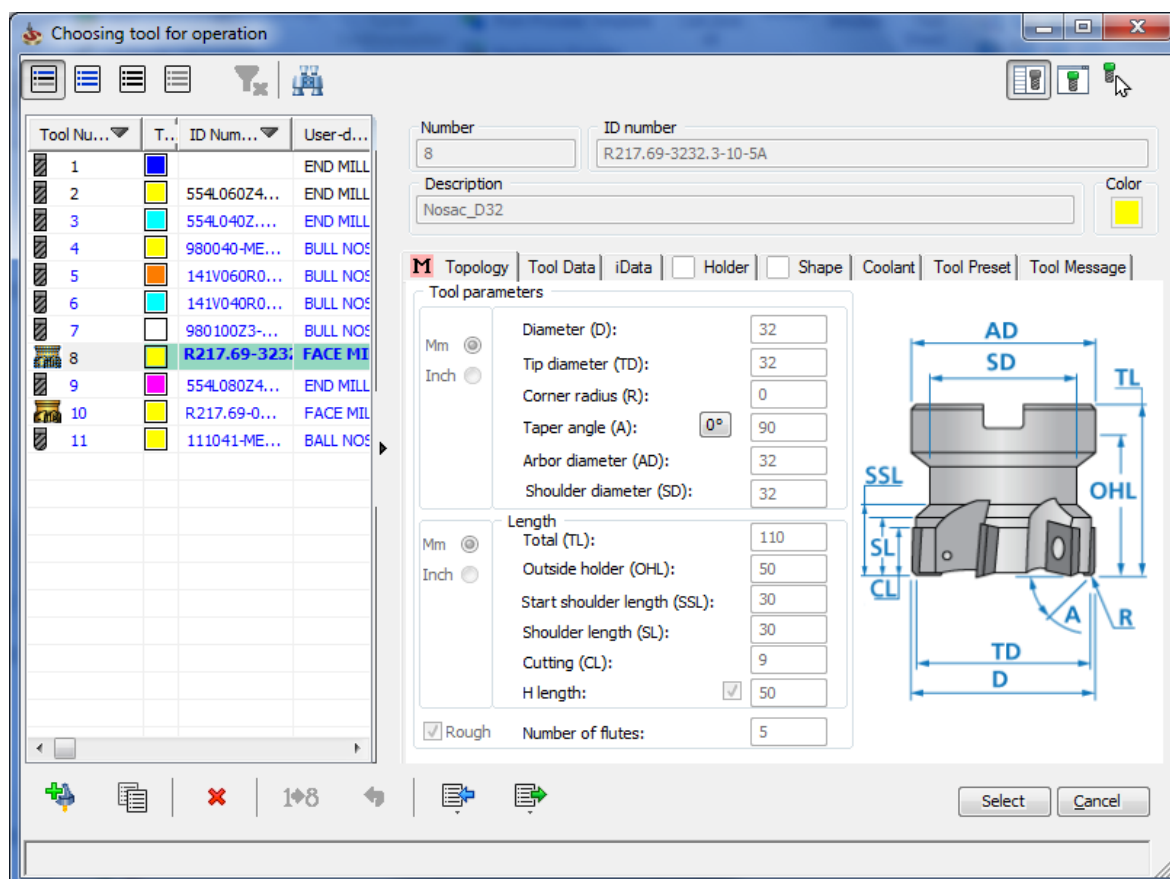


а)

б)

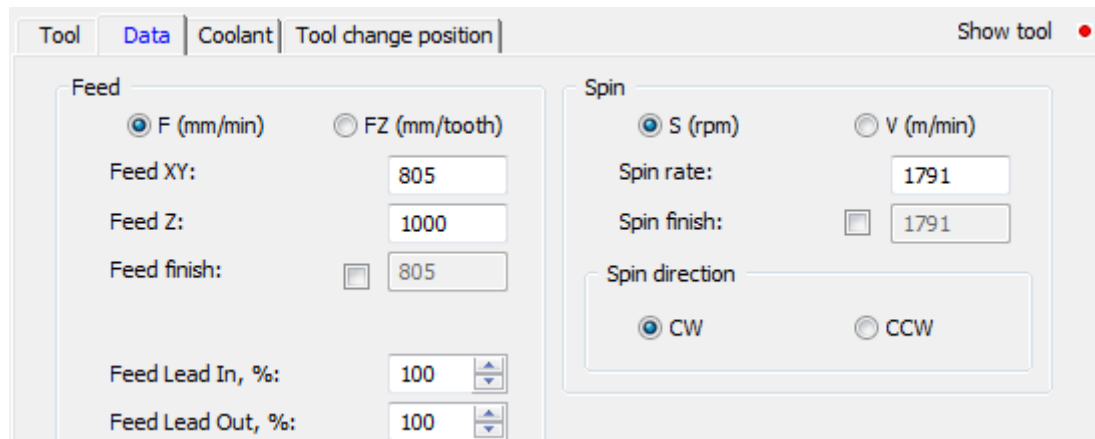
Слика 5.37 Радни комад (а – површина до које се врши обрада, б – након извршене операције)

Шеста операције је профилно глодање (као прва и друга). Алат који се користи за ову операцију приказан је на слици 5.38.



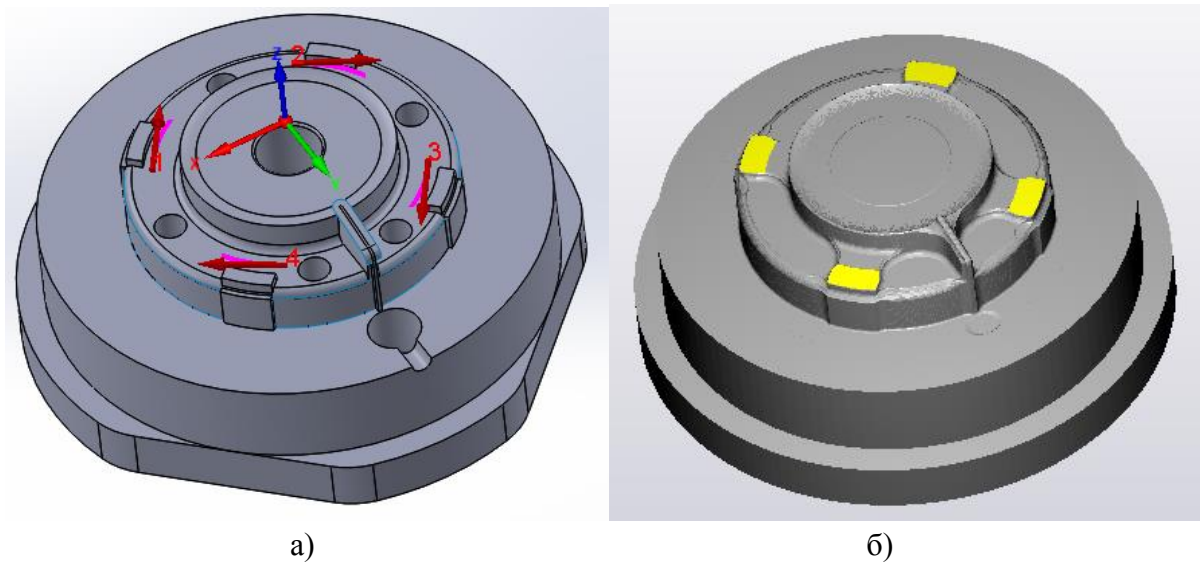
Слика 5.38 Алат који се користи за обраду у шестој операцији

Режими по којима се у овој операцији врши глодање дати су на слици 5.39.



