

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Савремени обрадни системи

Број индекса: 338/2015

Снежана Љ. Поповић

Специфичности обраде на троосним и петоосним CNC машинама

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић - ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА У КРАГУЈЕВЦУ

Катедра за: ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО

Предмет: Савремени обрадни системи

МАСТЕР РАД

са темом:

Специфичности обраде на троосним и петоосним CNC машинама

Кандидат: Снежана Поповић, број индекса 338/2015

У оквиру мастер рада кандидат је потребно да изврши спецификација и поређење на троосним и петоосним CNC машинама. Троосна и петоосна машина на којима је извршено поређење односно њихова разлика су машине из фирме " Милановић инжењеринг" и дат је пример обраде.

Мастер рада треба да садржи следеће целине:

1. Уводно разматрање
2. Анализа процеса обраде на CNC глодалицама
3. Опрема за троосне и петоосне обрадне центре
4. Припрема за програмирање
5. Троосна глодалица
6. Петоосна глодалица
7. Поређење троосних и петоосних обрадних центара (глодалица)
8. Стезање на троосној и петоосној глодалици (пример)
9. Закључак
10. Литература.

Препоручена литература:

1. Љ.С. Лукић, **Флексибилни технолошки системи**, Машински факултет у Краљеву, 2008
2. Р. Ковачевић, **Нумерички управљане машине алатке и њихово програмирање**, Научна књига, Београд, 1987.
3. Б. Недић, **Вишеосне CNC машине - скрипта**, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, 2008

ПРЕДМЕТНИ НАСТАВНИК

Проф. др Богдан Недић

Крагујевац, септембар , 2017. год.

Резиме

Овај мастер рад бави се тематиком развоја троосних и вишеосних CNC машина. Описан је њихов развој од самог почетка па све до данашњих савремених обрадних центара који омогућавају обраду веома комплексних обрадака. У наставку је описана анализа процеса обраде, која се све опрема користи код троосних односно вишеосних CNC машина.

У поглављу поређење троосних и вишеосних глодалица приказана је суштинска разлика саме обраде, како се алат понаша код троосних а како код вишеосних машина, каква је разлика и којим случајевима је боље користи троосну односно петоосну CNC машину.

Као пример CNC машине дата је троосна глодаица HAAS VF10 и петоосна глодалица SAHOS POWER TURBO које се налазе у предузећу "Милановић инжењеринг", које управљачке јединице ове две машине користе и какава је могућност стегања на једној а како на другој машини.

Кључне речи: HAAS VF10, SAHOS POWER TURBO, троосна глодалица, петоосна глодалица.

Abstract

This master deals with the development of three-axis and multi-axis CNC machines. Their development has been described from the very beginning to today's modern processing centers which enable the processing of very complex workpieces. Below is an analysis of the machining process, which is used for three-axis or multi-axis CNC machines.

In the chapter comparison of three-axis and multi-axis milling machines, the essential difference in the machining itself is shown, how the tool behaves in troos ones, and how in multi-axis machines, what is the difference and in which cases it is better to use a toroos or five-axis CNC machine.

As an example of CNC machines, the three-axis HAAS VF10 and the five-axis milling machine SAHOS POWER TURBO are located in the Milanovic Engineering company, which control units of the two machines use and cocoa is a possibility of clamping on one machine and on another machine.

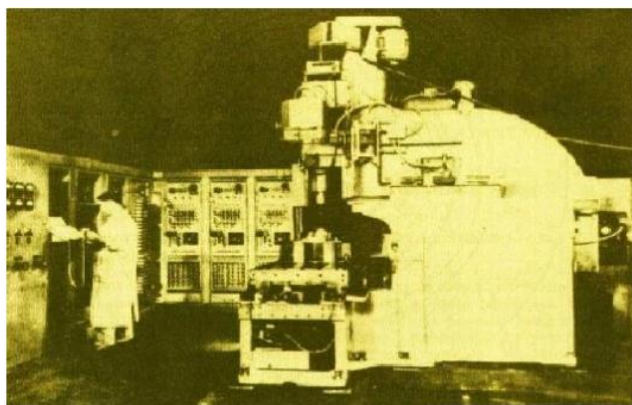
Kew words: three-axis HAAS VF10, five-axis milling machine SAHOS POWER TURBO

