

Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Индустијски инжењеринг

Предмет: СИМ системи

Број индекса: 13/2005

Ненад М. Радовановић

**Програмирање CNC машина и софтверски пакети
за пројектовање CNC технологија**

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. Др Миладин Стефановић

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да проучи препоручену, домаћу и страну литературу из области програмирања CNC машина. На основу прикупљених и систематизованих података треба да размотри све аспекте потребне за дефинисање рада CNC машина и њихове имплементације. Посебну пажњу треба обратити на програмирање CNC машина, на област примене, њихову способност и њихов утицај на побољшање процеса. Примену CNC машина потребно је приказати на конкретним примерима из инжењерске праксе.

Препоручена литература:

[1] Стефановић М., СИМ системи, Машински факултет у Крагујевцу, новембар 2006.

[2] Блажевић З. Програмирање CNC стругова и глодалица, Вировитица, 2004.

[3] CIMCO Edit V5 User Guide tutorial

Крагујевац,

Ментор:

Проф. Др Миладин Стефановић

Резиме рада: Од своје појаве па до данас, CAD/CAM технологије су имале и имају неизмеран утицај на развој производа. Највећи део производних компанија које диктирају правце развијања и обраде материјала, користе имплементиране CAD/CAM технологије. Као резултат овог утицаја, CAD/CAM технологије се сматрају највећим инжењерским достигнућем прошлог века, а са њима и CNC машине чији је опис и програмирање дато у овом раду. Ове опште прихваћене машине у машинству означавају машине контролисане од стране рачунара односно компјутера. Примена рачунара данас је присутна код пројектовања производа, инжењерских прорачуна и анализа, пројектовања технолошког процеса и управљања информацијама а управо CNC машине подржавају наведене операције и чине их успешним. Програмирање CNC машина једноставно представља оптималан, економичан и рад без грешака. У раду су наведени и детаљно описани примери ручног и аутоматског програмирања CNC машина.

Кључне речи: CNC машина, ручно програмирање, аутоматско програмирање, CAD/CAM.

Summary of work: Since its introduction to the present, CAD/CAM technology have had immense influence on product development. Most of the manufacturing companies that dictate the direction of development and processing, implemented using CAD / CAM technology. As a result of this impact, CAD/CAM technology is considered the greatest engineering achievement of the last century, and with them the CNC machine whose description and programming given in this paper. These machines generally accepted means of mechanical engineering machines controlled by a computer or computers. Use of computers today is present in the product design, engineering calculation and analysis, the design of technological processes and management of information and just CNC machines support the operations and make them successful. CNC programming is simply an optimal, cost-effective and error-free operation. The paper also presents detailed examples of manual and automatic programming of CNC machines.

Keywords: CNC machines, manual programming, automatic programming, CAD/CAM.

Изјављујем да сам овај завршни рад урадио самостално,
служећи се стеченим знањем и искуством као и наведеном
литературом.

Ненад Радовановић

Садржај:

1. Уводна разматрања	6
2. Основи CNC машина	8
3. Елементи и основне врсте CNC машина	12
3.1. Основни елементи CNC машина	12
3.2. Основне врсте CNC машина	13
4. Програмирање CNC машина	16
4.1. Ручно програмирање	17
4.2. Структура програма	18
4.3. Аутоматско програмирање	23
4.4. Софтверски пакети за пројектовање CNC технологија	25
4.4.1. Modul Pro/ENGINEERING Production	25
4.4.2. EXAPTplus производ фирме EXAPT Systemtechnik GmbH	26
4.4.3. hyperMILL производ фирме OPEN MIND Software Technologies GmbH	27
4.4.4. SolidCAM производ фирме CADTECH	28
4.4.5. Mastercam производ фирме CNC Software, Inc.	29
4.5. Директно/дистрибуирано нумеричко управљање (DNC)	29
4.5.1. CIMCO софтвер	33
5. Примена програмирања CNC машина	35
5.1. Програмирање CNC машина помоћу софтверских пакета	35
5.1.1. Пројектовање у програму CATIA V5	35
5.2. Програмирање у G коду на CNC глодалици	41
6. Закључак	50
7. Литература	51

1. Уводна разматрања

CNC машине су софистицирани метало прерађивачки алати који могу да направе компликоване делове које захтева модерна технологија. Скраћеница на енглеском језику (Computer Numerical Control) која је опште прихваћена у машинству и означава машине контролисане од стране рачунара односно компјутера. Рачунар контролише и управља радом машине "читајући" инструкције у облику кодова.

Од своје појаве раних шездесетих година прошлог века до данас, CAD/CAM технологије су имале и имају неизмеран утицај на развој производа. Око 75 % производних компанија у САД и преко 80% компанија у Немачкој, која се сматра једном од водећих економских сила Европе, користе имплементиране CAD/CAM технологије. Као резултат овог утицаја, CAD/CAM технологије се сматрају највећим инжењерским достигнућем у 20. веку, а сигурно је да ће се њихов развој наставити и у будућности [1].

Први нумерички управљани алатна машина направљена је у Америци почетком 50-тих година уз помоћ инжењера MIT-а (Massachusetts Institut of Technology). Новина машине је било увођење електроничког управљања помоћу тзв. управљачке јединице у коју се програм уносио преко бушене папирне врпце. Тадашња управљачка јединица је била већа од саме машине. У односу на конвенционалне машине значајна промена је била увођење одвојених истосмерних мотора за погон главног вретена и носача предмета који се обрађује, радни сто.

Са веома брзим развојем компјутера CNC машине се користе као: стругови, глодалице, ласерски секачи, абразивни млазни секачи, пресе и као друге индустријске машине. Термин CNC се односи на велику групу ових машина које користе компјутере да би контролисале обраду.

Примена рачунара данас је присутна код пројектовања производа, инжењерских прорачуна и анализа, пројектовања технолошког процеса (CAPP – Computer Aided Process Planning), управљања информацијама (EDM – Engineering Data Management, PDM – Product Data Management). Уопште, комплетна производња је интегрисана и подржана рачунаром. Наиме, у развијеним земљама је незамисливо вратити се на начин производње од пре само неколико година.

Развој нових средстава, како софтверских и хардверских, тако и машина и робота, као и њихово усавршавање, има за циљ да се смањи директно ангажовање човека у процесима рада. Њиховом применом у процесу производње ослобађа се људска снага као извор енергије и човек као извршилац одређеног рада, а улогу извора енергије и непосредног извршиоца рада преузима машина.

У овом раду су, након уводних разматрања, у другом делу рада дати основни појмови CNC машина, са објашњењима о основним терминима.

Трећи део овог завршног рада се базира на основним елементима и врстама CNC машина, у коме су детаљно описане намене ових машина, како раде и области у којима се користе.

У четвртом делу је објашњено програмирање CNC машина и то почевши од ручног програмирања, структуре програма ових машина као и аутоматског програмирања. Овај део се базира и на софтверским пакетима за пројектовање CNC технологија, међу којим су Modul Pro/ENGINEERING Production, EXAPTplus, hyperMILL, SolidCAM, Mastercam и други.

У овом делу је, такође, објашњено директно нумеричко управљање (DNC), као и CIMCO софтвер.

Пети део овог завршног рада је базиран на примени програмирања CNC машина како помоћу софтверских алата, међу којима је CATIA V5, тако и помоћу G кода.

На крају рада, у шестом и седмом делу, су дата закључна разматрања и литература која је коришћена у овом завршном раду.

2. Основи CNC машина

Развијајући помоћна средства, човек развија и њихове системе управљања. Системи управљања треба да га замене у управљању механизмима и машинама. Машине и процеси израде се тако аутоматизују, чиме се мења и улога човека у процесу производње: човек од извршиоца постаје организатор и контролор радног процеса. Све ово омогућују одређени системи управљања машинама. Тиме се остварују процеси израде делова са унапред задатим операцијама, без учешћа човека.

Човек не управља свим покретима, свим радњама, него као организатор рада задаје машини одређени програм рада који она самостално обавља. Мере које омогућују да се неки процес са одређеним операцијама реализује самостално, без учешћа човека, а који се може понављати и више пута, одређују степен аутоматизације машина.

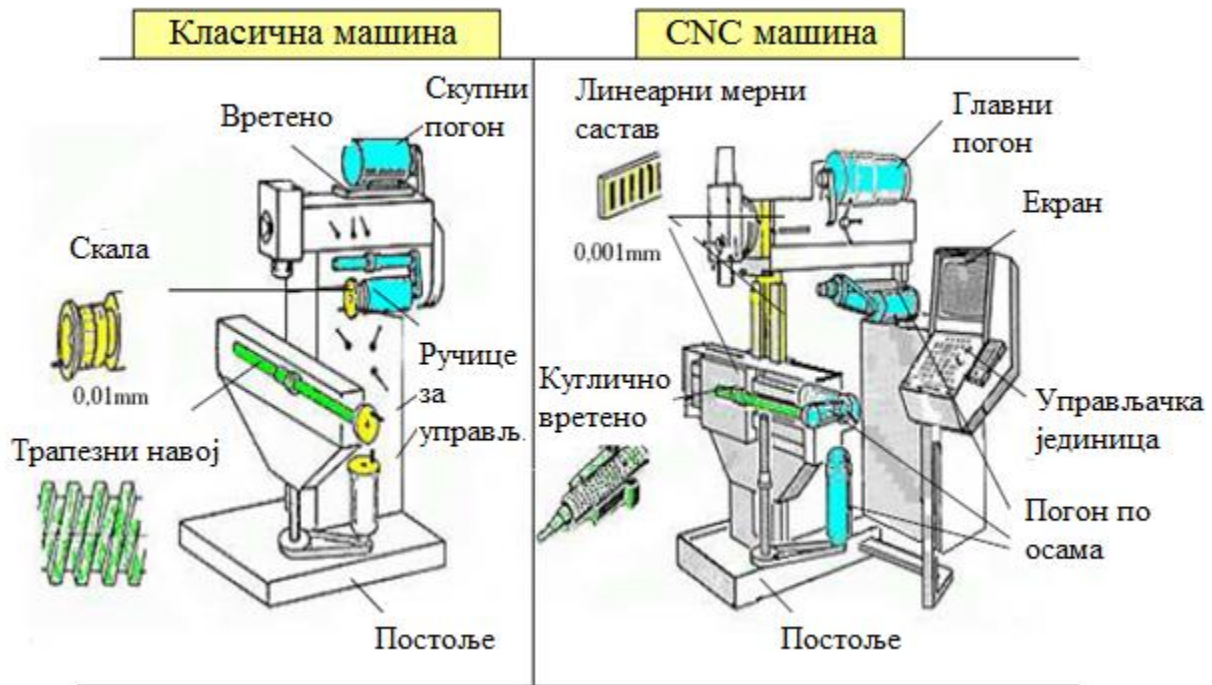
Однос броја аутоматизованих функција машине и укупног броја функција машине одређује степен аутоматизације машине. Према томе се врши груба подела аутоматизације машине на следећи начин:

- Основни или први ниво аутоматизације машине је извршавање задатих информација (механички аутомати, машине са контактним убадањем као и машине са копирним системом управљања);
- Средњи или други ниво је преношење и извршавање задатих информација (нумерички управљане машине које поред извршавања и преносе одређене информације);
- Виши или трећи ниво је стварање, преношење и извршавање информација (нумерички управљане машине које имају потпуно или делимично управљање у спреси са рачунаром). [2]

Иако је постигнут веома висок ниво примене информатичких технологија у производним процесима када су у питању пројектовање производа и инжењерски прорачуни и анализе, у области пројектовања CNC технологија квалитет NC (Numerical Control) програма још увек зависи у великој мери од знања и искуства инжењера.

Путања алата се при обради просторно сложених површина аутоматски генерише применом CAD/CAM система. Међутим, за правилан избор врста обраде, редоследа операција, алата и режима обраде још увек је одговоран инжењер, у односу на оно што му нуде савремени програми.

Сама структура NC програма захтева да се технолошки параметри дефинишу по одређеном редоследу, а да се показатељи технолошког процеса (укупно време обраде, степен искоришћења обрадних центара, искоришћење задате постојаности алата, количина алата, итд.) сагледају тек на крају израде програма [1].



Слика 2.1. Разлике између класичних и CNC машина [2]

На слици 2.1. се могу видети основне разлике између класичних и CNC машина а то су:

- Погон машина – код класичних машина ради се о укупном погону тј. један мотор погони и главно вретено и остала померања радног стола, док код CNC машина постоји један главни мотор за погон главног вретена а померања по осам остварују посебни истосмерни мотори.
- Управљање машина – изводи се код класичних машина ручно преко ручица за управљање док CNC машине имају управљачку јединицу (тастатура и екран) и раде аутоматски преко програма.
- Мерни састав машина – састоји се од скале са нонијусом (класична машина) или прецизнијег линеарног састава мерења (CNC машина).
- Кретање радног стола – остварује се трапезним навојем или кугличним навојним вretenом (CNC машина). [2]

Нивои управљања:

- Управљање по тачки (истовремено кретање само по једној оси – нпр. операција бушења)
- Управљање по кривуљи у равни (истовремено кретање по два осам)
- Управљање по просторној кривуљи (истовремено кретање по најмање 3 осам – нпр. лопатике турбине). [2]

Основне карактеристике CNC машине:

- Могућност обраде најсложенијих машинских делова
- Висока продуктивност
- Велика брзина рада због повећаних режима рада
- Робуснија конструкција машине
- Боље вођење (нпр. куглично навојно вретено), што резултира већом прецизношћу (0.001 mm)
- Обилно подмазивање и хлађење алата (до 100 l/min и више) чиме се продужује век трајања алата
- Коришћење најквалитетнијих алата са резним оштрицама од тврдых метала и керамике. [2]

CNC машине суштински заокружују процес производње и представљају логичан елемент свих интегрисаних система. Примена CNC машина доноси бројне предности у областима:

- Продуктивности:
 - боље се користи машина пошто се више времена троши на обраду, а мање времена одлази на позиционирање,
 - смањује се припремно време што утиче на искоришћење машине;
- Квалитета:
 - постиже се већа тачност,
 - постиже се боља поновљивост,
 - смањује се количина шкарта;
- Смањењу залиха:
 - омогућује остваривање нижих залиха,
 - смањује трошкове залиха;
- Боље обраде комплексних облика:
 - кроз прецизније кретање под компјутерском контролом,
 - компјутерска контрола може да израчунава кораке и правце;
- Бољег управљања:
 - омогућује повезивање са интегрисаним системима,
 - омогућује повезивање са системима за планирање процеса и производње. [3]

Примене CNC машине су различите, али предности CNC машине су свуда сличне. Највећа предност CNC машине је побољшана аутоматизација. Улога и интервенција оператера CNC машине може бити у великој мери смањена, готово искључена. Ово ствара многе узгредне користи као што је смањење оптерећења оператера, мањи број грешака и конзистентно и предвидиво време обраде сваког дела. CNC машине имају велику тачности и велику могућност поновљивости, што значи да се велики број делова

исте тачности, прецизности и квалитета може произвести на CNC машини. Још једна велика предност CNC машине је флексибилност.

Пошто су ове машине управљане од стране програма, израда новог дела се своди на читавање новог програма. Све ово води до могућности да производни систем брзо реагује на промене. Пошто је веома лако управљати овим машинама потребно је кратко време да оне крену у производњу или да крену са новим производом, све ово су захтеви модерних пословних филозофија као што је на пример Just In Time производња. Са друге стране CNC машине захтевају више инвестиције, бољу и додатну обуку запослених и квалитетно одржавање.