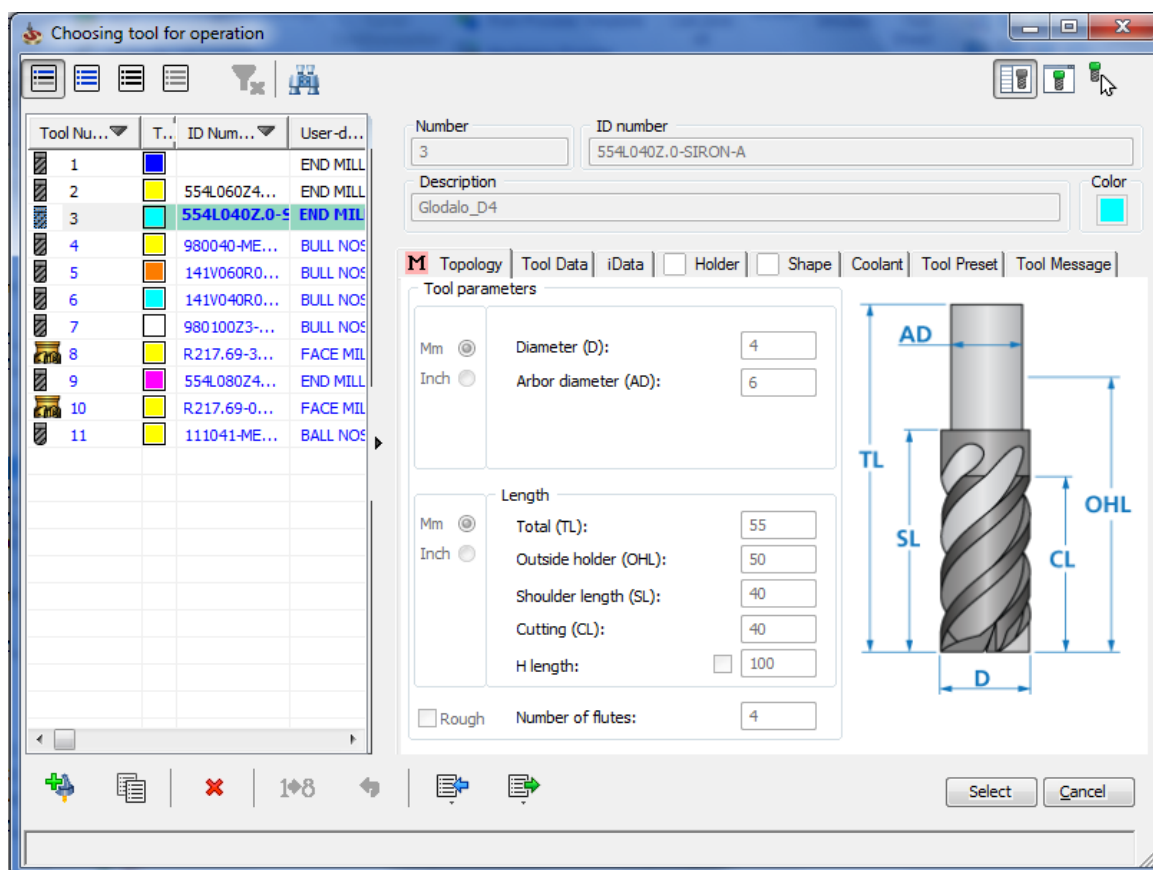
Слика 5.39 *Режими који се користе за профилно глодање у шестој операцији*

Контура по којој се врши глодање приказана је на слици 5.40 - а. Резултати симулације обраде приказани су на слици 5.40 – б.



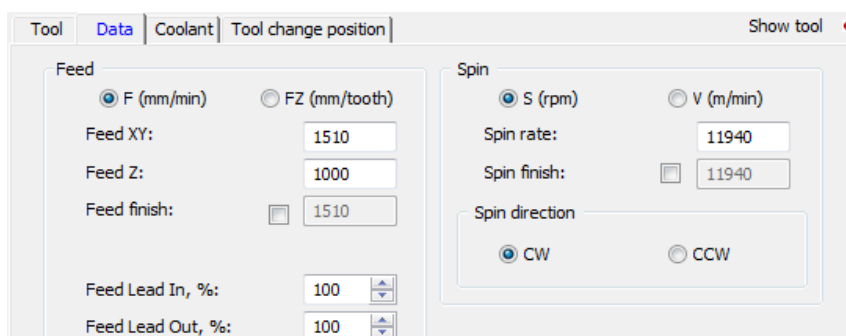
Слика 5.40 Радни комад (а – контура по којој се врши обрада, б – након извршене операције)

Следећа операције је такође профилно глодање. Алат који се користи у овој операцији (као и у наредне три) приказан је на слици 5.41.



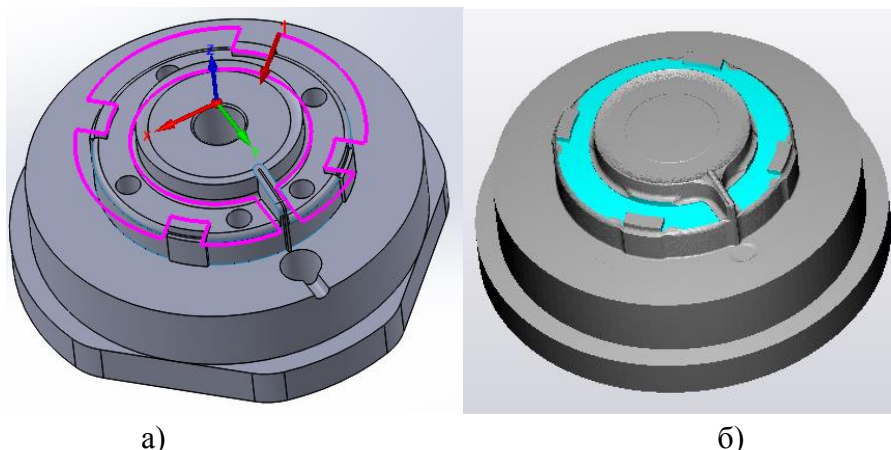
Слика 5.41 Алат који се користи у седмој операцији

Режими по којима се врши процес глодања (као и у наредне три операције) дати су на слици 5.42.