Садржај

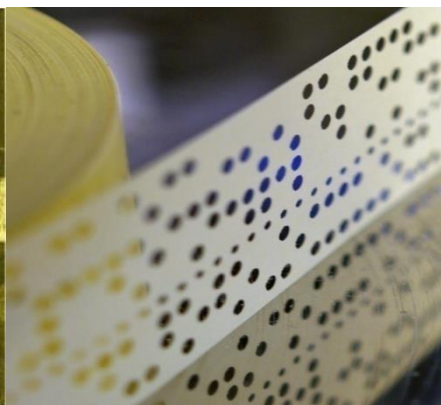
1. Уводна разматрања.....	1
2. Анализа процеса обраде на CNC глодалицама.....	3
3. Опрема за троосне и вишеосне обрадне центре	6
3.1 Нумерички управљачка јединица	6
3.2 Погонски систем.....	8
3.3 Главно вретено	11
3.4 Мерни систем	12
3.5 Клизне и котрљајне вођице	17
3.6 Системи за измену алата	19
3.7 Стезни прибор	20
3.8 Радни сто	22
3.9 Системи за подмазивање	23
3.10 Системи за хлађење.....	23
3.11 Четвоороосни обрадни систем.....	25
3.12 Петоосни обрадни систем	26
4. Припрема за програмирање	30
4.1 Координатни систем и нулте тачке	30
4.2 Врсте управљања.....	36
5. Троосна глодалица.....	37
6. Петоосна глодалица.....	42
7. Поређење троосних и петосних глодалица	53
8. Стезање на троосној и петосној глодалици (пример)	57
9. Закључак.....	61
10. Литература.....	62

1. Уводна разматрања

Прва нумерички управљана алатна машина направљена је у Америци почетком педесетих година уз помоћ научника MIT-а (*Massachusetts Institut of Technology*). Новина на машини је било увођење електронског управљања помоћу управљачке јединице у коју се програм уносио преко бушене папирне траке. Тадашња управљачка јединица је била већа од саме машине [1].

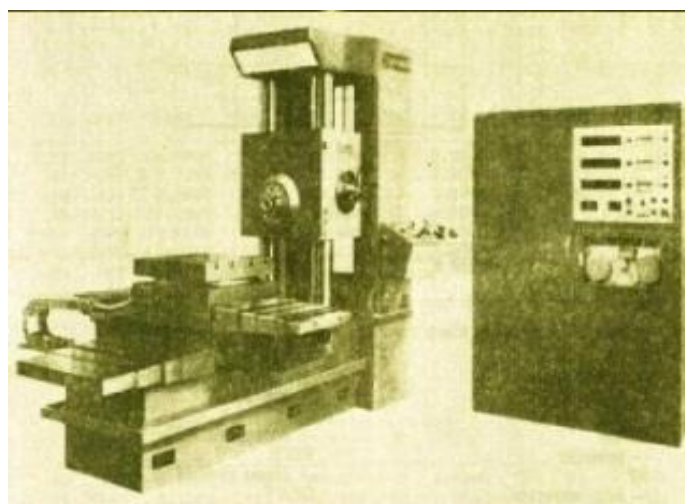


Слика 1. Прва NC машина [2]



Слика 2. Бушена трака [3]

У бившој Југославији фабрика "ПРВОМАЈСКА" из Загреба је прва набавила нумерички управљану конзолну глодалицу 1969.године (SHARMANN FB100 са управљачком јединицом ДЕКАМАТ), а сама је почела серијски да производи нумерички управљане машине од 1978. године (на слици 4 је прва изложена глодалица G 301 NC на загребачком сајму 1971 године) [2].



Слика 3. Прва глодалица из 1969.године [2]

Основа нумеричког управљања је управљање машином помоћу унапред дефинисаног програма. Програм је скуп шифрованих геометријско технолошко

функционалних наредби којима се путем различитих физичких медија (папирних трака, касета, дискета) дају управљачкој јединици. То су уствари унапред замишљене радње.



Слика 4. *Прва направљена NC глодалица [2]*

Прве управљачке јединице биле су без компјутера и носиле су назив **NC** управљачке јединице (*Numerical Control*), а будући да се програм састојао од бројева и слова, отуда и назив Нумеричко управљање.