CNC машине нису економичне за производњу једноставних делова у малим серијама, њихова економичност долази до изражаја у производњи сложених производа у великим серијама. [3]

3. Елементи и основне врсте CNC машина

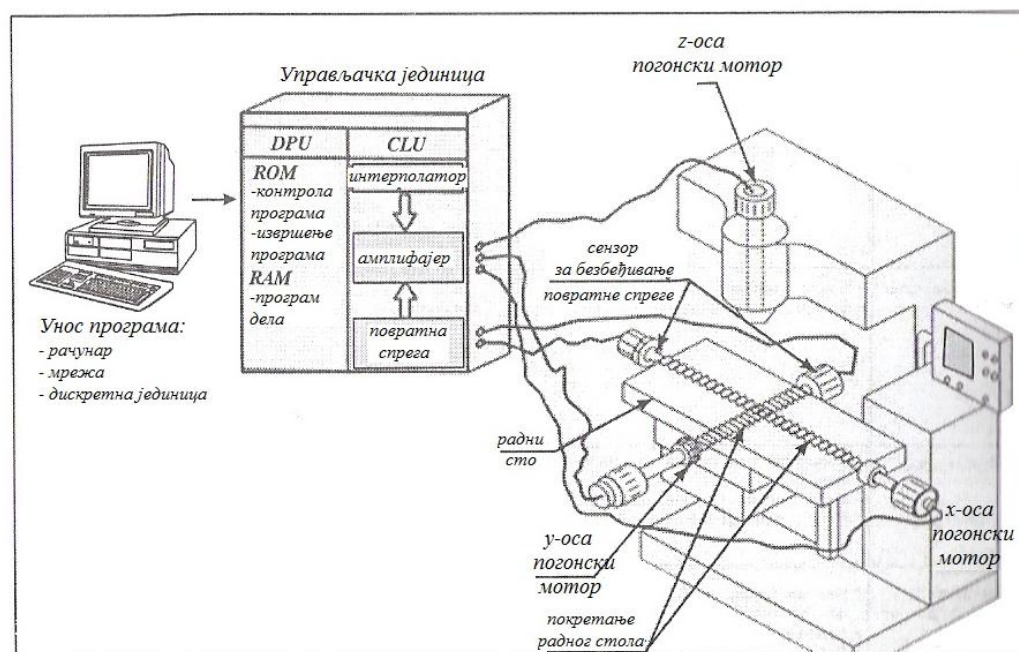
Код CNC машина опремање се врши различитим алатима јер је то од битне важности за квалитетну израду. Постоје машине где су више алата смештени у главном вретену према редоследу израде. Алати су постављени тако да је сваки други алат наизменични алат за спољну обраду или унутарњих обраду, чиме су једни алати с парним а други са непарним бројевима.

Сваком се алату могу доделити одговарајући бројеви корекција алата који се налазе у меморијском месту машине за корекцију димензија алата. Под корекцијом подразумева се вредност разлике координата врха оштрице посматраног алата у односу на први алат.

Истрошеност алата такође делује на неточност димензија па се морају узети у обзир и те корекције. Неточност се установљава мерењем израђеног дела [2].

3.1. Основни елементи CNC машина

Код CNC машина инструкције су смештене у програм микро-компјутера који се налази заједно са машином. Компјутер такође управља са великим делом управљачке логике машине, и чини је много флексибилнијом и прилагодљивијом од претходних NC машина. CNC машином се управља уз помоћ контролера који представља главни део CNC машине. [3]



Слика 3.1. Приказ једне CNC машине [3]

Типични CNC систем се састоји од следећих елемената, слика 3.1.

- Програма,
- Улазног уређаја за учитавање програма - Представља интерфејс за уношење програма у CNC систем. Најчешћи улазни уређаји за уношење програма су тастатура, RS 232 серијски порт, дискретна јединица и мрежа.
- Управљачка јединица машине је кључни део CNC система. Овај део обавља следеће функције: чита кодиране инструкције, декодира инструкције, имплементира интерполацију (линеарно, кружну, параболичну) и генерише команде за покретање оса, прослеђује команде за покретање оса, прима сигнал из повратне спреге о позицији и брзини за сваку осу, имплементира додатне контролне функције као што су укључивање средства за хлађење и подмазивање, укључивање и искључивање главног вретена и измену алата. Управљачки систем код CNC машине може бити са отвореном повратном спрегом и затвореном повратном спрегом.
- Погонски система - овај систем се састоји од појачавачког споја, степ мотора или сервомотора и вретена.
- Алатних машина - CNC управљање се користи код различитих врста алатних машина.
- Систем за повратну спрегу - систем за повратну спрегу чини мерни систем. Овај систем користи даваче позиције и брзине да би континуално пратио позицију на којој је лоциран алат у било ком тренутку. Постоји велики број сензора и мерних уређаја који се користе: потенциометри, енкодери (уређаји који конвертују праволинијску или угаону позицију у електрични излазни сигнал), ресолвери (ротациони трансформатор који даје излазни сигнал у функцији позиције ротора), давачи брзине, тахометри, итд. [2]

3.2. Основне врсте CNC машина

На основу једне од дефиниција машинске обраде која каже да је машинска обрада процес производње којим се добијају жељени облици материјала на три начина:

- Скидањем материјала, односно резањем (промена запремине материјала),
- Деформисањем материјала (промена облика материјала) и
- Неконвенционалним методама.

Све CNC машине могу да се поделе на:

- CNC машине за обраду резањем,
- CNC машине за обраду деформисањем,
- CNC машине за неконвенционалну обраду и
- CNC мерне машине.

CNC машине за обраду резањем

Основне методе обраде резањем су: стругање, рендисање, глодање, бушење и брушење. Нумерички управљане машине за обраду резањем су:

- CNC струг (хоризонтални, вертикални или под углом) са 2, 3 или 4 управљане осе. Ово је најраспрострањенији тип нумерички управљаних машина. Обрађују се делови кружница, конуса, цилиндара и навоја.
- CNC бушилица, хоризонтална или вертикална, је углавном координатна бушилица, оспособљена за рад са великом тачношћу за бушење отвора или за операције сродне бушењу (забушивање, упуштање, проширивање, развртање, израда навоја).
- CNC глодалица захтевају управљање са функционалном зависношћу више оса да би се извела обрада по правој линији или контури. Главно кретање глодалице је увек обртање главног вретена са алатом.
- CNC цилиндрична брусилица функционише као машина за стругање, с тим што је алат другачији. За разлику од струга код брусилице је алат тоцило.

CNC машине за обраду деформисањем

Циљ развоја ових машина је да се без посебних тешкоћа, временских и других губитака, могу прилагодити брзим и једноставним променама израде делова, најчешће од челичних лимова и сличних материјала. Обликовање деформисањем помоћу одређеног релативног кретања између алата и дела који се обрађује, показује аналогију са нумерички управљаним машинама за обраду делова резањем. Најчешће се израђују:

- CNC машине алатке за обраду пробијањем, крзањем и просецањем – пресе за обраду лимених табли.
- CNC машине алатке за обраду савијањем. Савијањем се најчешће обрађују профилисани делови.
- CNC машине алатке за обраду извлачењем-притискивањем примењују се у обради дела ротационог облика приближно исте дебљине са или без венца.

CNC машине за неконвенционалну обраду

Механичка својства материјала алата за конвенционалну обраду (чврстоћа, тврдоћа, постојаност на топлоту и отпорност на хабање) не могу да прате технологију обраде нових тешко обрадивих материјала који се све више примењују у савременој индустрији. Код неких метода обраде, ефекат скидања (одношења) материјала заснива се на коришћењу физичких и хемијских појава и процеса, коришћењем различитих врста енергије: електричне, тополотне, хемијске, светлосне и друге:

- Обрада електроерозијом,

- Ласерска обрада,
- Обрада плазмом и
- Обрада помоћу CO₂.

CNC мерне машине

Контрола помоћу рачунара и испитивање помоћу рачунара изводе се аутоматски коришћењем најновије технологије рачунара и сензора. Контрола помоћу рачунара и испитивање помоћу рачунара су посебни системи који обезбеђују рачунаром подржану контролу квалитета. Нумерички управљана машина за мерење је карактеристичан пример опреме која се у савременој производњи користи за контролу димензија радних делова. Карактеристично је да је њој потребно између 5% и 10% од времена које се троши код традиционалних мерних система.

Улога машина алатки се мења током времена. Осим тога што супостале аутоматизоване конструишу се тако да могу да комбинују неколико операција на једном делу, за шта је раније било потребно неколико различитих машина. Такође се иде ка томе да се смањују помоћна времена, за измену алата или стављање и склањање дела. Ове промене су интегрисане на новој врсти машине за обраду, чији концепт није био могућ пре настанка и развоја технологије нумеричког управљања, а то је обрадни центар.



Слика 3.2. Вертикални HAAS обрадни центар и CNC глодалица [1]

Обрадни центар је машина алатка која може да изведе неколико машинских операција на истом делу без додатног подешавања. У таквим обрадама учествују ротациони алати за операције попут глодања и бушења, а оно што омогућава извођење више операција без додатног подешавања је аутоматска измена алата. Данас постоји велики број произвођача нумерички управљаних обрадних центара. Неки најпознатији су: Gentiger Machinery Ind. Co., Ltd., Fulland Machinery Co., Ltd., Denver Ind. Co., Ltd., Leaderway Machinery Co., Ltd., Jeenxi Technology Co., Ltd., C-TEK Technology Corporation, Mikrosam [1].

4. Програмирање CNC машина

Програм за CNC машине треба да буде оптималан, економичан и без грешака. Програмирање обрадних процеса на нумерички управљаним машинама обухвата низ захвата на систематизацији обрадних информација, њиховом исписивању одређеним редоследом и кодом према правилима програмског језика у форми управљачког програма.

У реалној индустријској пракси примену има:

- Ручно програмирање,
- Аутоматско програмирање.

Без обзира о ком облику програмирања се ради, CNC машина добија све потребне информације за аутоматску обраду неког елемента. То су информације о потребним главним и помоћним кретањима, информације за укључивање и искључивање извршних органа машине, за аутоматску измену алата и дела, за почетак и крај програма.

Управљачке јединице обрађују припремљене информације и према степену приоритета саопштавају извршним органима машине алатке, па се на тај начин остварује управљање процесом обраде.

За израду програма потребне су информације о одређеном типу машине, алатима и уређајима, материјалима, параметрима обраде, разним препорукама и слично. Ове информације се систематизују у облику база података и програмер их по потреби користи. У технолошкој бази података информације се налазе у облику карти алата, машина, каталога, табела или се налазе у датотекама рачунара и користе се по потреби. Уређене управљачке информације у форми програма потребно је пренети на носач информација преко кога ће бити унешене у меморију управљачке јединице на даље процесирање.

Пре уношења програма за рад CNC машине алатке треба извести следеће активности:

- Подешавање CNC машине према листи за подешавање. Листа садржи списак потребних алата и њихових држача, држача и стезача обрадног дела.
- За CNC машине које нису опремљене апсолутним мерним системом, после подешавања, клизачи се доводе до нулте тачке ради усаглашавања мерног и управљачког система.
- У случају отказа алата, корисник машине мора бити спреман да прекине програм обраде. После замене алата или окретања плочице, програм треба да стартује од првог главног блока пре прекида процеса обраде.

- Симулација процеса обраде треба да омогући верификацију квалитета програма. Машина се укључи да ради без обрадног дела и посматрају се дефинисана кретања.

Програмирање подразумева израду следеће документације:

- Оперативни 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 као и 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 за од почетка до краја обраде.
- Испис програма – или краће програм је задњи и најважнији документ по којем се уносе наредбе за управљање машином. Разрађени програм уноси се у програмски лист. [2]

4.1. Ручно програмирање

Ручно програмирање прво је нашло примену у почетним фазама коришћења машина алатки. Данас има примену у радним организацијама које имају мали број CNC машина. Код овог начина програмирања све геометријске и технолошке задатке реализује израдом програма програмер-технолог. Ручно програмирање почиње узимањем података са цртежа и израчунавањем података о броју захвата, дубини и брзини резања, брзини помоћног кретања, затим података о алату и прибору за стезање као и у случају конвенционалног начина израде технолошког поступка.

Технолошки поступак који се ради уско је везан за CNC машину за коју се ради управљачки програм. Програмер-технолог мора да располаже свим потребним подацима о CNC машини за коју се ради програм. На основу података о CNC машини, стезном прибору и на основу плана обраде, формира се план стезања. Он обухвата информације о положају обрадног дела, координатним осама, димензијама обрадног дела и стезног прибора, као и о броју радних положаја - стезања. На основу плана стезања, информација о алату и режиму обраде, формира се план алата. План алата садржи информације о врсти алата, пречнику алата, димензијама алата, држачу алата, растојању између врха алата и референтне равни радног вретена и тако даље.[1]

Подешавање алата је најчешће у радијалном и аксијалном правцу помоћу специјалних уређаја за подешавање алата. На основу наведених података, програмер попуњава

технолошки програмски лист. Кодирањем овог листа, добија се изворни програм. Помоћу бушача траке, изворни програм преноси се на бушену траку која садржи све информације померања и укључивања, и њеним постављањем у читач информација завршава се спољашња обрада података.

Ручно програмирање се примењује у условима израде програма где се не ангажује рачунар и прихватљиво је за производне погоне који имају до десет CNC машина. Ако је број машина алатки већи или постоји могућност коришћења рачунара, онда се примењује машинско програмирање.

Програмер-технолог за израду управљачког програма мора да зна:

- Техничке карактеристике система машина алатка - управљачка јединица,
- Положај оса машине алатке,
- Улазне величине,
- Дозвољени број карактера у речи,
- Начин писања блокова (фиксне или променљиве дужине),
- Начин кодирања појединих машинских функција,
- Начин програмирања корака и броја обртаја,
- Начин кодирања помоћних функција,
- Систем мера, апсолутни или инкрементални - релативни,
- Врсте интерполације,
- Карактеристике управљачке јединице и друго. [2]

4.2. Структура програма

При ручном програмирању пише се и добија изворни програм који се може пренети на бушену траку. Изворни 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 алатки. 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. Речи могу имати модални или периодични начин дејства. Модална реч остаје меморисана све док се не избрише или не замени другом. Речи са периодичним дејством делују само у реченици у којој су програмиране, што значи да, по потреби, мора поново да се програмирају.

Адресе и кодне ознаке према ИСО препорукама објашњавају се на следећи начин:

N → Број реченице и представља редни број. Неке управљачке јединице имају уређај за тражење реченица и допуштају произвољан редослед писања реченица.

X, Y, Z → Координате. Ове адресе дефинишу главне осе усвојеног координатног система за путање кретања и дају информације о кретању.

G → Функција инструкције померања, услова пута и информација о путу представља геометријски део програма. Услови пута одређени су адресом G и двоцифреним бројем. Ова функција даје информације о начину кретања.

G00	Брзо позиционирање
G01	Линеарна интерполација
G02	Кружна интерполација у смеру казаљке на сату
G03	Кружна интерполација у смеру супротном казаљки на сату
G10/ G11	Писање података/Обустављање уписа података
G17	Избор равни X-Y
G18	Избор равни X-Z
G19	Избор равни Y-Z
G20	Програмирање у инчима
G21	Програмирање у милиметрима
G22	Скип функција (користи се за пробе и мерни систем дужине алата)
G33	Константан корак
G34	Варијабилни корак
G40	Компензација радијуса алата-искључена
G41	Компензација радијуса алата-лева
G42	Компензација радијуса алата-десна
G90	Апсолутно позиционирање
G91	Инкрементално позиционирање
G94/ G95	Инча у минути/инча по обртају

Табела 4.1. Општи G-кодови [3]

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 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 100 mm/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. Тако на пример T0202 значи позив алата број 2 и коректурног пара број 2, или T0203 позив алата број 2 и позив коректурних прекидача

број 3, а ако је T0200 значи брисање коректуре 2 или 3. Укључивање и искључивање коректуре врши се ван захвата алата. Код неких машина алатки за уписивање коректуре користе се друге адресе, док наредба за позив алата остаје иста - T.