Слика 5.42 Режији који се користе за обраду у седмој операцији

Контура, у оквиру које се врши глодање, дата је на слици 5.43 - а. Резултати симулације обраде приказани су на слици 5.43 – б.

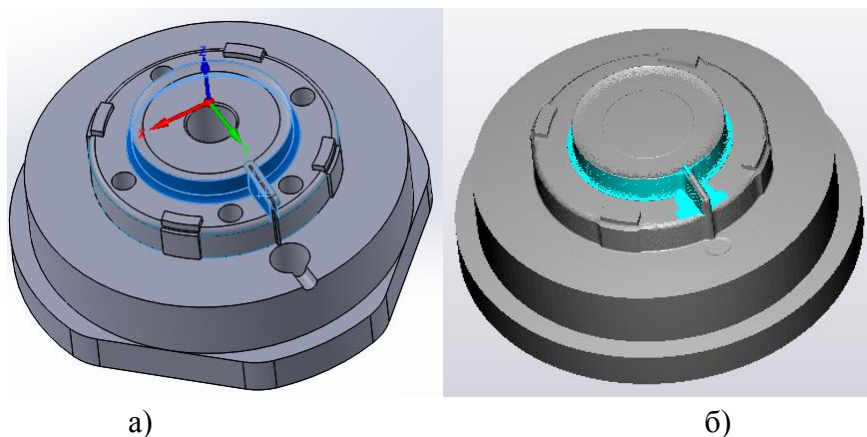


а)

б)

Слика 5.43 Радни комад (а – контура по којој се врши обрада, б – након извршене операције)

Осма операције је **HSS** обрада. Површина до које се врши глодање дата је на слици 5.44 - а. Резултати симулације обраде приказани су на слици 5.44 – б.

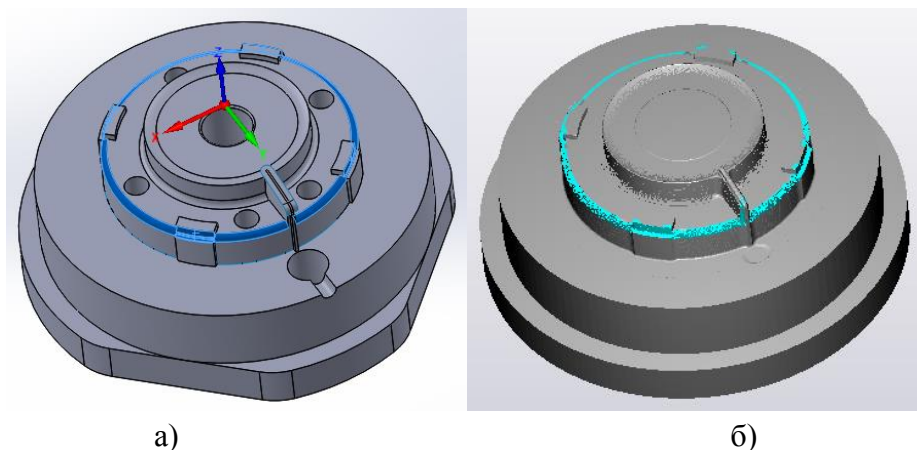


а)

б)

Слика 5.44 Радни комад (а – површина до које се врши обрада, б – након извршене операције)

Површина до које се врши глодање у деветој операцији дата је на слици 5.45 - а. Резултати симулације обраде приказани су на слици 5.45 – б.

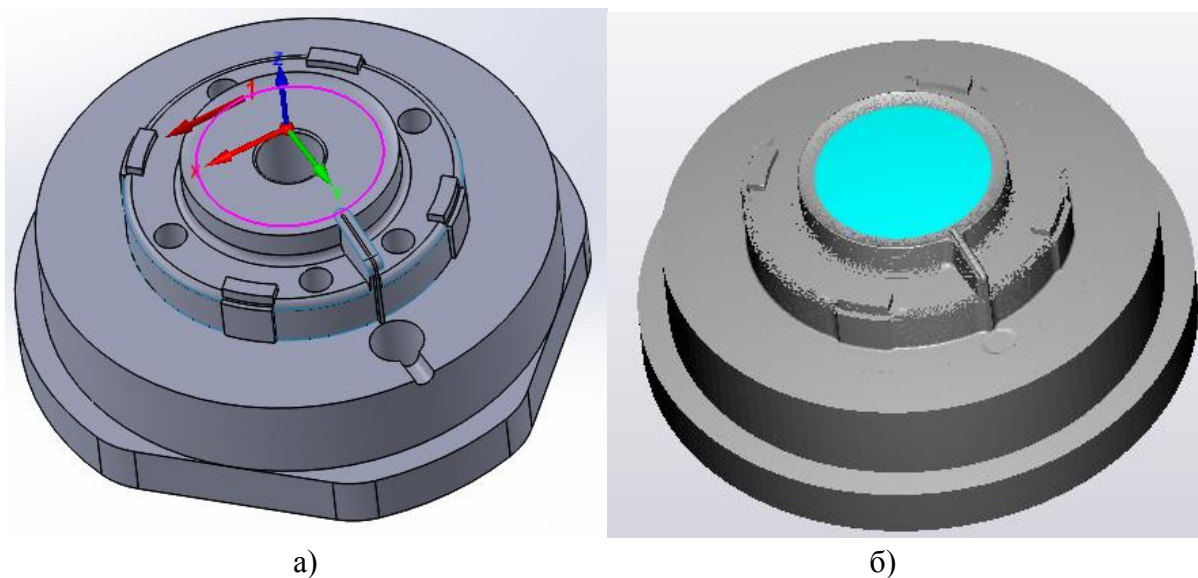


а)

б)