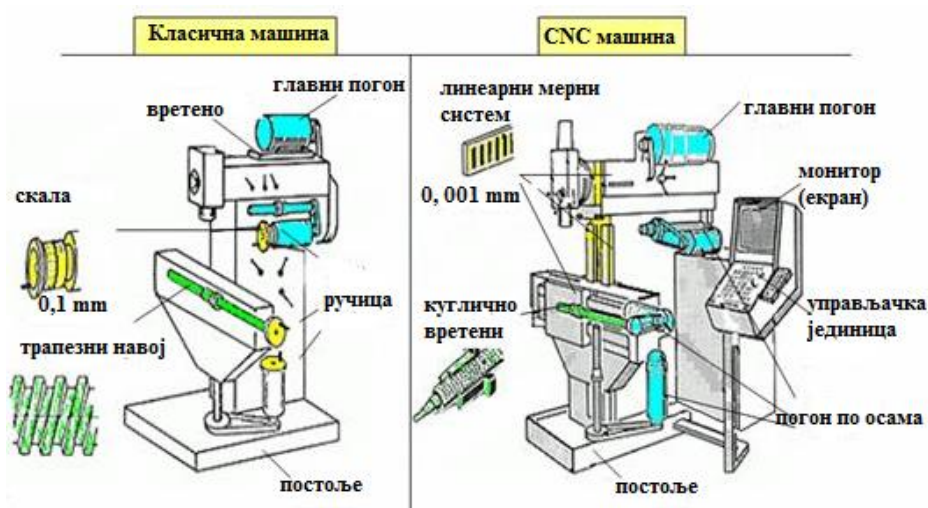
Данашње управљачке јединице грађене су на принципу коришћења микропроцесора, тј. малог електронског рачунара који се може програмирати и тиме остварити процес нумеричког управљања. Због тога се такве управљачке јединице зову **CNC** (*Computer Numerical Control*) управљачке јединице.

2. Анализа процеса обраде на CNC глодалицама

CNC машине су се развиле од NC машина где се информације нису чувале као целокупни програм у контроли машине већ су се делимично учитавале са бушене траке. Развијање CNC технологије је омогућило рационализацију у појединачној и масовној производњи кроз врло прецизно и значајно брже кретање оси у алата. И данас је немислииво да машинска индустрија буде без CNC машина.

Свака CNC машина чита програм написан у G-коду који креира корисник. Компјутери се користе за дизајн деловања и писања програма. Програми се пишу ручним куцањем G-кода путем тастатуре или коришћењем CAM софтвера (Computer Aided Manufacturing) [3].

CNC машине имају мање или више исте делове као и старе NC машине. Битна разлика је додатак контролне јединице (CNC) и серво мотора на све осовине. CNC рачуна координате где која осовина треба да буде и контролише серво моторе који померају алат или обрађивани део.



Слика 5. Разлика између класичних и CNC машина [4]

Као што је на слици 5 приказано виде се основне разлике између ових машина:

- **Погон машине** – код класичних машина ради се о заједничком погону тј. један мотор погони главно вретено и остала кретања радног стола, док код CNC машина постоји један главни мотор за погон главног вретена, а померања по осама остварују посебни истосмерни мотори.
- **Управљање машином** - код класичних машина изводи се ручно или машински преко ручица за управљање док код CNC машине имају управљачку јединицу (тастатура и екран) и раде аутоматски преко програма.
- **Мерни састав машине** - састоји се од скале са нонијусом (класична машина) или прецизнијег линеарног система мерења (CNC машина).
- **Посмак радног стола** - остварује се трапезним навојем (класичне машине) или кугличним навојним вретеном (CNC машине) [4].