M → Адреса за дефинисање помоћних или додатних функција: укључивање и искључивање главног вретена, измена алата, означавање краја блока и друго.

M01	Опционално заустављање
M02	Крај програма
M03	Обртање вретена у правцу казаљке на сату
M04	Обртање вретена у супротном правцу казаљке на сату
M05	Заустављање вретена
M06	Измена алта
M07	Укључивање магле за хлађење
M08	Укључивање течности за хлађење
M09	Искључивање течности и магле за хлађење
...	...
M60	Заустављање програма
M99	Крај подпрограма

Табела 4.2. Општи М-кодови [3]

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.

На пример, реченица може бити написана у слободном формату, са варијабилном дужином речи и има облик: H5 G01 X85 Y42,5 F80.

Главне функције

Главне функције или функције услова кретања означавају се словним симболом G и двоцифреним бројем. Функције су дефинисане одговарајућим упутством за руковање одређеном машином. Како постоји разлика између појединих управљачких јединица, тако постоји и разлика у значењу главних функција. Главне функције по намени могу бити:

- Функције за дефинисање система програмирања (апсолутни -инкрементални),

- Функције за успостављање начина кретања, брзи корак, интерполација, резање навоја и друго,
- Функције за дефинисање корекције алата, корекције полупречника алата, корекције дужине алата,
- Функције за дефинисање стандардних циклуса при обради бушењем или обради стругањем и друго. Дефинишу су адресом, словним симболом G и двоцифреним бројем.

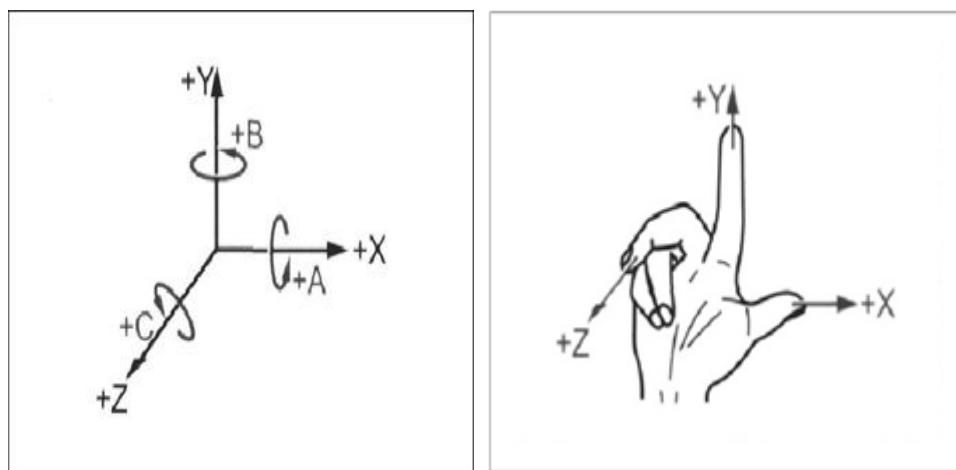
Помоћне функције

Ове функције искључиво служе за давање инструкција машини алатки. Број помоћних функција је различит, што зависи од управљачке јединице, од намене машине алатке, од обима помоћних инструкција, додатних уређаја и слично. Дефинисане су, као и главне функције, адресом, словним симболом M и двоцифреним бројем. Деле се на:

- Функције заустављања,
- Функције укључивања и искључивања,
- Функције за измену и корекцију алата,
- Остале помоћне функције као и
- Функције за крај управљачког програма.

Координатни систем

Оријентација координатног система CNC машине је у складу са правилом „три прста десне руке“, као што је приказано на слици, 4.1. Оса Z је увек усмерена у правцу осе главног вретена, а у зависности од равни у којој се обрада врши, одређују се смерови друге две осе.



Слика 4.1. Правило „три прста десне руке“ [2]

Карактеристичне тачке



Нула машине (Machine zero point). Позиција ове тачке се не може мењати. Одређена је од стране произвођача машине. Она је исходиште координатног система.



Нула радног предмета (Workpiece zero point). Тачка везана за део који се обрађује. Слободно се мења према потребама конструкције или израде.



Референтна тачка алата (Tool mount reference point). Почетна тачка од које се мере сви алати. Лежи у оси држача алата. Одређена је од стране произвођача и не може се мењати.



Референтна тачка (Reference point). Тачка у радном подручју машине, одређена је крајњим прекидачима. Позиција се пријављује контролном уређају када се клизачи приближе тачки.



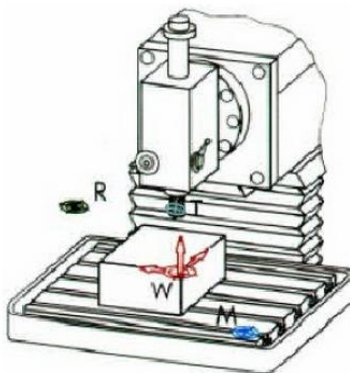
Постављена нулта тачка (Settable point). Одабрана тачка на стезном прибору у односу на коју се одређује нулта тачка обрадног дела.



Почетна тачка алата (Begin point). Од ове тачке алат почиње са обрадом и у њој се врши измена алата. Не мора бити дефинисана.



Тачка врха алата. [2]



Слика 4.2. Карактеристичне тачке код глодалице [2]

4.3. Аутоматско програмирање

Основни недостаци ручног програмирања могли би да се искажу констатацијама као што су на пример да програмер мора да мења коте са цртежа и да их прилагођава координатном систему машине. Такође и да програмер мора сам да дефинише геометрију дела, тј. да израчунава поједине карактеристичне коте и да до најситнијих детаља дефинише пут алата.

Потребно је и да се сваки захват или покрет алата, или клизача, посебно дефинише и шифрира сагласно шифрама које "разуме" управљачка јединица машине. Карактеристично је и да сваки произвођач машине има свој специфичан начин програмирања и кодирања информација.

Као последице ових недостатака могу да се наведу следеће констатације:

- Ручно програмирање код већег броја машина и компликованијих делова постаје "уско грло",
- Потребно је више квалификованих програмера,
- Сам технолошки поступак израде делова траје дуже услед спорог програмирања, што поскупљује производ,
- Већа је могућност грешака, нарочито код сложенијих делова.

У светлу рачунарске подршке и интеграције релевантних производних функција и активности 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.

Основне функције САМ система везане су за планирање производно-технолошких процеса. Међу њима су:

- генерисање припремка,
- генерисање и оптимизација путања алата,
- креирање и коришћење база података и каталога режима и алата,
- прорачун времена израде,
- генерисање CNC програма,
- симулација и визуелизација процеса израде,
- генерисање производне документације,
- брза израда прототипова (rapid prototyping).

Један од сегмената аутоматског (рачунарског) програмирања поред програмирања у сродним језицима је и програмирање у CAD/CAM системима (данас најраширенији вид програмирања). Принцип програмирања састоји се у коришћењу развијених CAD система из којих се добијају одговарајући цртежи дела који се обрађује. Тако дефинисани објект повезује се са неким од CAM модула где се на темељу цртежа генерише путања алата. [4]

Прикупљање информација о делу подразумева повезивање CAM програма са програмом за геометријско моделирање. Без обзира уком програму се врши геометријско моделирање, при димензионисању и постављању релација карактеристичних облика у оквиру модела, неопходно је водити рачуна о томе у ком контексту ће касније тај модел бити коришћен. Цртеж дела или подаци о делу из CAD датотеке, представљају улазне информације у систем, који садржи информације о облику дела и његовим димензијама, податке о толеранцијама, квалитету обрађених површина као и специјалне технолошке карактеристике. Поред форме моделираног дела прикупљање информација о делу садржи и анализу осталих података у складу са постојећим техничким, технолошким, производним и другим условима.

Избор редоследа операција и захвата као и технолошких параметара обраде одређује технолог - ”програмер”. Након добијеног CNC програма потребно је извршити постпроцес података за одређену управљачку јединицу алатне машине. Након тога CNC програм је спреман за слање на алатну машину. Симулација (верификација) обраде такође се ради у CAM модулу. За различите врсте обраде постоје и такви дефинисани CAM модули (глодање, електроерозија, плазма резање...).

Циљеви аутоматског програмирања CNC машина уз помоћ рачунара могу се исказати на следећи начин:

- Аутоматски прорачун путање алата на основу што краћег и једноставнијег описа жељене путање алата,
- Аутоматско дефинисање захвата обраде и њиховог редоследа у случајевима када је редослед стандардан (нпр. код израде навоја у отвору постоји стандардни поступак кога не треба увек понављати већ се позива из датотека поступака),
- Сам проблем програмирања дефинисати описно коришћењем правила специјално развијеног симболичког језика,
- Аутоматизовано одређивање режима обраде,
- Аутоматизовани избор резног алата и стезног прибора,
- Аутоматско прерачунавање координатног система. [4]

Предности примене аутоматског програмирања CNC машина су бржа и јефтинија израда програма, програми су краћи и независни од произвођача машине, мања је могућност

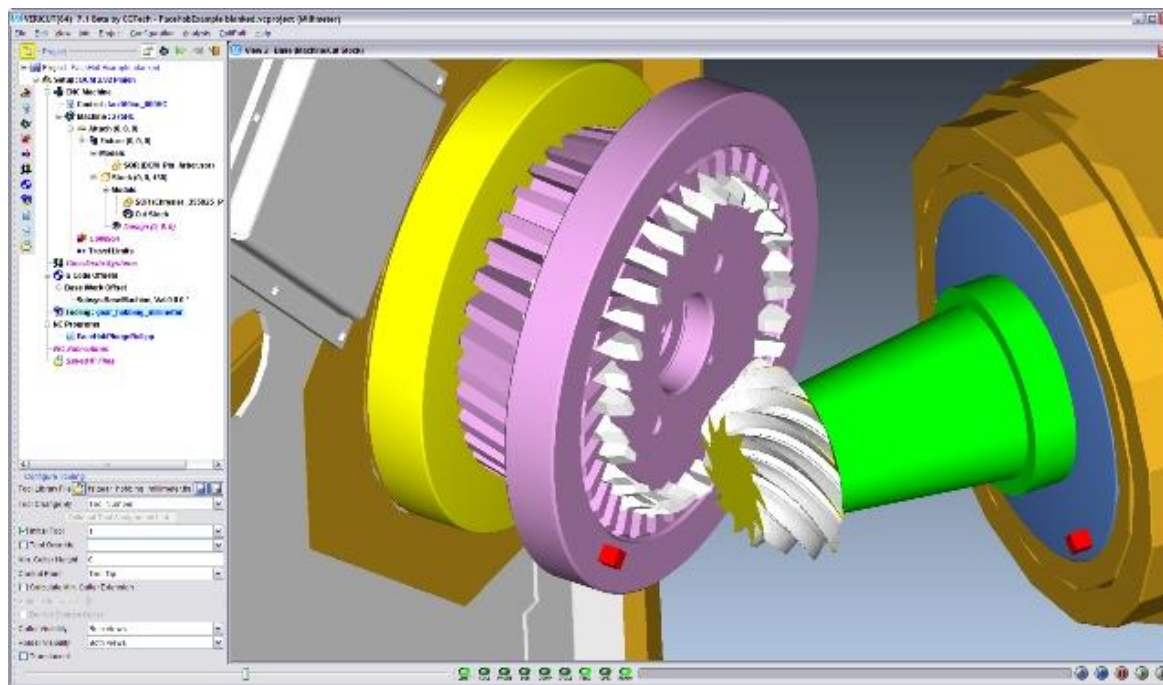
уноса грешака приликом рачунања, боље је искоришћење програмера и омогућено је управљање и просторним (контурним) системима обраде.

4.4. Софтверски пакети за пројектовање CNC технологија

Развојем рачунарске опреме (хардвера и софтвера) у задњој деценији створени су услови и могућности шире примене рачунара у инжењерским процесима: конструисања, пројектовању технологија и процеса обраде, вођењу и управљању производњом и обрадним системима као и симулацији процеса и техничких проблема са којима је у додиру савремени инжењер. У том циљу развијени су многи програми од којих неки имају примену у подручју производног инжењерства (CAD/CAPP/CAM), где се тежи интегрисању послова конструкције (CAD), планирања процеса обраде (CAPP) и управљања обрадним системима тј. процесом израде (CAM). Главна карактеристика свих CAM софтверских пакета је графичка симулација путање алата у циљу бржег, једноставнијег и сигурнијег програмирања CNC машина.

4.4.1. Modul Pro/ENGINEERING Production

Овај модул покрива подручја вишеосног глодања, стругања и електроерозије, процеса битних за израду калупа у индустрији обликовања метала деформирањем. То чини овај софтвер свеобухватним решењем за производњу јер обједињује све аспекте процеса производње од конструкције и њене верификације (визуално и нумерички) до готовог производа. Што се тиче обраде деформирањем за сада постоји обрада ласером, плазмом, обрада савијањем и обрада просецање-пробијање с комплетним CNC кодом.

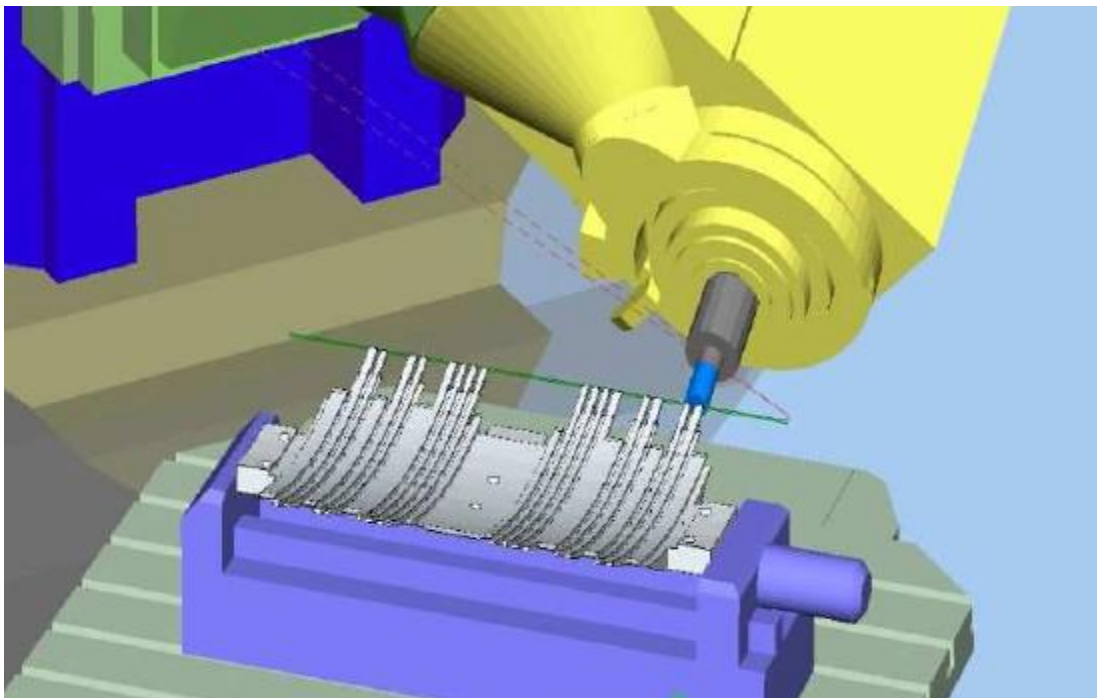


Слика 4.3. Поступак обраде применом VERICUT софтвера [5]

VERICUT је саставни део софтвера Pro/ENGINEER. Симулација, верификација и анализа процеса вишеосног глодања (2,5 до 5), бушења, стругања, електроерозијске обраде, комбинација стругање-глодање као и високобрзинске обраде су покривене овим програмом. Постоји и библиотека CNC постпроцесора за све важније управљачке јединице. Оптимизација путање алата чини CNC програм бржи и једноставнији. За разлику од других CAM софтвера овај подржава и могућност израде и симулације рада машине (виртуални) тако да се унапред могу отклонити могуће неправилности алата са машином.