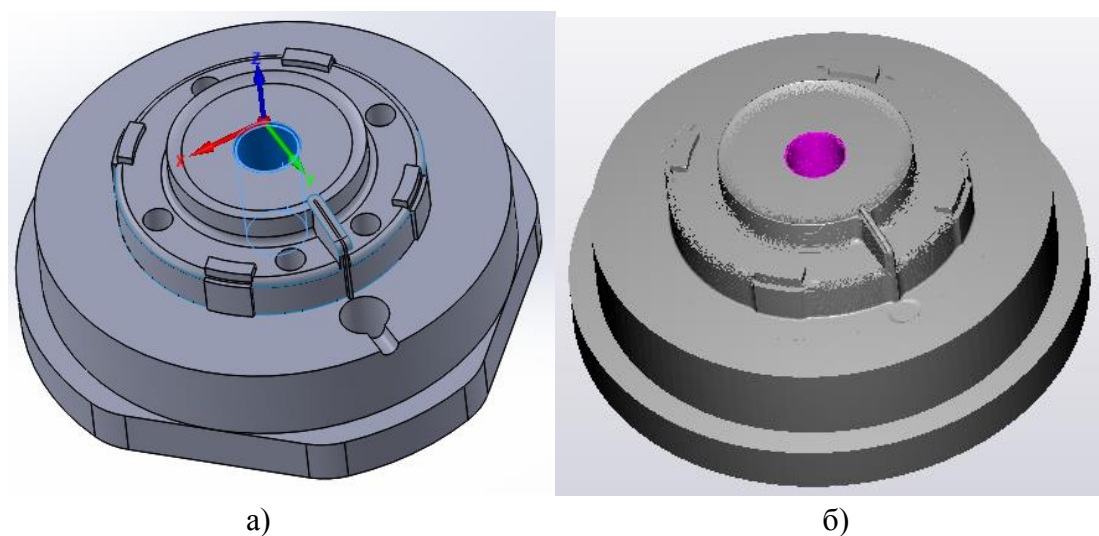
Слика 5.45 Радни комад (а – површина до које се врши обрада, б – након извршене операције)

Контура у којој се врши глодање у десетој операцији дата је на слици 5.46 - а. Резултати симулације обраде приказани су на слици 5.46 – б.



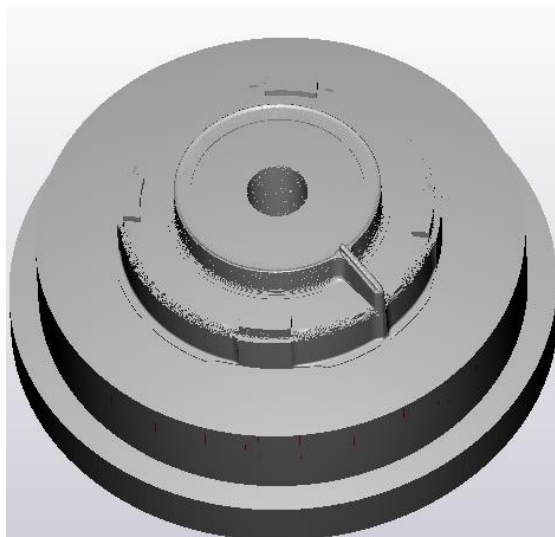
Слика 5.46 Радни комад (а – површина до које се врши обрада, б – након извршене операције)

Резултати симулације за следећу обраду (**HSS**) приказани су на слици 5.47.



Слика 5.47 Радни комад (а – површина до које се врши обрада, б – након извршене операције)

Пошто би објашњавање преосталих операција глодања заузело превише простора у овом раду, оне се неће детаљно приказивати. На следећој слици приказан је изглед дела након свих операција глодања.



Слика 5.48 Радни комад након грубе обраде глодањем

На крају машинирања програм SolidCAM омогућава генерисање листе операција, са временима израде по свакој операцији, и листу коришћених алата. Један такав извештај дат је у следеће две таблице.

Таблица 5.4 Листа коришћених алата

3-Spindle-

1 554L040Z.0-SIRON-A



END MILL

5-Spindle-

1 141V060R050Z4-MEGA-64



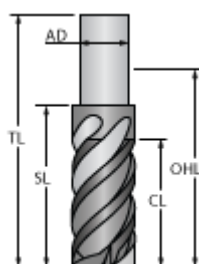
BULL NOSE MILL

7-Spindle-

1 980100Z3-MEGA



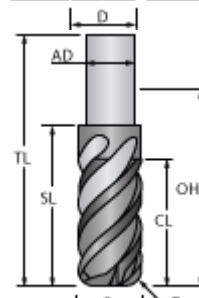
BULL NOSE MILL



Glodalo_D4
D: 4 mm
AD: 6

TL: 55 mm
OHL: 50 mm
CL: 40 mm
SL: 40 mm
H: 100 mm

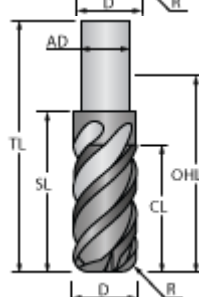
H 3 D 3
Flutes: 4



Glodalo_D6r0.5
D: 6 mm
R: 0.5 mm
AD: 6

TL: 50 mm
OHL: 12 mm
CL: 6 mm
SL: 12 mm
H: 100 mm

H 5 D 5
Flutes: 2



Glodalo_D10_HFM
D: 10 mm
R: 1.176 mm
AD: 10

TL: 80 mm
OHL: 30 mm
CL: 10 mm
SL: 30 mm
H: 100 mm

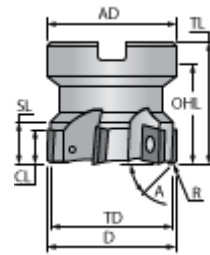
H 7 D 7
Flutes: 2

8-Spindle-

1 R217.69-
3232.3-10-5A



FACE MILL



Nosac_D32
D: 32 mm
R: 0 mm
TD: 32 mm
A: 0
AD: 32

TL: 110 mm
OHL: 50 mm
CL: 9 mm
SL: 30 mm
H: 50 mm

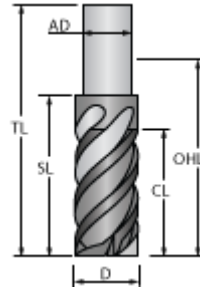
H 8 D 8
Flutes: 5
Rough

9-Spindle-

1 554L080Z4.0-
SIRON-A



END MILL



Glodalo_D8
D: 8 mm
AD: 8

TL: 75 mm
OHL: 40 mm
CL: 32 mm
SL: 32 mm
H: 100 mm

H 9 D 9
Flutes: 4

Таблица 5.5 Листа операција

	Operation Name (Operation type) <Transform>					
#	Coordinate system		Spin Finish	Feed XY/Feed Normal	Feed Z/Feed Finish	Time
	Tool Number		Tool Coolant			
			Operation description			
	X Min	X Max	Y Min	Y Max	Z Min	Z Max
1	F_contour4 (Profile) <>					
	MAC 1 (1- Position)		1791	805	1000	0:01:57
	8-Spindle-1					
	-50.5	65.5	-50.5	50.5	-22.7	-20
2	F_contour6 (Profile) <>					
	MAC 1 (1- Position)		1791	805	1000	0:20:56
	8-Spindle-1					
	-63.8	78.542	-63.8	63.8	-39.7	-20.5
3	HSR_R_Cont_target_1 (Contour roughing)					
	MAC 1 (1- Position)		5570	5000		0:11:57
	7-Spindle-1					
	-43.905	43.913	-43.903	45.231	-22.488	5
4	HSS_PC_CZ_faces2 (Parallel cuts: Constant Z)					
	MAC 1 (1- Position)		10000	1000	1560	0:17:50
	5-Spindle-1					
	-34.249	34.249	-34.249	35.258	-22.935	5
5	HSS_PC_CZ_faces8 (Parallel cuts: Constant Z)					
	MAC 1 (1- Position)		10000	1000	1560	0:03:17
	5-Spindle-1					