Нивои управљања:

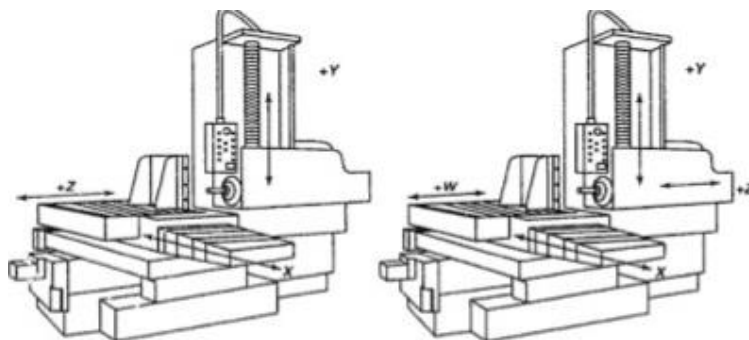
- управљање по тачки (истосмерно кретање само по једној оси нпр. операција бушења),
- управљање по кривој у равни (истосмерно кретање по двама осама),
- управљање по просторној кривој (истосмерно кретање по најмање три осе нпр. просторно закривљене плоче – лопатица турбине).

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 резултује већом прецизношћу 0,001 mm.
- обилно подмазивање и хлађење алата чиме се продужује век трајања алата
- коришћење најквалитетнијих алата са резним оштирцама од тврдих метала и керамике и др.

Упоређујући израду предмета помоћу класичних машина и CNC машина може се доћи до закључка да је основни приступ у изради делова готово исти [4]:

- анализа цртежа,
- избор операција обраде,
- избор начина стезања обрадка,
- одабир одговарајућих алата,
- прорачун режима обраде,
- израда програма и тестирање,
- израда предмета.



Слика 6. Разлика између троосне и обрадног центра [58]

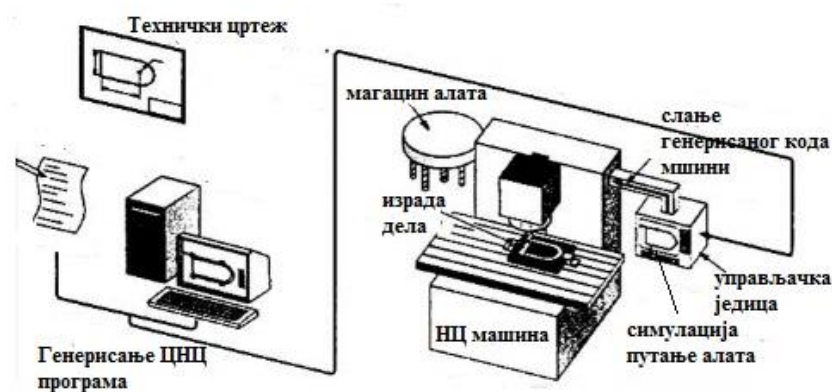
На слици 6 приказана је разлика између троосне и вишеосне машине. Десна слика представља троосну CNC машину, док је лева слика представља четвороосну CNC

машину. Разлика је у томе што четвороосна машина има могућност ротације једне осе под неким углом у хоризонталном положају.

Најновије CNC машине су тзв обрадни центри који обрађују радне предмете веома сложене геометрије са високим степеном тачности. Ове машине омогућују комплетну обраду радног предмета уз аутоматску измену алата (магацин са механичком руком за измену алата). Радни предмет има могућност заокретања и померања у више смерова. Повезивање више CNC машина чини флексибилни обрадни центар који садржи неколико обрадних центара повезаних системом транспорта. Тренутно постоји више од произвођача опреме петоосних обрадних центара. Већина тих машина су веома велике, снажне, прецизне и веома скупе. Веома важна карактеристика вишеосних машина је та што може користити веома краћи алат у односу на троосне машине. Јер се глава може спустити веома близу месту обраде при чему се алат оријентише према поврсини. При овом се постижу већа брзина резања без прекомерног оптерећења алата, и на тај начина расте његов век трајања и смањују се ломови. Такође се смањују вибрације које се јвљају приликом обраде неке шупљине, при чему је потреба за завршном обрадом смањена.

Најновије достигнуће је повезивање низа флексибилних обрадних центара које обављају работи. То су фабрике где су људи искључени, и у оваквим фабрикама се постиже највећа продуктивност [1].

Стални развој рачунарских и комуникационих система за индустријску примену, омогућио је и развој DNC система (DNC - Distributed Numeric Control) машина алатки. DNC системи су омогућили да се NC програми могу писати у технолошким бироима на рачунарима - радним станицама, који су локацијски одвојени од машина алатки, а путем рачунарске мреже могу се дистрибуирати уз помоћ мрежних протокола NC управљачким системима машина алатки у производном погону (слика 7).