4.4.2. EXAPTplus производ фирме EXAPT Systemtechnik GmbH.

Темељи овог данашњег софтвера датирају још из 60-их година или време настанка EXAPT програмског језика за CNC програмирање. Данашњи EXAPTplus поред CAD/CAM (стругање, бушење, глодање, електроерозија) поседује и модул за CAPP (Computer Aided Process Planning) што га чини различитим од већине других CAD/CAM софтвера. Улазни формат је цртеж у неком од CAD формата (IGES, DXF, STEP, SAT). Након формирања CAD модела приступа се одабиру обрадног процеса и алатне машине на којој ће се обрадити дати модел. Избор алата се врши из постојећих база података о алату или се уносе нови алати за одређен случај. Након тога се дефинише површина обраде као и параметри обраде. Са овим задатим подацима приступа се аутоматски симулацији обраде. Ту се виртуално могу контролисати могуће неправилности алата са делом, машином или стезном направом.



Слика 4.3. Обрада производа у EXAPTplus софтверском пакету [6]

Уколико је све прошло без проблема приступа се даљој обради и тако све док не добије готов производ. Док се припрема процес обраде и подешавају битни параметри у позадини програм усваја податаке и генерише CNC програм као улаз за CNC алатне машине. Након обављеног комплетног процеса обраде приступа се постпроцесирању података према управљачкој јединици алатне машине.

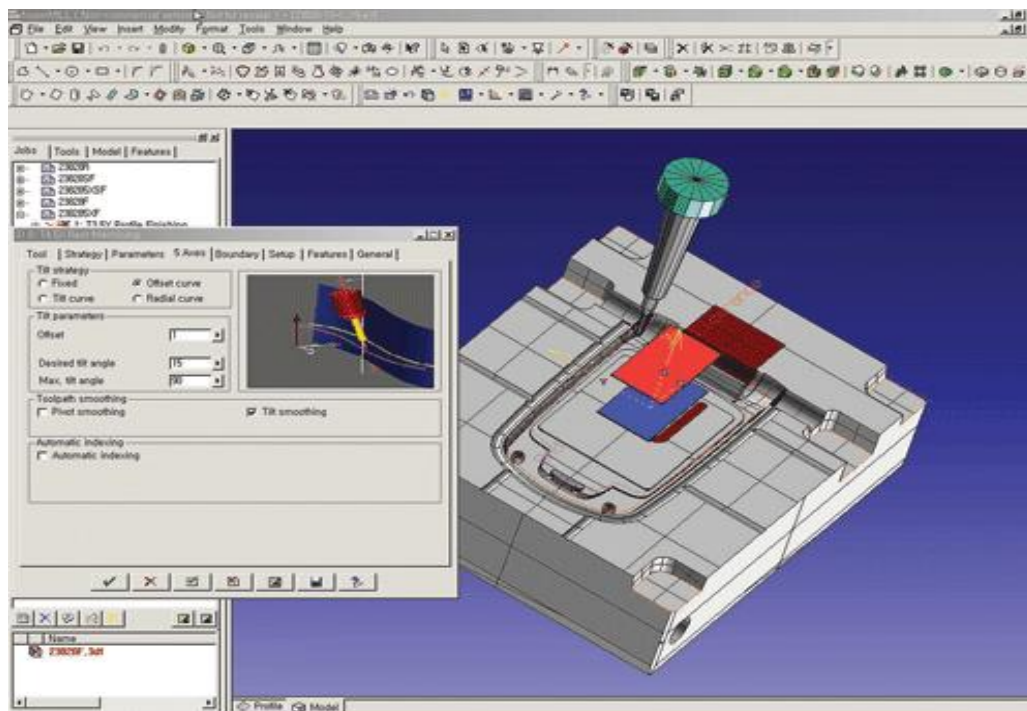
EXAPTplus софтверски пакет покрива следеће опције:

- Симулација процеса обраде,
- Аутоматско CNC програма,
- Листа коришћених машина, резних и стезних алата,
- Листа помоћног, главног и укупног времена обраде по захватима и операцијама,
- CLDATA (Cutter location data) подаци о положајима алата.

4.4.3. hyperMILL производ фирме OPEN MIND Software Technologies GmbH.

Софтверски пакет за програмирање CNC машина hyperMILL има 5 различитих модула:

- Basic 2D (основни пакет за 2D и 2.5D Basic 2D циклусе резања)
- Basic 3D (основни пакет намијењен за 3D циклусе резања)
- Classic (2.5D и 3D циклуси у једном Classic пакету)
- PRO (за алатну алатну индустрију)
- Expert (укључена је и високо брзинска обрада)

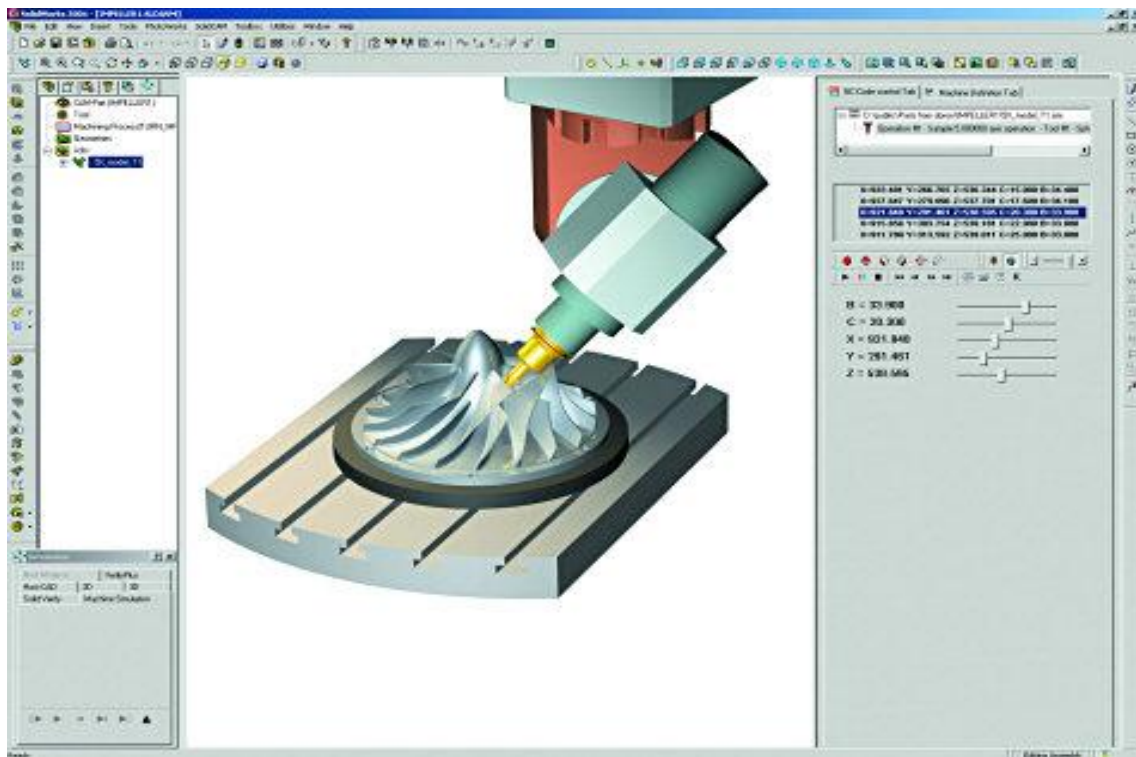


Слика 4.4. Приказ рада у hyperMILL софтверском пакету [7]

hyperMILL ради на Windows платформи (98, 2000, NT, XP) и подржава širok spektar CAD formata (IGES, STEP, VDA, DXF) i korisnike drugih CAD sistema (CATIA, IDEAS, PRO/E, Unigraphics). Svaki od gore navedenih modula omogucuju i simulaciju najзахтевнијих облика посебно важним код израде модела и калупа у алатној индустрији. Постпроцесирање података ка CNC машини такође покрива широк круг алатних машина различитих произвођача. Програм покрива подручја обрада код CNC машина са 2, 2.5, 3, 4, 5 оса као и електроерозијске, ласерске, обраде воденим млазом као и резање плазмом.

4.4.4. SolidCAM производ фирме CADTECH.

Цртање модела са Base Modelarom и каснија интеграција у CAM омогућују брзу и поуздану симулацију захтеване обраде (вишеосно глодање, стругање). Симулација пута алата, избегавање могуће грешке рада алата са обрадним делом, направом или машином омогућава сигуран надзор процеса без нежељених ситуација. Библиотека података о алатима, материјалима је такође део програма.



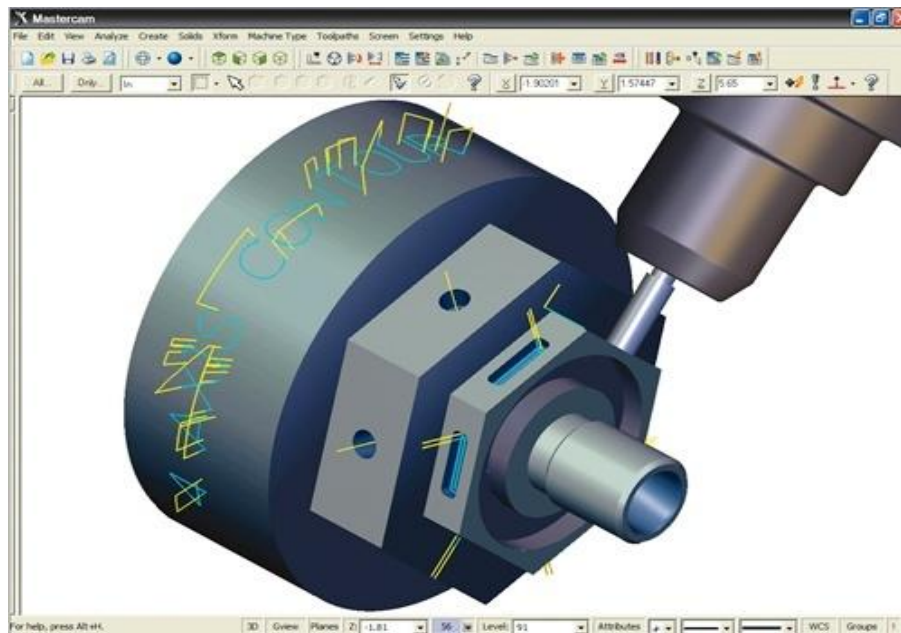
Слика 4.5. Изглед симулације у SolidCAM програмском пакету [8]

У SolidCAM интегрисани су подаци о алатима фирме ISCAR са свим потребним параметрима резања што свакако поједностављује цели процес. Касније постпроцесирање података ка CNC машини такође покрива велики број произвођача управљачких јединица. Битно за овај софтвер је и његова интеграција са SolidWorks

софтвером тако да комплетну симулацију могуће је извести без напуштања CAD програма.

4.4.5. Mastercam производ фирме CNC Software, Inc.

Mastercam је по неким показатељима најпродаванији CAM софтвер на свету (60935 места). Mastercam покрива подручја обрада глодањем (2-5 оса), стругањем и електроерозијом (2 - 4 оса). Као и у другим софтверима овог типа постоји могућност уноса података о моделима из различитих CAD система или коришћење његовог Design софтвера (3D). [3]



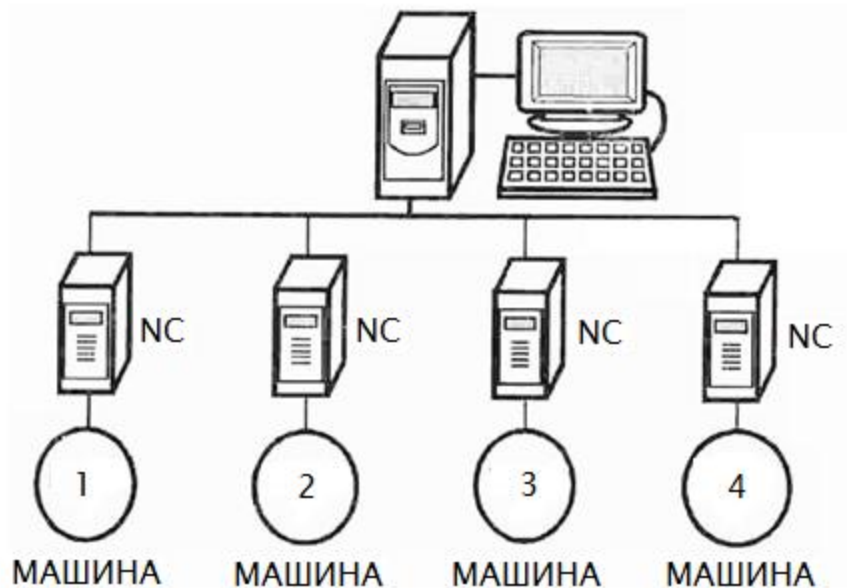
Слика 4.6. Пример израде отвора у Mastercam програмском пакету [9]

Оптимизацијом параметара резања долази до уштеде у времену израде производа, повећању века трајања алата. Високобрзинска обрада и њене функције су такође укључене у програм.

4.5. Директно/дистрибуирано нумеричко управљање (DNC)

Системи директног нумеричког управљања (DNC) су настали на темељу комуникације података у рачунарским мрежама. Две основне врсте DNC су присутне у данашњем окружењу – DNC са директним управљањем и DNC са дистрибутивним управљањем. Концепт директног управљања обухвата управљање групом од неколико NC система употребом главног компјутера, који може бити на истом месту где и NC системи или удаљен од њих.

Меморија главног рачунара при DNC мора бити велика, а процесор задовољавајућих карактеристика, како би се управљање одвијало течно и без проблема.



Слика 4.7. Пример концепта директног управљања [4]

Стандардне функције које су покривене директним начином управљања су: меморисање програма, едитовање и извршење, симулација рада нових програма, прикупљање података неопходних за машинску обраду и њихово процесирање, проток управљачких информација кроз систем итд.

Дистрибутивно нумеричко управљање има концепт врло сличан директном управљању, али се уместо једног, главног компјутера користи више рачунара повезаних у мрежу. Системи дистрибутивног управљања су настали као резултат напора да се оствари производна комуникација на нивоу целог предузећа. Захтеви које DNC системи треба да испуне да би се назвали дистрибутивним су могућност управљања великим бројем програма уз могућност давања извештаја о:

- Броју и називу програма,
- Временима обраде,
- Алатима сваке машине,
- Учесталости позивања програма,
- Заштита приступа едитовању програма,
- Двосмерна комуникација између мреже рачунара и управљаних машина,
- Компатибилност повезивања машина разних произвођача у исти DNC систем,
- Управљање оперативним подацима,
- Постојање база података о алатима и материјалима.