	Operation Name (Operation type) <Transform>					
#	Coordinate system		Spin Finish	Feed XY/Feed Normal	Feed Z/Feed Finish	Time
	Tool Number		Tool Coolant			
	X Min	X Max	Operation description Y Min	Y Max	Z Min	Z Max
6	-17.084	17.084	-17.082	34.233	-7.317	14.839
	F_contour8 (Profile) <>					
	MAC 1 (1- Position)		1791	805	1000	0:00:42
	8-Spindle-1					
7	-39.77	40.276	-40.256	39.865	-11.645	-9
	P_contour7 (Pocket) <>					
	MAC 1 (1- Position)		11940	1510	1000	0:08:35
	3-Spindle-1					
8	-32.375	32.375	-32.375	31.958	-13.354	-9
	HSS_PC_CZ_faces5 (Parallel cuts: Constant Z)					
	MAC 1 (1- Position)		11940	1000	1510	0:05:39
	3-Spindle-1					
9	-22.979	22.975	-22.976	32.791	-13.362	14.839
	HSS_PC_CZ_faces6 (Parallel cuts: Constant Z)					
	MAC 1 (1- Position)		11940	1000	1510	0:10:21
	3-Spindle-1					
10	-33.114	33.114	-33.115	35.194	-15.112	4.839
	P_contour10 (Pocket) <>					
	MAC 1 (1- Position)		11940	1510	1000	0:01:12
	3-Spindle-1					
11	-15.008	15.008	-15.008	15.008	-7.323	-5
	HSR_R_Cont_target (Contour roughing)					
	MAC 1 (1- Position)		6965	2500		0:06:18
	4-Spindle-1					
12	-7.378	4.436	13.883	36.129	-15.135	5
	HSS_PC_CZ_faces10 (Parallel cuts: Constant Z)					
	MAC 1 (1- Position)		5970	1000	1510	0:03:12
	9-Spindle-1					
	-2.4	2.401	-2.399	13.883	-32.759	5

5.2.4 Генерисање NC кода

Генерисање NC кода се врши након последње операције глодањем, помоћу команде **GCode/Generate** која се налази у палети алата **SolidCAM Operations** (слика 5.49).



Слика 5.49 Генерисање NC кода

Један део генерисаног NC кода са објашњењем карактеристичних реченица, за грубу обраду глодањем уметка, дат је у даљем тексту.

% - Почетак програма

O1904

N1 G90 G17 G21 G49 G80 G94 G54 – Редни број реченице

N2 T8 M6 – Измена алата (први алат T8)

N3 G90 G00 S1791 M3 – Обртање вретена у негативном математичком смеру

.
. .
. .

N5 G43 H8 G00 Z4.839 – Корекција висине алата

.
. .
. .
. .

N9 G03 X50.5 Y0. R15. F805.- Промена посмака (s =805 mm/min)

N10 G02 X50.5 Y0. I-50.5 J0.

N11 G03 X65.5 Y-15. R15.

.
. .
. .
. .

N72 T7 M6

N73 G90 G00 S5570 M3 – Промена броја обртаја (n = 5570 o/min)

N74 G01 X25.522 Y37.23 F9999.

N75 G43 H7 G00 Z4.839

N76 G01 Z-3.056

N77 G01 X25.522 Y37.23 F9999.

N78 G01 Y36.962 Z-4.056 F1000.

.
. .

N1213 G01 X25.619 Y24.824 Z-1.364 F1000.

N1214 G01 X26.288 Y25.076 Z-2.248

N1215 G01 X26.527 Y25.166 Z-3.356

.

.

N106637 G01 X0.41 Y1.681

N106638 G01 X0.63 Y1.612

N106639 G01 X0.766 Y1.552

N106640 G01 Z-30.759 F3020.

N106641 G01 Z-12.759

.

.

.

N106646 G00 G80 M9 – Искључивање СХП средства

N106647 M30 – Крај програма са повратком на почетак

% - Крај

Генерисани NC код за обраду глодањем калупне шупљине (слика 5.50) дат је у даљем тексту.

%

O1916

N1 G90 G17 G21 G49 G80 G94 G54

N2 T2 M6

N3 G90 G00 S2244 M3

N4 G01 X4.5 Y-0.001 F9999.

N5 G43 H2 G00 Z10.

N6 G01 Z2.

N7 G01 X4.5 Y-0.001 F9999.

N8 G03 X4.5 Y-0.001 Z0.766 I-4.5 J0. F508.

N9 G03 X4.5 Y-0.001 Z-0.469 I-4.5 J0.

N10 G03 X4.5 Y-0.001 Z-1.703 I-4.5 J0.

N11 G03 X4.5 Y-0.001 Z-2.938 I-4.5 J0.

N12 G03 X4.5 Y-0.001 Z-4.172 I-4.5 J0.

N13 G03 X4.5 Y-0.001 Z-5.407 I-4.5 J0.

N14 G03 X4.5 Y-0.001 Z-6.641 I-4.5 J0.

N15 G03 X4.5 Y-0.001 Z-7.876 I-4.5 J0.

N16 G03 X-3.396 Y2.952 Z-8.352 R4.5

N17 G03 X-3.396 Y2.952 I3.396 J-2.953

N18 G03 X4.5 Y-0.001 R-4.5

N19 G01 Y0.01 F41.

.

.

.

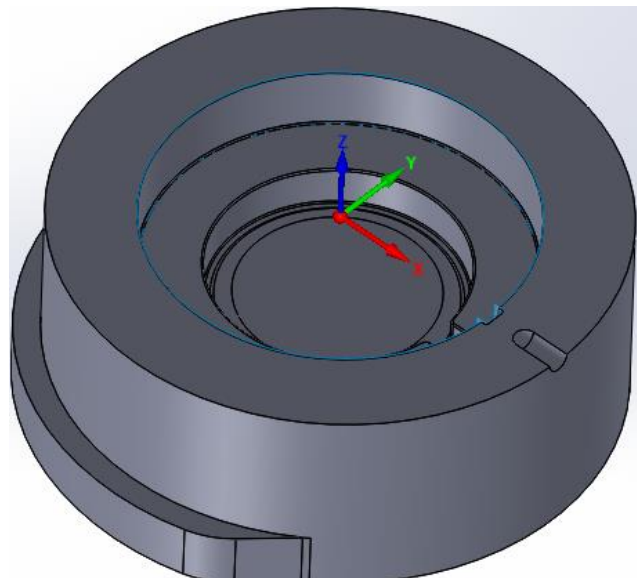
N428245 G01 Z-1.83 F1000.