Слика 7. Компоненте савремених CNC система [15]

3. Опрема за троосне и вишеосне обрадне центре

Нумерички управљани систем је скуп подсистема са одређеним конструктивним карактеристикама који су међусобно повезани функционално у једну целину (слика 8). Тако да се сваки подсистем може третирати као посебна целина са потпуно структурним подсистемом.



Слика 8. Делови глодалице [27]

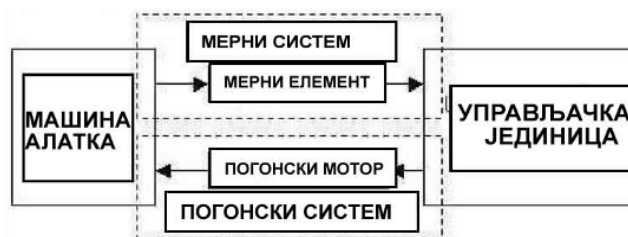
Структурну нумерички управљане машине алатке чине:

- нумерички управљачка јединица,
- погонски систем,
- мерни систем,
- носећи и ослони елементи,
- клизне вођице,
- системи за измену алата,
- системи за подмазивање и
- системи за хлађење.

3.1 Нумерички управљачка јединица

Програмирање обрадних процеса на нумерички управљаним обрадним системима обухвата низ активности на систематизацији обрадних информација, њиховом исписивању одређеним редоследом према правилима програмског језика у форми управљачког програма. Преко управљачког програма нумерички управљана машина добија на одређени начин кодиране све информације за аутоматску обраду неког елемента. То су информације о потребним кретањима (главним и помоћним), информацијама за аутоматску измену алата, податке о режимима обраде и др. Управљачки програми се уносе у нумеричком облику у нумерички управљану јединицу.

Управљачка јединица тако припремљене информације обрађује и према степену приоритета саопштава извршним органима машине. На тај начин се остварује управљање процесом обраде ради остварења потребе конфигурације израдка.



Шема 1. Општа структурна шема нумерички управљаног обрадног система [15]

Нумеричка управљачка јединица је посебна целина обрадног система има три основна задатка:

- пријем,
- обраду и
- издавање података.

Оспособљена је да прими податке у виду готовог програма, информације од машинског система, као и друге инструкције. Програм се може саопштити на више начина преко посебног њеног дела за пријем података, и то се чини:

- ручно помоћу тастатуре ,
- помоћу бушене траке,
- помоћу магнетне траке,
- помоћу дискете и
- директно каблом, везаном директно за неки рачунар.

Једном сачињен управљачки програм могуће је пренети и архивирати помоћу различитих носача података. На пример: бушена трака, магнетна трака, дискета или новији носачи информација. Да се све то оствари CNC управљачке јединице мора да поседују одговарајуће прикључке за пренос података. За те прикључке постоје стандарди који обезбеђују да се размена података између управљачке јединице и екстерног уређаја одвија беспрекорно.

Са аспекта развоја електронике нумерички управљане јединице, разликују се следећи системи:

- NC систем – хардверски базиране нумерички управљане јединице које читају споља сачињене програме (екстерне) и
- CNC системи – софтверски базиране нумерички управљане јединице, располажу рачунаром који омогућује послуживоцу да стартује, мења и прекида програм.



Слика 9. Пример нумеричке управљачке јединице [31]

3.2 Погонски систем

Погонски систем има задатак да реализује наредбе добијене од управљачке јединице. Он покреће радне органе машине брзинама и помацима према програму, води их и доводи у задате положаје. Притом треба да омогући:

- остварење безтрзајног покретања,
- промену смера и заустављање,
- линеарну зависност између улазног и излазног сигнала,
- висок степен реаговања на управљачке сигнале,
- висок степен искоришћења,
- мале габаритне величине и
- поузданост у раду.

У процесу обраде у обрадном систему долази до губитка енергије. У преносницима снаге, лежајевима, вођицама и у другим елементима део енергије се троши на савлађивање отпора резања. Погонска снага машине и степен корисног дејства су важне карактеристике обрадног систем. У општем случају погонска снага машине, као и улазна снага у обрадном систему, састоји се од корисне снаге резања као и излазне снаге и снаге која се троши на савлађивање отпора у целом систему. Параметри за избор погонског система код нумерички управљаних машина су:

- захтевана снага за процес обраде,
- расположива снага и
- динамичке карактеристике погонског система.