Устаљени типови конфигурација које се срећу код DNC система су прекидачка мрежа, локална мрежа и мрежа у оквиру предузећа. DNC прекидачка мрежа је најједноставнија

конфигурација која има две подваријанте – прекидачку мрежу са техником бирања и прекидачка мрежа са вишеканалном техником.

Прва варијанта користи разводне кутије којима се један компјутер везује са неколико машина и једним штампачем, серијском везом RS 232 C. Друга варијанта подразумева употребу посебног уређаја – мултиплексера који омогућава вишеканални рад. Уређај везом RS 232 C повезује компјутер са неколико машина и одговарајућим пратећим уређајима – штампачима, скенерима, плотерима итд.

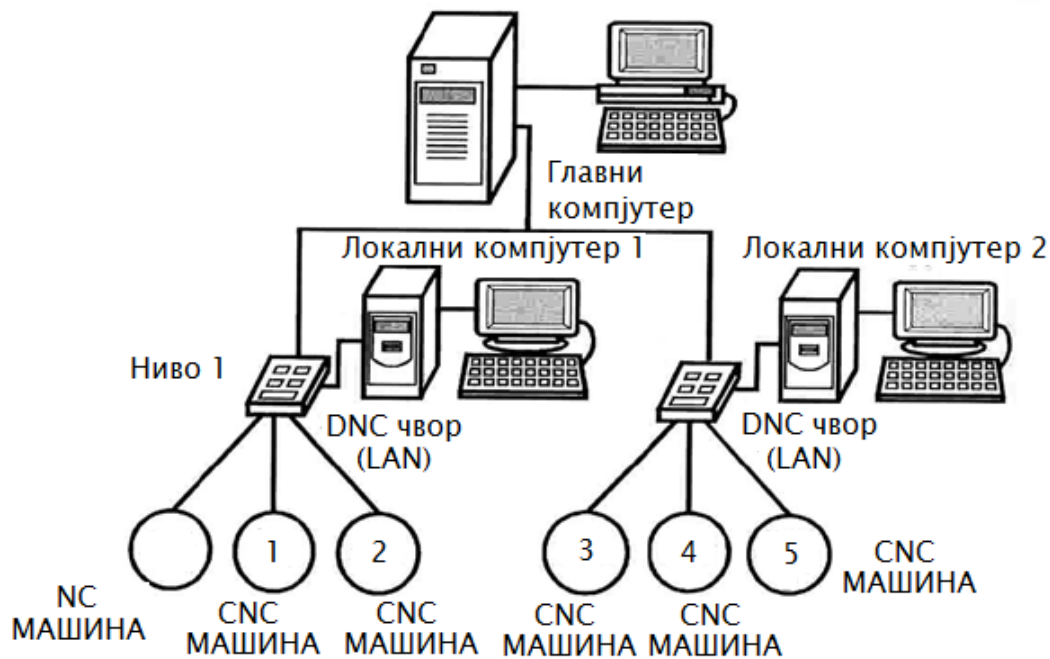
DNC локална мрежа се састоји од неколико мало удаљених рачунара спојених у локалну мрежу путем које су повезани са управљаним машинама и периферним уређајима. Према начину повезивања рачунара у мрежу LAN могу бити звездасте, прстенасте и магистралне.

Звездасте LAN имају централни компјутер на који су спојени сви остали компјутери у мрежи и преко њега комуницирају. Прстенасте LAN се састоје од рачунара везаних по локацији и редоследу у заједнички прстен. Комуникација се одвија кружним током, обилазећи чворове на којима су везани рачунари. Прстенасте LAN су веома лоше конципиране и користе се у крајњим случајевима. Магистралне LAN користе кабл велике проточне моћи – магистралу података – на који су везани сви рачунари.

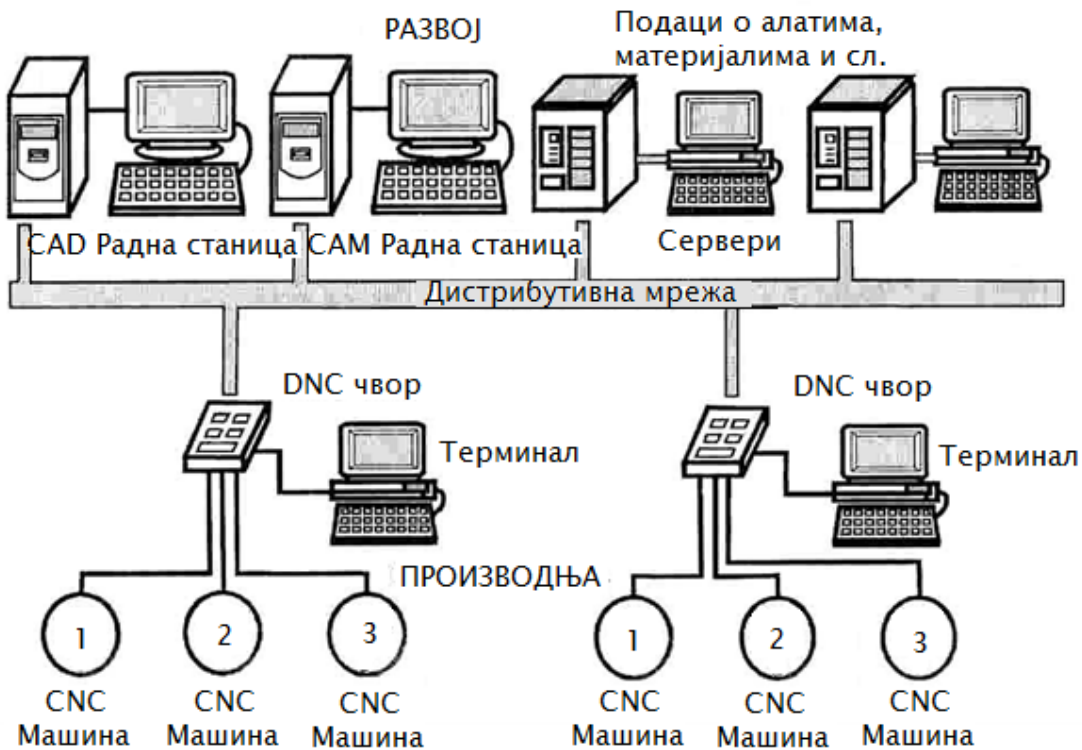
Централни рачунар постоји, али није од пресудне важности за комуникацију унутар мреже, рачунари могу да комуницирају и када је централни рачунар искључен, што код звездасте конфигурације нпр. није могуће. Магистралне конфигурације LAN имају најбољу структуру и највећу комуникациону моћ.

Постоје две основне структуре LAN за директно управљање – централизована и дистрибутивна структура. Централизована структура LAN, слика 4.8., обухвата рачунаре за управљање распоређене по хијерархијским нивоима управљања – локални компјутери управљају DNC системом од неколико машина, а изнад њих је произвољан број нивоа компјутера са све већим доменом управљања, а на самом врху је централни или главни рачунар који управља целом структуром (вертикална комуникација).

Дистрибутивна структура, слика 4.9., представља супротну идеју комуникације – бочну или хоризонталну комуникацију. Већи број компјутера је магистралом података повезан на истом хијерархијском нивоу, уз повећану међусобну комуникацију и употребу сервер рачунара за базе података о алатима и материјалима, као и CAD/CAM станица. Комбиновањем централизоване и дистрибутивне структуре може се добити веома добра структура LAN намењених DNC системима.



Слика 4.8. Пример централизоване структуре LAN система [4]



Слика 4.9. Пример дистрибутивне структуре LAN система [4]

4.5.1. CIMCO софтвер

CIMCO представља користан програм који подржава мрежно окружење и LAN комуникацију са CNC машинама као и рад у интернет окружењу. Омогућава симултану DNC везу са више машина одједном као и аутоматски рад са једног места за опслуживање. [9]

У оквиру комплетног пакета (може се узети и посебно), садржи и програм “EDIT” помоћу којег се може едитовати, графички симулирати, мењати, преносити било који програм независно од врсте управљања и постпроцесора.

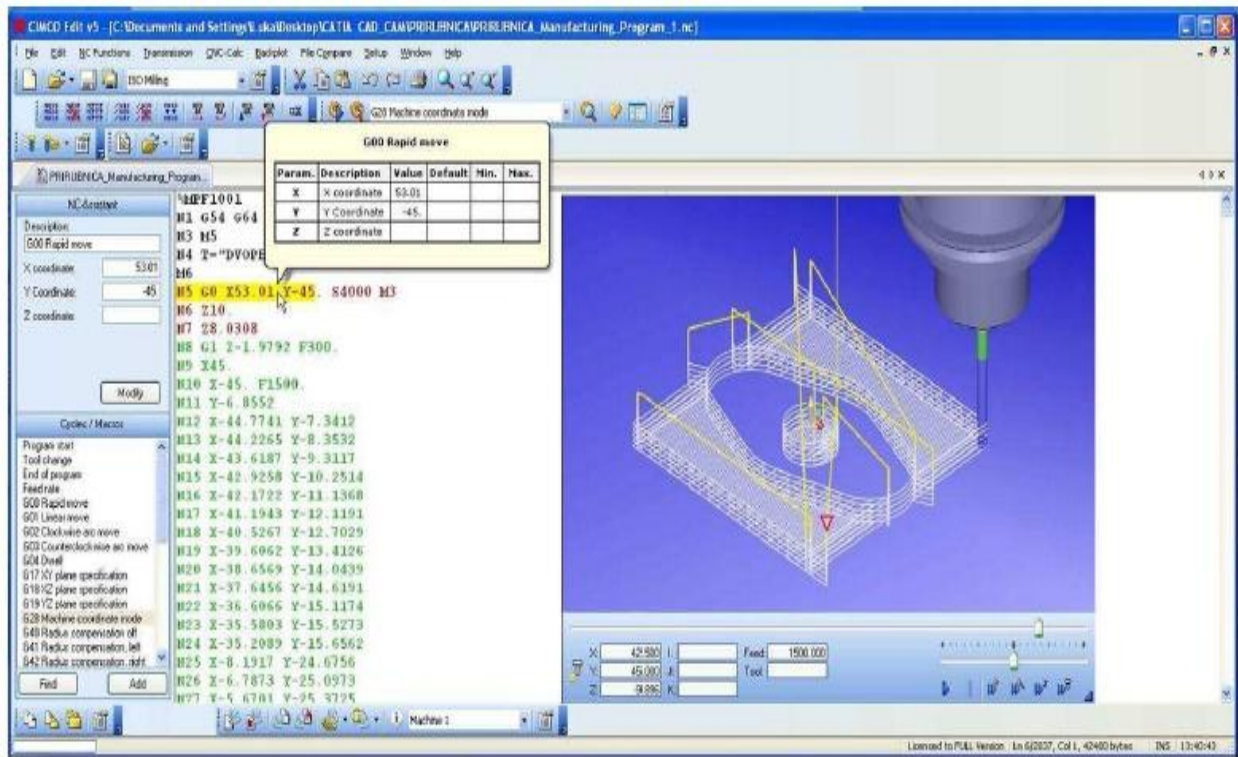
Такође, у њему се може вршити 2D или 3D графичка симулација генерисаног програма за било који тип обраде резањем. Поседује калкулатор за прорачун комплексне геометрије помоћу којег се врло лако и брзо добијају вредности потребне за генерисање G-кода.

CIMCO програмски пакети:

- DNC Max - комуникација PC-CNC
- DNC Edit - рад са генерисаним програмима
- NC Base - база NC програма, алата, цртежа, слика
- MDC Max – менаџмент и управљање производњом
- FILTER - редуковање времена обраде, трошења алата и побољшање финалне обраде
- CNC-Calc - прорачун комплексне геометрије на основу које аутоматски добијамо NC програм. [9]

CIMCO Edit V5 је, на пример, најновија верзија једног од најпопуларнијих CNC програма кроз последњих неколико година. CIMCO Edit V5 нема ограничење у смислу величине програма и укључује специфичне опције за CNC код, као што су линијско нумерисање, проналажење распона и математичке функције.

Означавањем било ког M и G кода „NC asisstant“ ће идентификовати тај код омогућавајући промену наредбе, вредности, користећи интерактивно повезивање са CNC кодом. Изглед CIMCO Edit V5 програма приказан је на слици 4.10. Након извршеног едитирања CNC програма, промене се аутоматски преносе на графички приказ, односно анимацију машинске обраде. [9]



Слика 4.10. Приказ рада у CIMCO Edit V5 програму [10]

Програмски код је могуће анализирати праћењем симулације праћењем машинске обраде односно провером путања алата, динамичким увећањима, праћењем позиција, ротацијом и функцијама за мерење. Графички приказ може бити мрежни или крути.

5. Примена програмирања CNC машина

Аутоматизација рада машина подразумева да се поједине функције (или све) одређене машине или уређаји обављају на аутоматизовани начин, без директног учешћа послуживоца у њиховом извршавању. Овде се елиминише не само физичко учешће човека као радног органа већ и као оператора, са свим његовим умним дејством.

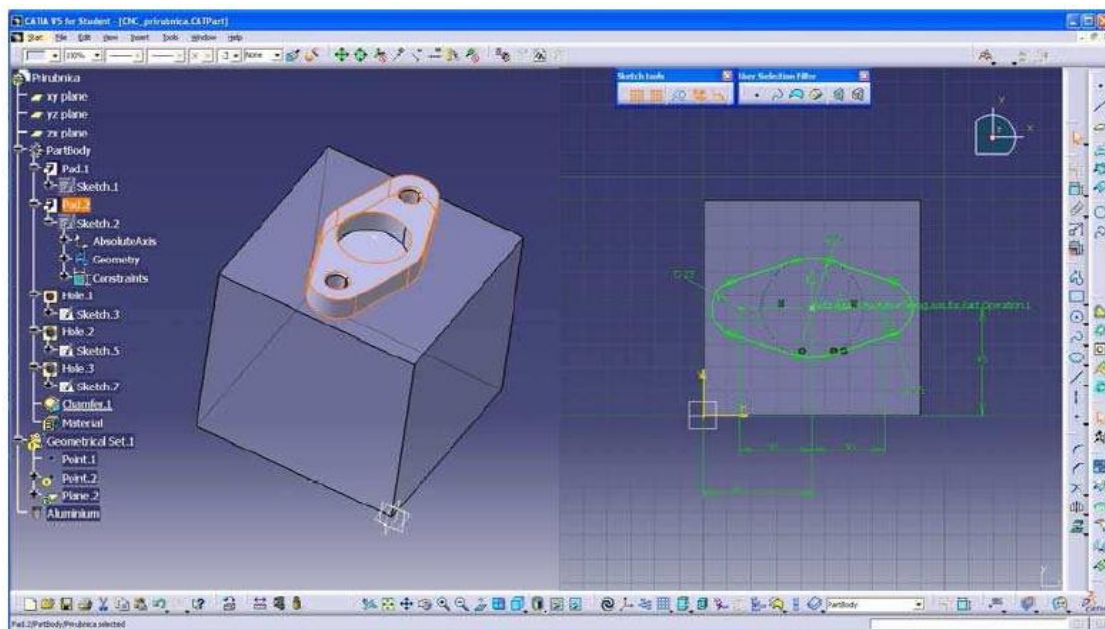
Функцију управљања начином и редоследом извршавања одређених радњи машине преузимају одговарајући уређаји који омогућују аутоматски рад у одређеном временском периоду. Ти уређаји се претходно подешавају, тако да остварују жељену функцију обраде.