N428246 G01 X40.201 F1400.

N428247 G01 Z-1.86 F1000.

N428248 G01 X50.708 F1400.

N428249 G01 Z-1.89 F1000.

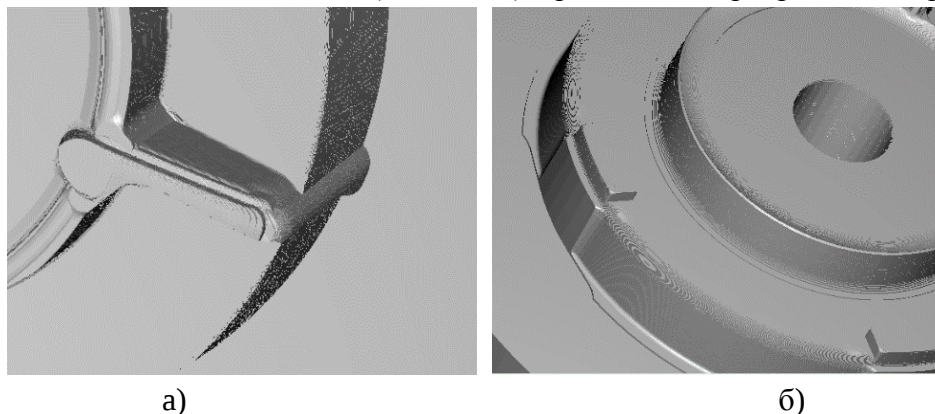


Слика 5.50 Калупна шупљина

N428250 G01 X40.201 F1400.
N428251 G01 Z-1.92 F1000.
N428252 G01 X50.708 F1400.
N428253 G01 Z-1.95 F1000.
N428254 G01 X40.201 F1400.
N428255 G01 Z-1.98 F1000.
N428256 G01 X50.708 F1400.
N428257 G01 Z-2. F1000.
N428258 G01 X40.201 F1400.
N428259 G01 Z10.
N428260 G01 X40.201 Y0. F9999.
N428261 (KRAJ PROGRAMA)
N428262 G00 G80 M9
N428263 M30
%

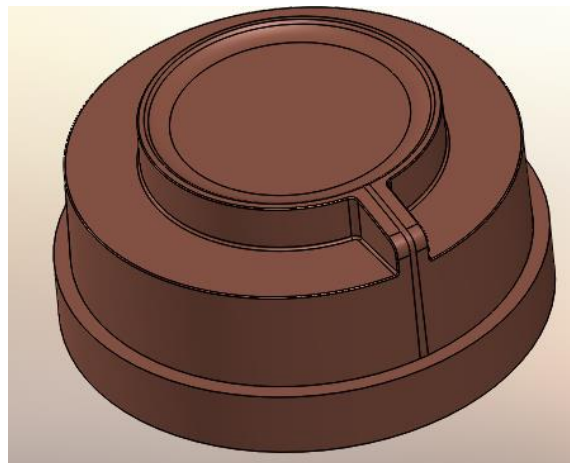
5.3 Електроде за електроерозиону обраду

Пошто се оштри прелази, на уметку и калупној шупљини (слика 5.50), не могу изградити на конвенционални начин (глодањем), врши се електроерозиона обрада.

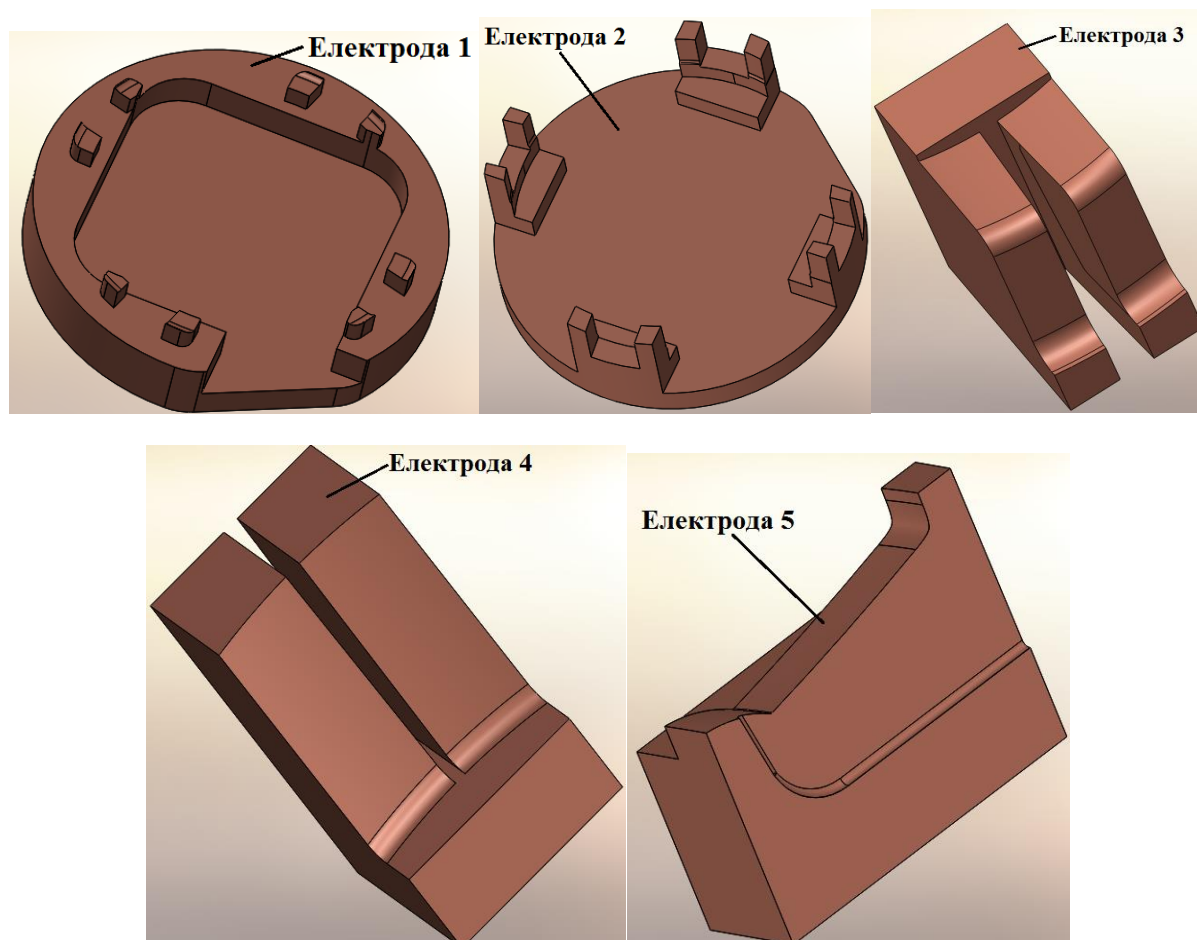


Слика 5.50 Остаци након обраде глодањем (а – калупна шупљина, б – уметак)

Електрода које се користе за електроерозиону обраду калупне шупљине приказана је на слици 5.51, а електроде за обраду уметка на слици 5.52.