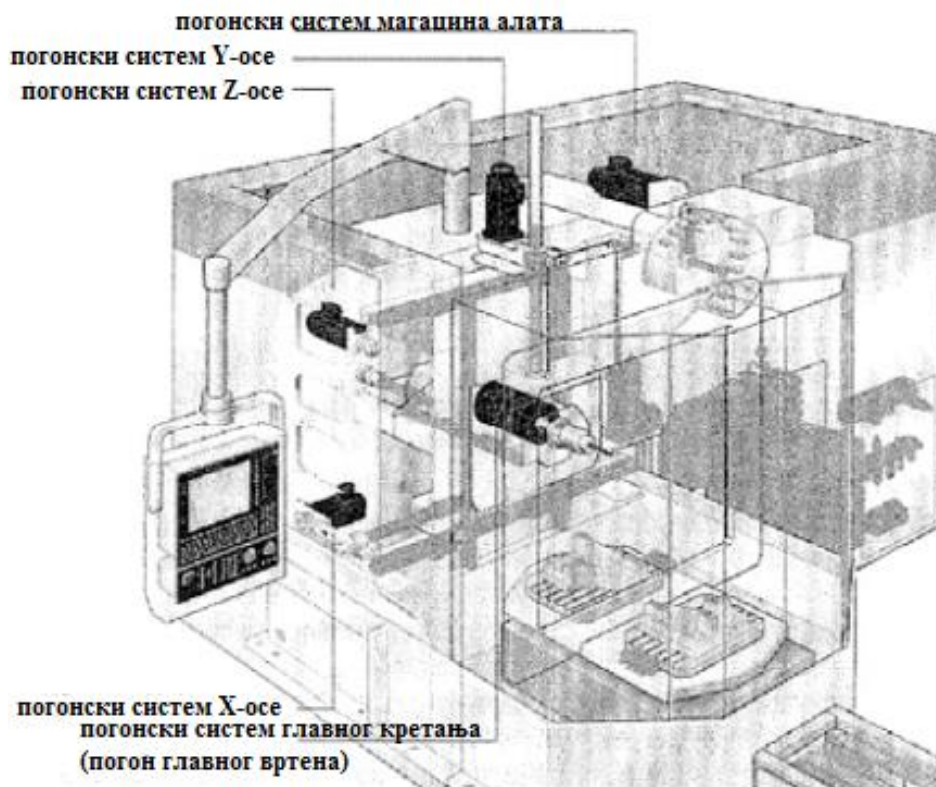
Погонски системи код нумерички управљаних машина алатки у зависности од извора енергије могу бити: електромотори једносмерне и наизменичне струје, корачни мотори, хидраулички мотори, пнеуматски мотори и други, а према функцији коју обављају могу бити за главна и помоћна кретања.

Главно кретање код машина алатки омогућује остваривање самог процеса обраде, а изводи га алата или обрадак и може бити кружно или праволинијско. Помоћно кретање је оно кретање алата или обрадка које омогућује остваривање континуитета процеса обраде. Помоћних кретања може бити више и могу бити исто кружна и праволинијска [32].

Преносник за главно кретање остварује различите брзине кретања главно вретена за које се преко посебног прибора причвршћује алат или обрадак. Најчешће се брзине кретања главног вретена мењају променом броја обртаја излазног вратила преносника главног кретања. Главно вретено се креће помоћу мотора и преносника између којих се налази и уређај за мерење брзине кретања [32].

Преносник за помоћно кретање без обзира ко врши помоћно кретање обрадак или алат, треба да обезбеди кружно или помоћно кретање. Уколико обезбеђује праволинијско кретање онда се за трансформацију кружног у праволинијско кретање користи склоп навојног вретена и рециркулационе навртке која је у чврстој вези са

покретним делом машине. За погон помоћног кретања најчешће се користе мотори једносмерне струје или корачни мотори [32].



Слика 10. Погонски системи обрадног система [33]

Управљање главним и помоћним кретањем врши се из управљачке јединице помоћу одговарајућих наредби у програму. Код нумерички управљаних машина главно кретање може да се оствари обртањем у смеру казаљке на сату или у супротном смеру гледано из правца главног вретена. Електромотор заједно са преносником прима од управљачке јединице наредбу за једно или друго обртање. Наредба зависи од конструктивних карактеристика машине и од саме обраде [32].