5.1. Програмирање CNC машина помоћу софтверских пакета

У примеру, који ће бити приказан у овом поглављу, биће приказано програмирање машинског дела и то помоћу програма CATIA V5 и помоћу програмског пакета CIMCO Edit V5.

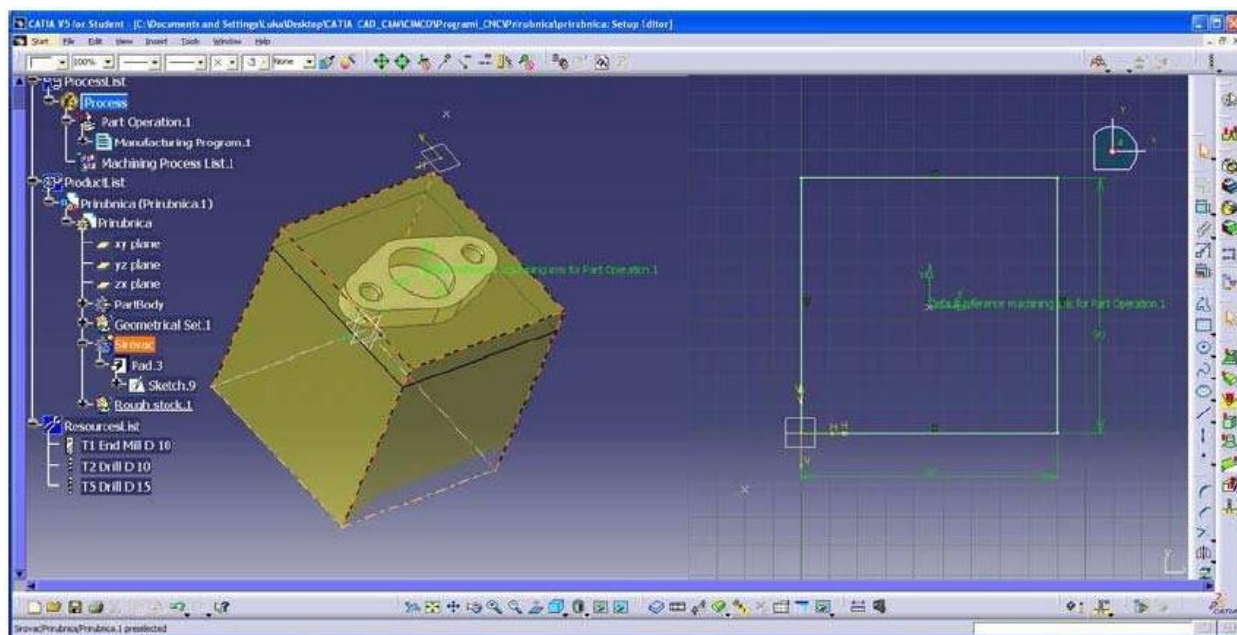
5.1.1. Пројектовање у програму CATIA V5

У сврху пројектовања производа направљен је CAD модел помоћу програма CATIA V5, и по треко модула *Mechanical Design* и његовог алата *Part Design*. Модел је пројектован у окружењу за креирање 2D геометрије (скица) *Sketcher*. Након креирања скице 2D, коришћењем команде *Extrude*, добија се 3D модел. [9]



Слика 5.8. Израда модела [10]

Прво је потребно направити модел који ће бити израђен, на пример од алуминијума, и димензија 90x90x97mm, слика 5.8. Након што су сви параметри модела дефинисани и то у односу на задату референтну тачку, исту према којој ће израду извршити обрадни центар, потребно је дефинисати симулациони модел из ког ће бити израђен производ, слика 5.9.



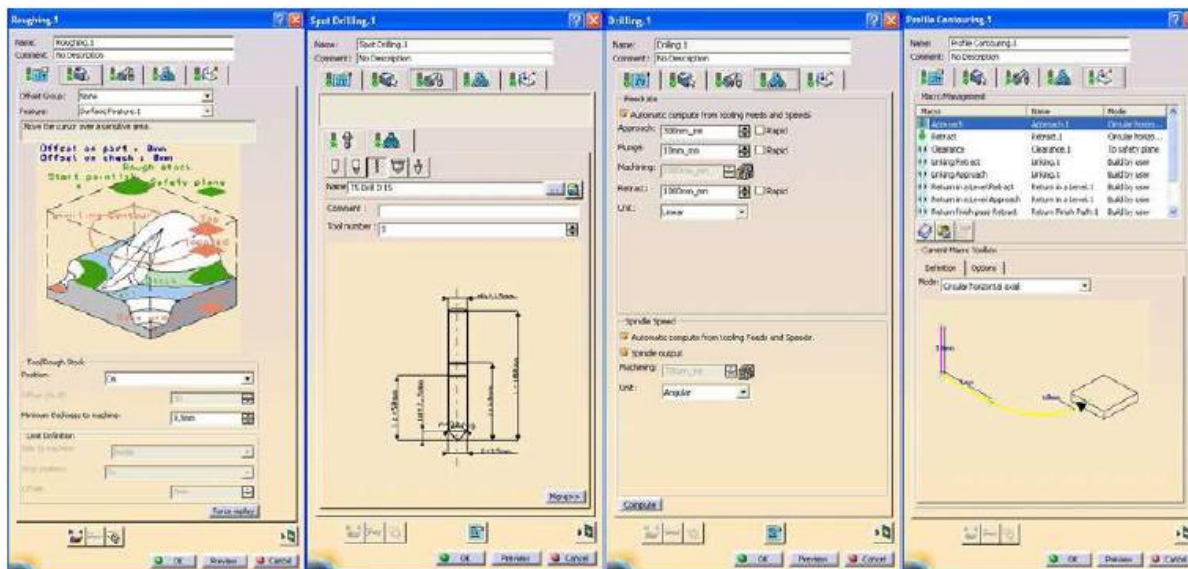
Слика 5.9. Израда и дефинисање симулационог модела [10]

Избор технолошких операција се врши након израде CAD модела а обухвата одређивање технологија за израду производа облика задатог у моделу. То се обавља преласком из модула *Mechanical Design* у модул *NC Manufacturing*. За израду машинског дела потребно је обавити различите технолошке операције, приказане на слици 5.10., и ту спадају:

- Грубо глодање (*Roughing*) глодалом са два пера пречника 10 mm
- Бушење (*Drilling*) бургијом пречника 8.5 mm
- Профилно, контурно глодање (*Profile Contouring*) глодалом са два пера пречника 10 mm
- Упуштање (*Spot Drilling*) упуштачем пречника 22 mm, нагиба 60°.

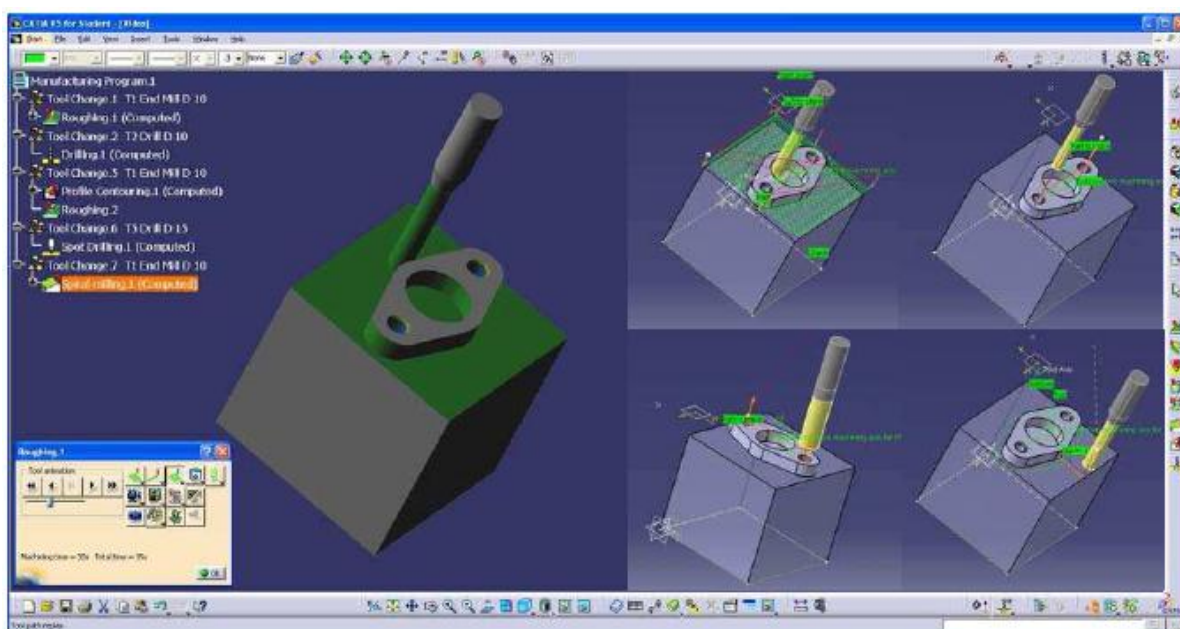
Програм аутоматски генерише процесне листе са операцијом на делу који се обрађује и првим производним програмом, као и избором алата према тој операцији, формира листу потребних ресурса. Као прво потребно је дефинисати формулар за поставке обраде дела који се израђује (*Part Operation*), у којем се одабере машина, поставља излаз за NC код, одабере нулта тачка, део који се обрађује, симулациони модел и сигурносна равна. Приликом дефинисања сваке од четири наведене технолошке операције потребно је

дефинисати геометрију обраде (дно, врх, контролна површина), дефинисати алат, изабрати технолошке параметре, обрадити начин и смер обраде као и аксијалну и радијалну дубину. Посебно је важно пазити на прилажење и одлазак алата приликом обраде, како не би дошло до лома алата.



Слика 5.10. Дефинисање операција појединачне обраде: а) геометрија обраде, б) дефинисање алата, в) технолошки параметри, г) прилаз/одлазак алата [10]

Након свега генерише се путања алата за поједине операције што се може проверити у видео симулацији, слика 5.11.



Слика 5.11. Избор и дефинисање технолошких операција [10]

Након конструисања модела и одређивање операција обраде потребно је исти запамтити (Save), након чега следи генерисање NC кода кликом на команду  *Generate NC Code in Batch Mode*, чији прозор изгледа као са слици 5.12.

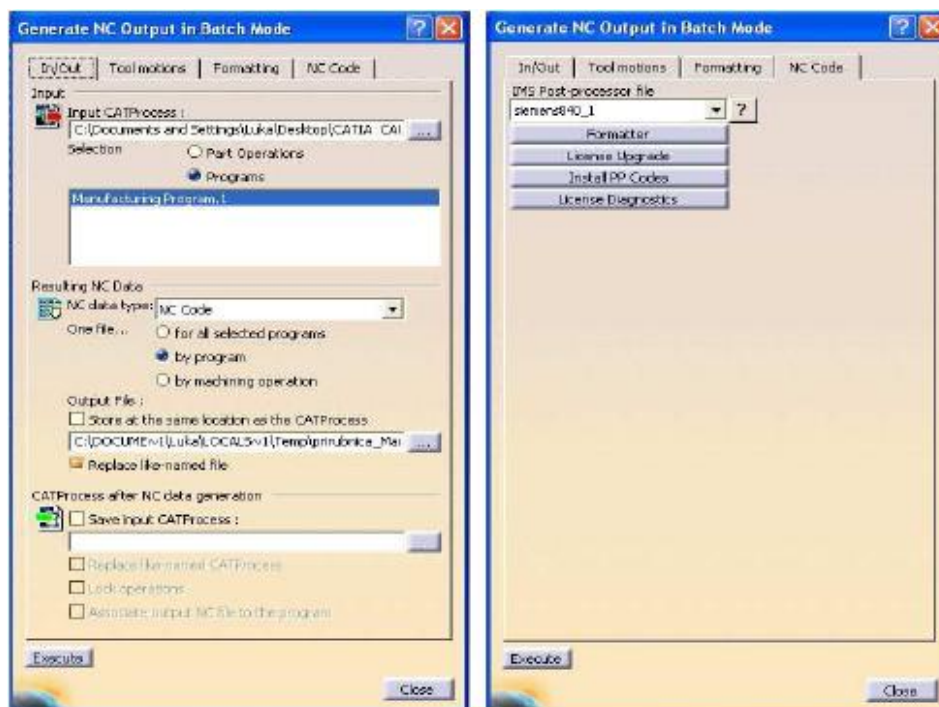
И картици *In/Out* потребно је под *Resulting NC Data* изабрати *NC Data Type NC Code* и то *One File*:

- *by program* - у случају да се шаљу комплетни програми већег обима које ће машина читати директно са рачунара без смештања у сопствену меморију.
- *by machining operation* - у случају да се шаље програм подељен на поједине операције, програми се смештају у меморију машине.

Под захтевом *Output file* бира је фолдер где ће бити смештени генерисани кодови уз обавезно уписивање, „nc“.

Картица *NC Code* захтева избор *IMS Post-processor File-a* где се врши одабир *Siemens840* који одговара *SINUMERIK* програму инсталираном на самој CNC машини. Даље је потребно прилагодити датотеке које бирамо притиском на команду *Formatter*.

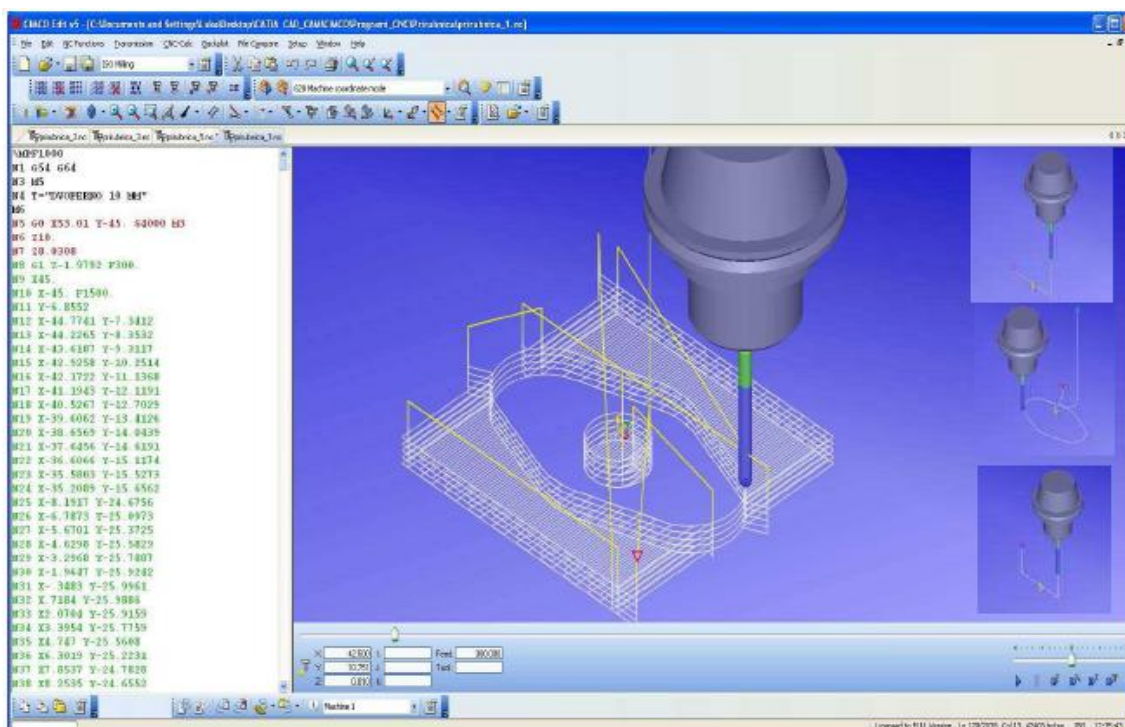
Пре потврде свих поставки потребно је у прозору *Options File Format* ажурирати код притиском на команду *Update Example Code*, те потом кликом на команду ОК потврдити све изабране команде. *IMS Post-processor File* је спреман под истим именом уз додатак редног броја 1, односно *Siemens840_1*.