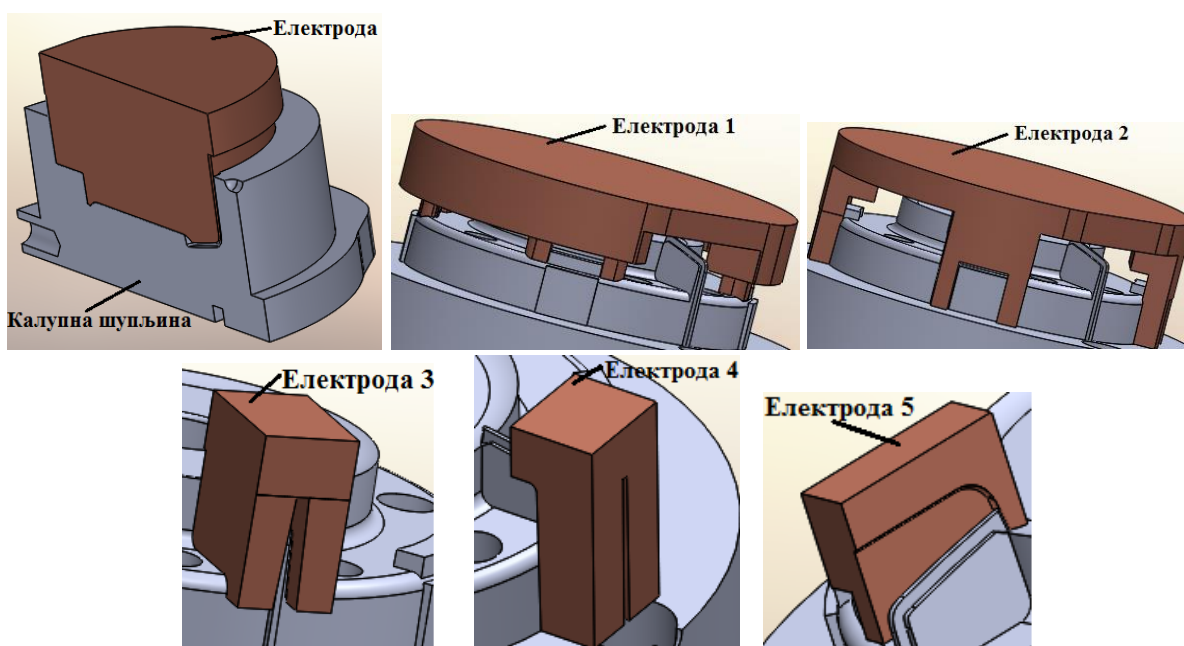


Слика 5.51 Електрода за електроерозиону обраду калупне шупљине



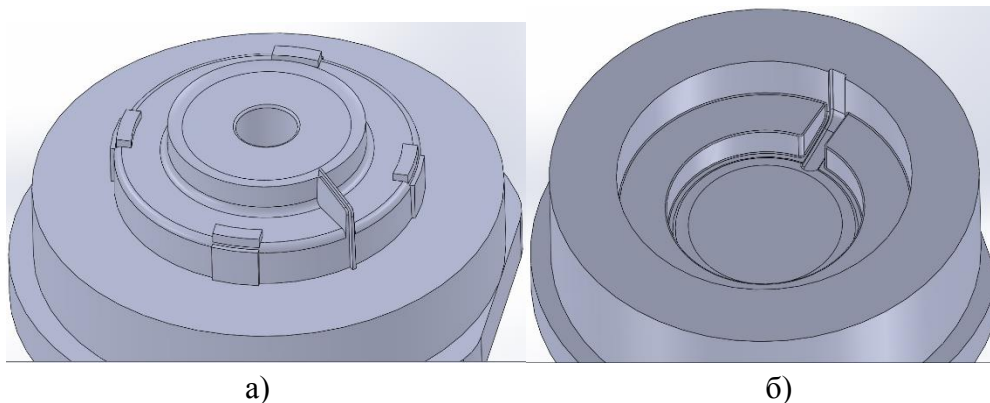
Слика 5.52 Електроде које се користе за електроерозиону обраду уметка

Електроде у склопу са деловима (крупном шупљином и уметком) приказане су на слици 5.53.



Слика 5.53 Електроде у склопу са деловима (калупном шупљином и уметком)

Изглед калупне шупљине и уметка након електроерозионе обраде приказан је на слици 5.54.



Слика 5.54 Изглед (а – уметак, б – калупне шупљине) након електроерозионе обраде

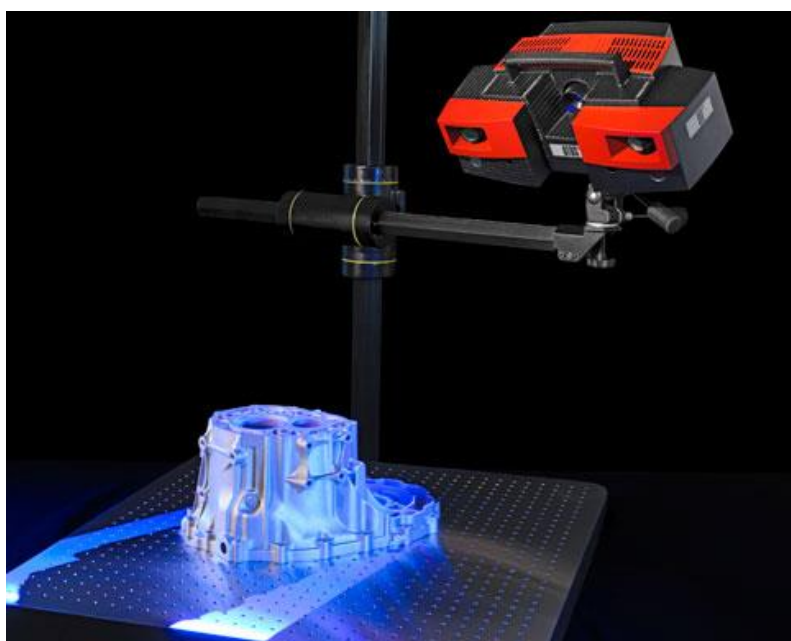
5.3 Контрола алата

Контрола алата коју обавља фирма GOMMALINE се може извршити на два начина:

- Верификација и
- Валидација.