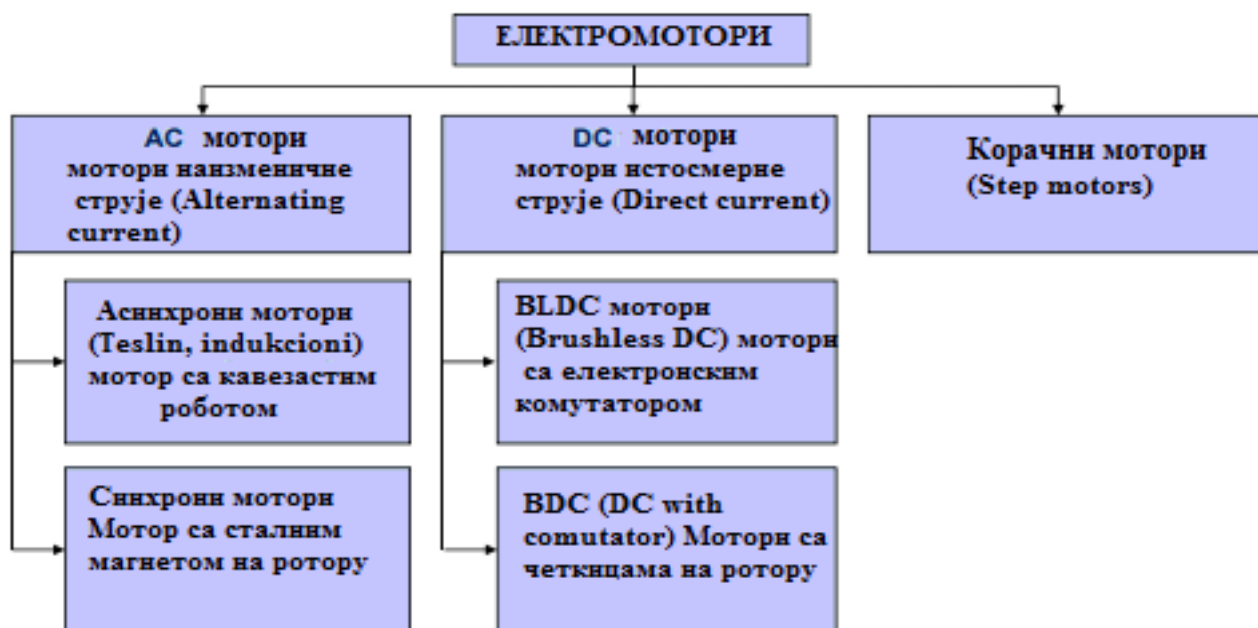
Покретање извршних органа на обрадном центру се изводи коришћењем погонске енергије као што је :

- електрична,
- хидраулична,
- пнеуматска или
- комбинација.

На обрадним центрима постоје три врсте погонских система (слика 10):

- погонски систем главног вретена (главни погон),
- погонски систем помоћних кретања (посебни погони за сваку од оса обрадног центра) и

- погонски системи помоћних функција (погони магацина и измењивача алата, палета и др.)



Шема 2. Подела електромотора [33]

Веома битна карактеристика погонског система је могућност управљања излазним бројем обртаја, убрзањем и успоравањем. Мотори који имају регулације броја обртаја зову се серво мотори (Слика 11).