Слика 5.12. Поставке генерисања NC кода [10]

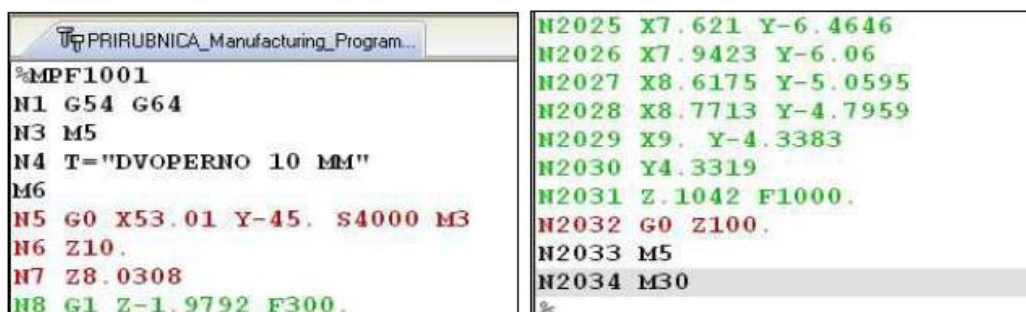
Након што се у прозору *Generate NC Code in Batch Mode* све поставке намештене и одабран *Post-Processor*, следи генерисање кода притиском на *Execute*. За време генерисања потребно је по отварању *IMSpport-Runtime Message* прозора унети број сваког појединачног програма, зависно од броја операција. Након генерисања спреmljene су кодиране датотеке са екстензијом “.nc” у одабраном фолдеру.

Програм SIMCO Edit V5 проверава процес обраде и то линију по линију генерисаног кода, као што је на слици 5.13. Осим провере путање алата и могуће промене параметара обраде потребно је обратити пажњу и на тачна имена позиваних алата како би се у потпуности слагала са онима спреmljenim у листи алата на обрадном центру.



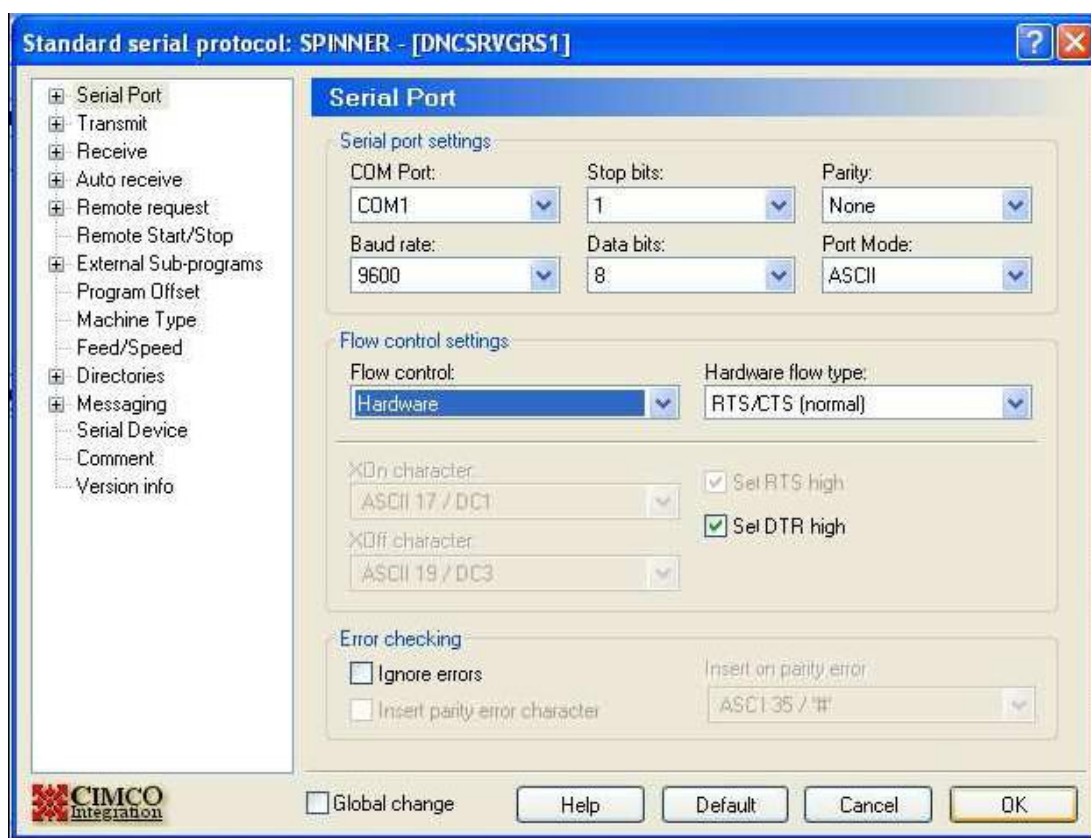
Слика 5.13. Уређивање и контрола NC кода [10]

Почетак и крај генерисаног кода треба да изгледа као на слици 5.14.



Слика 5.14. Пример NC кода [10]

Након што је детаљно прегледан сваки код поједине операције исте је потребно спремити пре слања на обрадни центар, за шта се користи програм *DNC-Max Server V5*, који је претходно прилагођен за комуникацију рачунар-машина. Приликом отварања програма, потребно је у првом прозору стартовати програм кликом на функцију *Client*. Пре прилагођења серијског прикључка пожељно је да се у *Default Group* изаберу поједине CNC машине тако да се именују (*Rename Port*) како би се при каснијем конфигурисању самих прикључака когли лакше препознавати. Ако се остварује веза рачунара са једном машином вишак *Port*-ова је пожељно уклонити (*Delete Port*). Најважнији део је конфигурација серијског прикључка (*Port-a*).



Слика 5.15. Поставка комуникације рачунар-машина [10]

Прегледом приручника са упутствима у руковању са овим машинама утврђују се параметри везани за *COM* прикључак (*COM Port*), сличност (*Parity*), брзину преноса податка (*Baud Rate*), и остали. Мод прикључка (*Port Mode*) обавезно мора да буде *ASCII*. За управљање података (*Flow Control*) бира се *Hardware*. Поставке морају бити одређене као на слици 5.15.

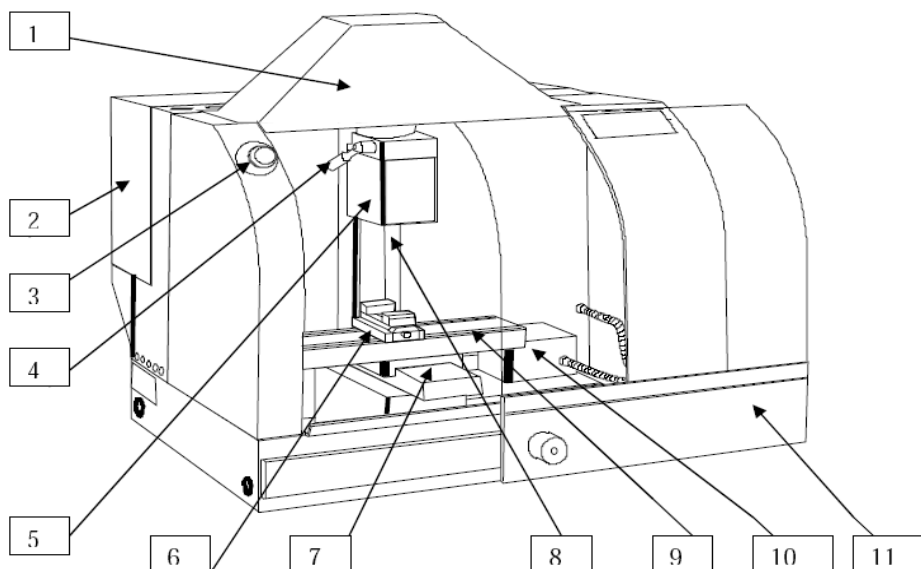


Слика 5.16. CAD/CAM повезивање [1]

Трећа фаза, односно CAD-CAM повезивање, слика 5.16., представља битну ставку јер је коришћењем CAD-CAM састава драстично смањено време трајања од идеје до производа [4].

5.2. Програмирање у G коду на CNC глодалице

Програмирање ће бити приказано на CNC глодалици EMCO PC MILL 55. То је најмања глодалица која није предвиђена за производњу, већ искључиво служи за вежбање. Зато се и овде, као и код CNC глодалице, не ради са челичним материјалима, већ је материјал дела алуминијум, чиме се чувају алати од трошења.



Слика 5.1. CNC глодалица EMCO PC MILL 55: 1-заштитни поклопац ЕМ; 2-електрични део машине; 3-главна сигурносна склопка; 4-ручица за учвршћивање алата; 5-вртено машине за прихват алата; 6-стега за учвршћивање обрадног дела; 7- клизач по оси Z; 8- клизач по оси Y; 9-радни сто (оса X); 10-корачни једносмерни мотор по X оси; 11- заштитна врата против струготине [2]

Радни простор		
Уздужно померање(X-оса)	mm	190
Попречно померање(Y-оса)	mm	125
Вертикално померање (Z-оса)	mm	190
Ефективно померање по висини (Z-оса)	mm	120
Удаљеност чела вретена по висини (вертикално глодање)	mm	30-220
Удаљеност чела вретена (хоризонтално глодање)	mm	82-272
Радни сто глодалице		
Површина радног стола (LxD)	mm	420x125
Максимално оптерећење радног стола	kg	10
Ширина	mm	11
Размак	mm	90
Главно вретено		
Пречник лежаја вретена	mm	Ø35
Врста лежаја		куглични ваљни
Учршћење алата		ручно
Распон чељусти	mm	60
Погон главног вретена		
А. С. мотор (асинхрони)		
Снага мотора	W	500/700
Номинална брзина мотора	o/min	1400
Распон брзине	o/min	100-3500
Максимални обртни момент	Nm	8
Максимални пречник бушења у Al	mm	Ø10
Максимални пречник навоја у Al	mm	M6x15
Мотор који се користи за посмак		
Корачна резолуција	µm	0,5
Радни посмак у X/Y/Z-оси	mm/min	0-2000
Брзи ход	mm/min	2000
Максимална посмична сила у X/Y/Z-оси	N	800/800/1000
Димензија машине, тежина		
Укупна дужина / Укупна ширина / Укупна висина	mm	840/865/816
Укупна тежина машине	kg	160
Бука машине	dB	70

Табела 5.1. Технички подаци машине EMCO PC MILL 55 [2]

Попис главних функција - G функције

Назив функције	Опис функције - значење функције
G0	Брзи ход
G1	Радни ход
G2	Кружно кретање у смеру казаљке на сату
G3	Кружно кретање супротно од кретања казаљке на сату
G4	Време застоја
G9	Заустављање вретена - не модално
G17	Избор радне површине - XY
G18	Избор радне површине - XZ
G19	Избор радне површине - YZ
G25	Минимално програмирани радни простор-број обртаја радног вретена
G26	Максимално програмирани радни простор-број обртаја радног вретена
G33	Нарезивање навоја са константним кораком
G331	Урезивање навоја
G332	Урезивање навоја - повратно кретање
G40	Искључење компензације радијуса алата
G41	Лева компензација радијуса алата
G42	Десна компензација радијуса алата
G53	Искључење помака нулте тачке
G54-G57	Постављање - помак нулте тачке
G60	Заустављање вретена - модално
G63	Урезивање навоја без синхронизације
G64	Мод израде контуре
G70	Мерни систем у инчима
G71	Мерни систем у милиметрима
G90	Апсолутни мерни систем
G91	Инкрементални мерни систем
G94	Посмак у mm/min (inch/min)
G95	Посмак у mm/o (inch/o)
G96	Константна брзина резања укључена
G97	Константна брзина резања искључена
G110	Поларна координата - пол постављен у задњој тачки у коју је стигао алат
G111	Поларна координата - пол постављен у тачки нуле радног предмета (W)
G112	Поларна координата - пол постављен релативно у односу на задњи пол
G147	Прилаз алата према предмету праволинијски
G148	Одмицање алата од предмета праволинијски
G247	Прилаз алата према предмету са радијусом од четвртине круга
G248	Одмицање алата од предмета са радијусом од четвртине круга
G347	Прилаз алата предмету са радијусом од пола круга
G348	Одмицање алата од предмета са радијусом од пола круга
G450/G451	Прилажење / одмицање алата око контурне тачке

Помоћне функције - М функције

Назив функције	Опис функције - значење функције
M0	Програмирана заустављање/стоп
M1	Оптимално заустављање
M2	Крај програма
M3	Ротација вретена у десно
M4	Ротација вретена у лево
M5	Заустављање вретена
M6	Промена алата
M8	Укључење расхладног средства
M9	Искључење расхладног средства
M10	Укључење деобне главе
M11	Искључење деобне главе
M17	Крај подпрограма
M25	Отварање чељусту стеге
M26	Затварање чељусту стеге
M27	Закретање деобне главе
M30	Крај програма
M70	Позиционирање главног вретена
M71	Аутоматско затварање врата
M72	Аутоматско отварање врата

Циклуси

Циклус	Значење циклуса
Cycle 71	Face milling - чеоно глодање
Cycle 72	Contourt milling - контурно глодање
Cycle 81	Drilling, Centeringf - обично бушење
Cycle 82	Drilling, Centerboring - бушење са застојем
Cycle 83	Deep hole drilling - дубоко бушење
Cycle 84	Rigid tapping - урезивање навоја
Cycle 840	Урезивање са компензацијом стезне главе
Cycle 85	Borring 1 - бушење бушачком мотком
Cycle 86	Borring 2 -
Cycle 87	Borring 3 -
Cycle 88	Borring 4 -
Cycle 89	Borring 5 -
Cycle 90	Thread cutting - нарезивање навоја
HOLES 1	Row of hole with MCALL - бушење у раду са MCALL
HOLES 2	Circle of hole with MCALL - бушење отвора по кружности
LONGHOLE	Longholes on a circle - дубоки отвори на кружности
POCKET 1	Rectangular pocket - праволинијски џеп
POCKET 2	Circular pocket - кружни џеп
POCKET 3	Rectangular pocket - жљеб на кружности

POCKET 4	Circular pocket - кружни џеп
SLOT 1	Slots on a circle - жљеб на кружници
SLOT 2	Circular slots - жљеб на ивици кружнице

Линеарно кретање G0 и G01

- G0 или G00 - линеарно (праволинијско) кретање у празном ходу.

Користи се када се налазимо са алатом изван радног предмета у позитивној оси Z и изнад такозване сигурносне равни. Тиме се спречава судар алата и дела израде. Може бити задато у праволинијском координатном систему као:

G0 X... - кретање по правцу,

G0 X... Y... - кретање у равни,

G0 X... Y... Z... - кретање у простору.

Или у поларном систему:

G0 AP... RP...

AP - Angular polar - поларни угао, RP - Radius Polar - поларни радијус.