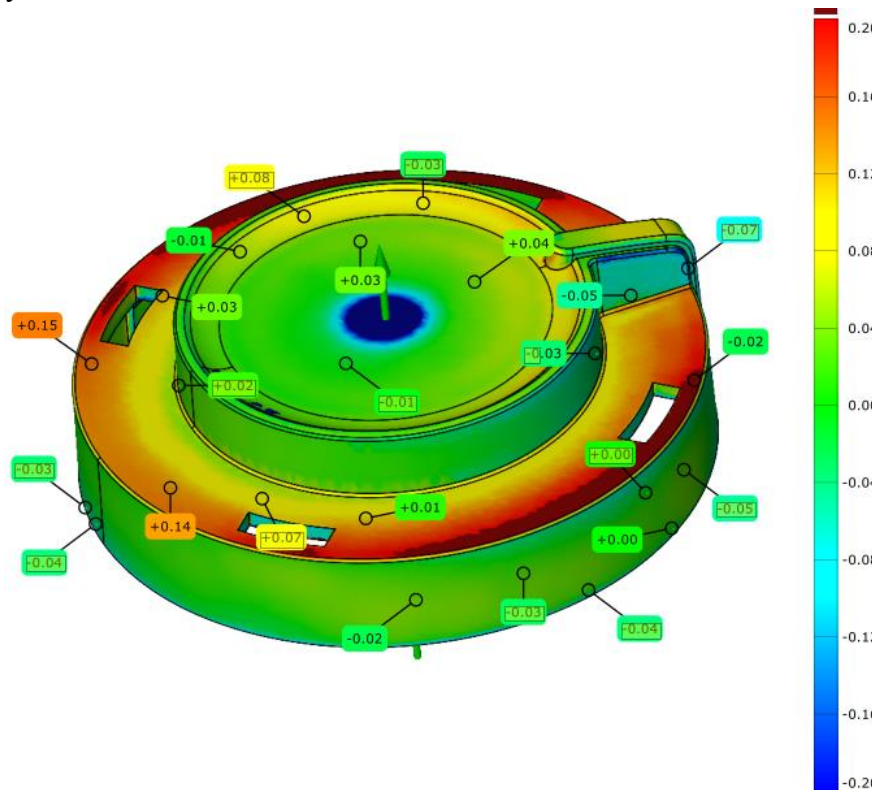
Верификација представља контролу алата кроз проверу облика и димензија делова алата.

Валидација представља контролу алата кроз готов производ, односно тачност његових димензија и облика. У конкретном случају вршена је контрола валидацијом. За валидацију алата коришћен је савремени уређај ATOS Triple Scan (слика 5.48) који производи фирма GOM. Прецизност уређаја је 1 μm .



Слика 5.48 ATOS Triple Scan

Након израде производа, врши се скенирање његових површина на ATOS Triple скенеру. Тако добијени модел, се у одговарајућем софтверу (ATOS Professional V7.5), упоређује са CAD моделом израђеним у SolidWorks-у и на основу тога се уочавају евентуалне грешке. Резултати добијени упоређивањем два модела (тела дугмета бојлера) приказани су на слици 5.49.



Слика 5.49 Валидација алата

На слици се види, да постоји одступање између скенираног и CAD модела. Површине на којима се појавило одступање немају склопну функцију, па из тог разлога није неопходно извршити корекцију алата.

6 Закључак

Израда делова алата за бризгање пластике, због сложености њихових површина, данас је на класичним машинама скоро незамислива. Производња делова на класичним машинама захтева ангажовање великог броја људи, почев од конструктора, технолога, контролора па до непосредних извршиоца (стругара, глодача, брусача итд.).

Са појавом CNC машина поступак производње је доста поједностављен. Највећи део посла завршава програмер, а све остало припада машини.

Увођењем програмских пакета за моделирање производа, учињен је још један корак напред. Наиме, сада се на основу модела може генерисати путања алата и аутоматски направити програм за CNC машину.

Коришћењем софтвера SolidCAM знатно се олакшава израда било ког машинског дела. Предности су бројне, а само неке од њих су:

- Виши ниво квалитета,
- Реализација најобимнијих задатка и ослобађање човека од рутинског посла;
- Омогућавају брзу израду технолошке документације,
- Широко интегрисана производња рачунаром итд.

Значај примене софтвера (SolidCAM) за програмирање технологије израде, приказан је кроз пример машинирања делова калупа алата за бризгање пластике. Делови на којима је вршено машинирање су уметак и калупна шупљина. Детаљно су објашњене операције глодања, са приказом алата, режима, као и осталих параметара неопходних за процес машинирања. Након извршених свих операција дата је збирна табела операција и коришћених алата, коју је могуће генерисати у оквиру програма SolidCAM. На крају, извршено је генерисање NC програма за CNC машину, са посебним освртом на карактеристичне реченице у програму. Генерисање NC кода у оквиру овог програма је веома једноставно и такав код се, без икакве преправке, може користити на CNC глодалици.

Због компликоване геометрије ових делова, није било могуће да се у потпуности израде технологијом глодања, па се за завршну обраду морала користити електроерозиона обрада са пуном електродом. Електроде, као и места на којима се примењују су такође илустративно наведене у раду. Електроде су измоделиране у софтверу SolidWorks.

Увођењем софтверског пакета SolidCAM долази се до много веће ефикасности, а самим тим и веће продуктивности. Време израде је смањено, а и за касније потенцијалне измене производа потребно је много мање времена. Свако улагање у овај софтвер сигурно ће се исплатити.

7 Литература

- [1] Мирослав Нађ, Полимерни материјали, Научна књига, Загреб 1991
- [2] Недић Богдан., Технологија прераде пластичних маса, Крагујевац, 2008
- [3] Миликић Д., Неконвенционални поступци обраде, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2002.
- [4] Ђекић А., Дипломски рад, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2010
- [5] SolidCAM 2010, Milling User Guide, 2010
- [6] Бјелаковић М., Од модела до производа уз помоћу WILDFIRE – а, Техничка школа Трстеник, 2007
- [7] <http://www.ss-industrijska-strojarska-zg.skole.hr/upload/ss-industrijska-strojarska-zg/multistatic/74/10.%20Alati%20za%20preradu%20plasticnih%20masa.pdf>, јун 2014
- [8] <https://www.google.rs/#q=osnovi+programiranja+nc+i+cnc+glodalica>, јун 2014
- [9] <http://www.intechopen.com/books/computational-fluid-dynamics-technologies-and-applications/modelling-and-simulation-for-micro-injection-molding-process>, јун 2014
- [10] <http://www.usbcosteels.com/pdf/UTOPMO2.pdf>, јун 2014
- [11] http://neon.mems.cmu.edu/cramb/27-100/lab/S00_lab2/lab2.html, јун 2014