- G1 или G01 - линеарно (праволинијско) кретање у радном ходу

Користи се када вршимо обраду, тј. улазимо алатом у материјал. Алат се креће линеарно (праволинијско) са радним посмаком који је десетак пута мањи од посмака у брзом ходу. Може бити задато у праволинијском координатном систему као:

G1 X... - кретање по правцу,

G1 X... Y... - кретање у равни,

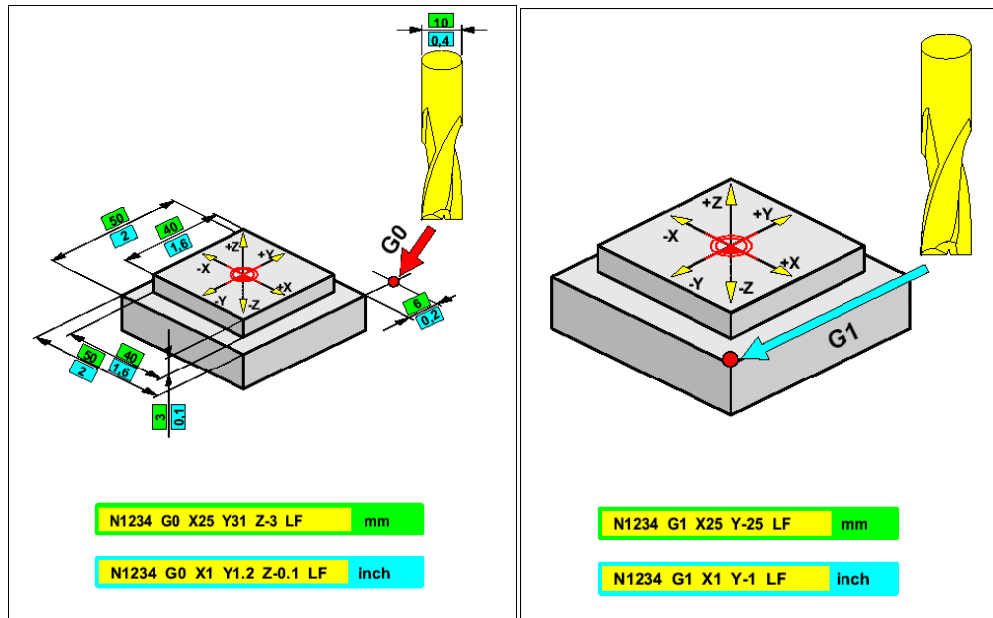
G1 X... Y... Z... - кретање у простору.

Или у поларном систему као:

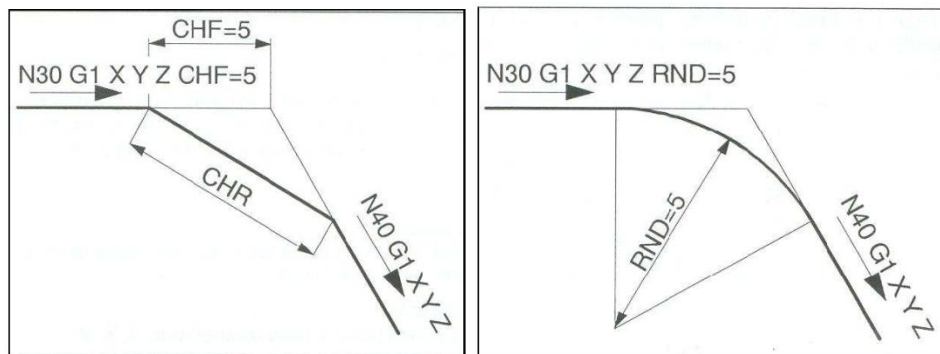
G1 AP... RP...,

AP - Angle Polar - поларни угао, RP - Radius Polar - поларни радијус.

Код наредбе G1 у истом блоку може се ако је потребно уписати и F – посмак.



Слика 5.2. Приказ линеарног кретања у брзом и радном ходу [2]



Слика 5.3. Приказ закошења и заобљења [2]

Код наредбе за праволинијско кретање G0 или G1 могуће је убацити закошење или заобљење.

Наредбе:

G1 X... Y... CHF...

G1 X... Y... CHR...

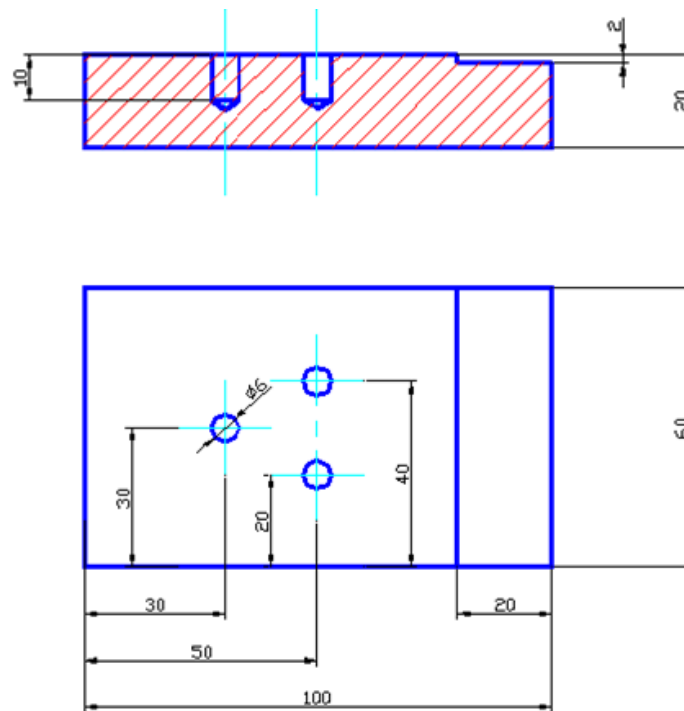
G1 X... Y... RND...

Закошење ће бити уметнуто након блока у којем је написано. Увек се налази у G17 равни. Налазиће се симетрично у контури угла.

Заобљење ће се бити уметнуто након блока у којем је написано. Увек се налази у G17 равни. Налазиће се у контури угла са тангенцијалним спојем. Заобљење ће се понављати код свих следећих контура, док се не поништи наредбом RNDM=0.

На примеру биће приказан план праволинијског резања за чеоно глодање плоче димензије 100x60x20mm и бушење 3 отвора према техничком цртежу, написан програм израде и симулирани програм. Предвиђени су правилни режими рада за Al у зависности од дебљине резања и пречник алата.

У овом примеру ће се детаљније објаснити сам поступак израде техничке документације и писања програма.

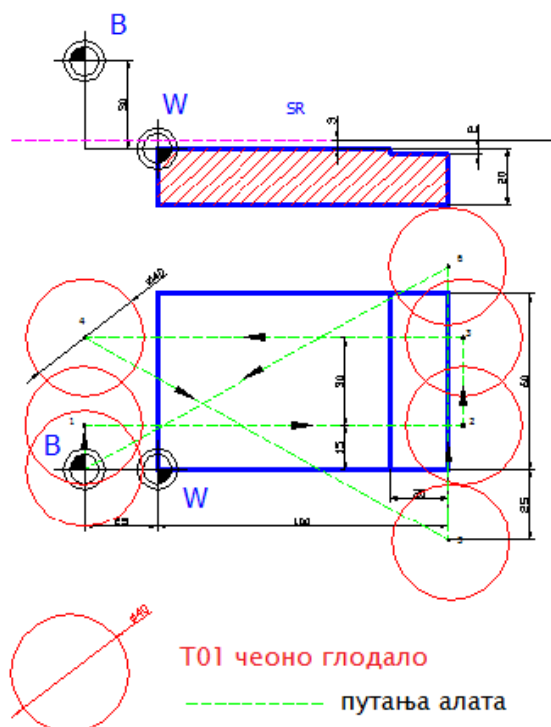


Слика 5.4. Технички цртеж обрадног дела [2]

Из анализе техничког цртежа закључујено је да ће бити потребно 2 алата. Првим алатом T01 - чеоним глодалом $\varnothing 40$, поравнат ћемо чело и израдити жљеб 20x2x60, а другим алатом T02 - спиралним бургијом $\varnothing 6$ избушиће се 3 отвора. Први корак је израда техничке документације од које је најважнија операцијски лист и план резања. У операцијском листу, описују се операције, тј. редослед захвата на делу од почетка до краја обраде. Такође се бирају потребни алати за обраду поједине операције као и режими рада. План резања представља графички приказ путање алата при обради поједине операције. Све карактеристичне тачке промене путање алата морају се искотирати.

Редни број	Опис захвата - операције	Алат	Посмак mm/min F	Број обртајао/min S
10.	Стезање дела у машинску стегу	Стега		
20.	Чеono глодање	Чеono глодало T01	70	350
30.	Глодање жљеба 20x2x60	T01	30	350
40.	Бушење 3xØ6	Спирална бургија Ø6 T02	400	2400

Табела 5.2. Режими рада узети за алуминијум [2]



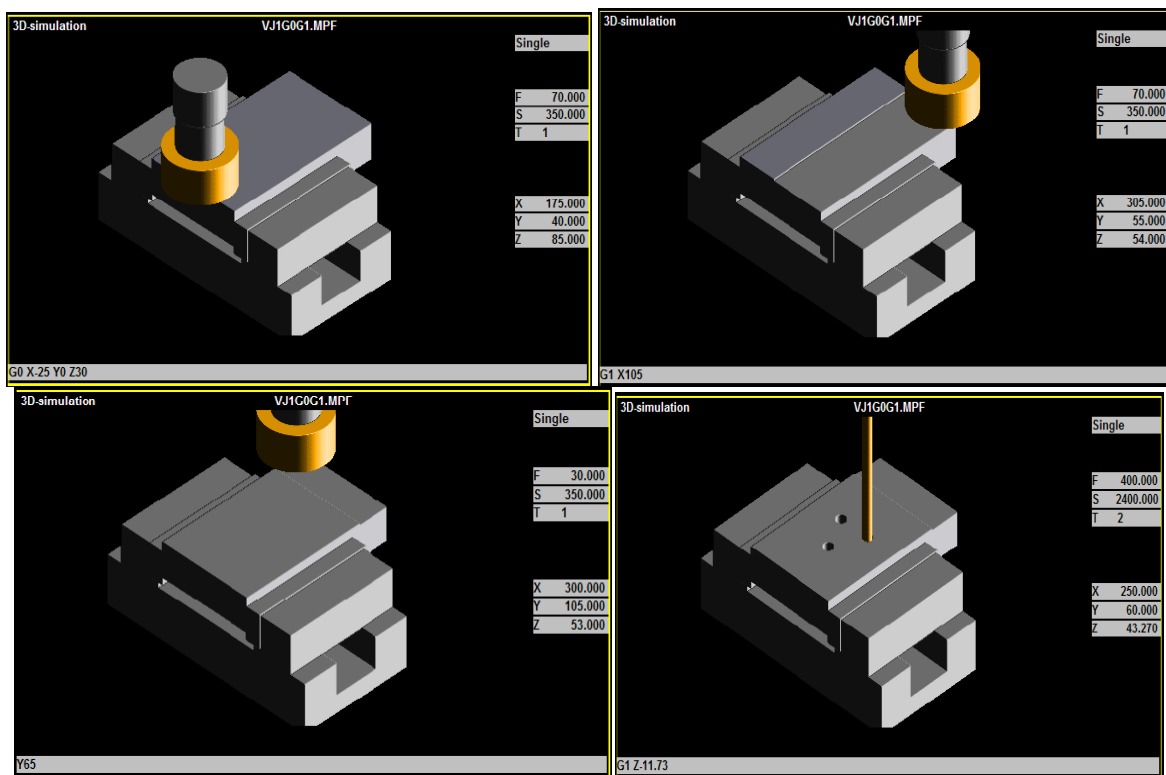
Слика 5.5. План резања поравнавање чела и израда жљеба [2]

Након што је израђен операцијски лист приступа се разради плана резања. Нека план резања изгледа као на слици 5.5. У плану се осим путање промене алата у карактеристичним тачкама уцртавају и нулта тачка дела W (полажај тачке W одређује се на основу заданих кота и изгледа дела) као и тачка промене алата B. Нулта тачка промене алата може се и занемарити али је пожељно да се и она дефинише. У плану се такође одређује сигурносна равна SR која одређује врсту кретања (G0 или G01). За једноставне операције где су видљиве промене алата (нпр. бушење) није потребно цртати план резања јер се то види на техничком цртежу.

Program editor:
10 G54
N20 TRANS X0 Y-60 Z5
N30 G0 X-25 Y0 Z30
N40 M06 T1 D1 M3
N50 S350 F70
N60 G0 Y15
N70 Z-1
N80 G1 X105
N90 Y45
N100 X-25
N110 Z3
N120 G0 X100 Y-25
N130 G1 Z-2 F30
N140 Y65
N150 Z3
N160 G0 X-25 Y0 Z30

N170 M05
N180 M06 T2 D1 M3
N190 S2400 F400
N200 G0 X30 Y30
N210 Z3
N220 G1 Z-11.73
N230 G0 Z3
N240 X50 Y40
N250 G1 Z-11.73
N260 G0 Z3
N270 X50 Y20
N280 G1 Z-11.73
N290 G0 Z3
N300 X-25 Y0 Z30
N310 M30

Слика 5.6. Испис програма у симулацији [2]



Слика 5.7. Приказ симулационих операција обрада дела [2]

6. Закључак

На основу овог дипломског рада, изучавања и детаљног приказа коришћења CNC машина, њиховог програмирања и рада може се закључити да су управо ове машине темељ сваке квалитетне и прецизне производње, па тако и индустрије прераде и свих врста обрада. Да је то тако показује пример да свако савремено друштво у програмирању CNC машина види једну од главних основа садашњег и будућег технолошког и економског развоја, због чега је велики интерес сваке земље да модернизује постојеће технологије и да отвори развојне процесе за примену нових и високих технологија, управо применом програмирања CNC машина.

Значај програмирања CNC машина и технологије најбоље се може схватити из дуго година познатог мишљења да су квалитет, прецизност, тачност, штедња енергија и сировине кључни фактори у развоју једне производње, која користи CNC машине и њима поуздано управља. Такође је доказано је да напредак и развој овакве врсте технологија значајан у свим гранама које се могу ослонити на ову врсту машина. Самим тим поред наведених многих фактора, данас најзначајнији фактор је и стално усавршавање знања и технологија које су уско везане са програмирањем CNC машина.

Може се, такође, закључити да је рад са CNC машинама комплексан посао који захтева одређено знање и праксу. Познавање кодова програмског језика је обавезно иако софтверски алати покушавају да поједноставе све ставке везане за њих. Да би се креирао добар дизајн и да би се добио производ онакав какав је и замишљен да буде, потребно је знати и разумети основе нацртне геометрије.

На самом крају треба напоменути да се поред традиционалних технологија, које се користе у обради делова, све више примењују и савремене технологије којим ће у будућности бити обрађивани елементи и делови у тродимензионалној форми.

7. Литература

- [1] Панић С., Нумерички управљање машине, Високо пословна техничка школа, Ужице, 2009.
- [2] Блажевић З. Програмирање CNC стругова и глодалица, Вировитица, 2004
- [3] Стефановић М., СИМ системи, Машински факултет у Крагујевцу, Новембар 2006.
- [4] Малић М., Програмско управљање нумеричким машинама алаткама, Висока техничка школа, Зрењанин, 2007.
- [5] VERICUT 7.0 tutorial, Vericut software, 2010.
- [6] EXAPT tutorial, CAD/CAM for the continuous engineering chain, Exapt Systemtechnik GMBH, 2009.
- [7] HyperMILL tutorial, Seamlessly integrated for continuous processing, 2012.
- [8] SolidCAM tutorial, HSM-HSR Modules User Guide, 2011.
- [9] Mastercam X4 tutorial, Basic 2D machining, 2009.
- [10] CIMCO Edit V5 User Guide tutorial, Cimco Integration, 2005.