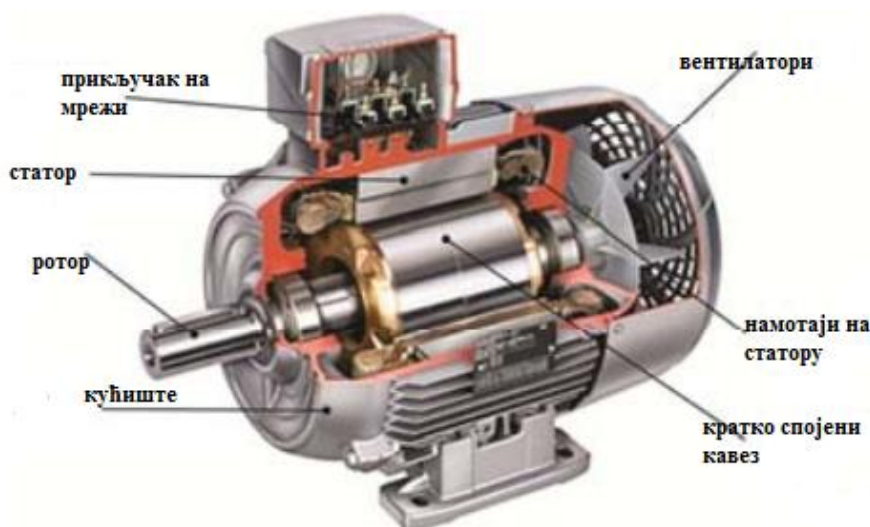
Слика 11. Пример серво мотора [42]

Предности АС мотора:

- остваривање релативно веће снаге и момента,
- ефикасније хлађење и изостанак делова који се троше приликом клизања и
- промена броја обртаја се изводи променом фреквенције.

Предност DC мотора:

- релативно ниске цене,
- једноставније управљање (промена напона и струје) и
- могућност промене броја обртаја у широком распону.



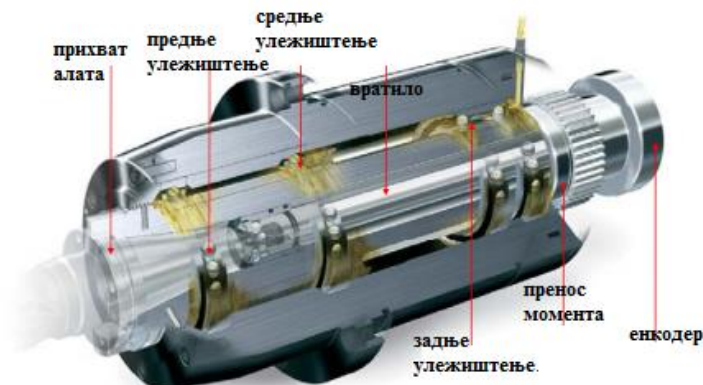
Слика 12. Асинхрони мотор наизменичне струје [33]

3.3 Главно вретено

Главно вретено је најважнији модул обрадног центра, пошто садржи главно вретено са сопственим погонским системом, које има конусно седиште и остале елементе за прихват алата у процесу резања (слика 13). Главно вретено изводи главно кретање у обрадном процесу резања и може бити хоризонтално или вертикално, што одређује како тип обрадног центра, тако и положај координатних NC-оса. Основна проблематика везана за главно вретено односи се на систем преноса снаге од погонског електромотора до алата, начин уградње у кућишту и интегрисање у модул линеарног кретања са уравнотежењем масе. Сви погонски системи на обрадним центрима морају испунити специјалне захтеве, а посебно погон главног кретања који мора бити правилно димензионисан. Систем улежиштења главног вретена је кључни фактор за тачност обраде и експлоатациони век обрадних центара. Постоје конструкцијска решења за главна вретена која имају уобичајен број обртаја до 6000 [o/min] и уграђују се у обрадне центре намењене обради челика и ливеног гвожђа. За обраду алуминијума и алуминијумских легура користе се специјална високо брзинска главна вретена која имају број обртаја и до 30000 [o/min]. Поред начина улежиштења, снаге и обртног

момента, број обртаја је основни показатељ квалитета и режимских перформанси главног вретена [16].

Почетна тачка димензионисања главног вретена базира се на одабиру прихвата алата односно седишту алата.



Слика 13. Шема главног вретена [33]



Слика 14. Носач алата типа VELDON [33]

Материјали који се користе за израду главног вретена су :

- угљенични конструкциони челици за побољшање,
- легирани конструкциони челици за побољшање и др.

3.4 Мерни систем

Основни задатак мерног система је да брзо и прецизно измери одговарајуће померање извршног органа машине и да ту измерену величину у одређеном облику и на адекватан начин проследи управљачкој јединици (слика 15). Приликом управљања механичким системима најважнија су мерења дужине или угла међусобног померања покретних делова и мерење брзине померања. Пошто је управљачка јединица електронски уређај, потребно је онда да се информација о измереној величини прикаже у облику електричног сигнала који може лако да се обради. Зато се код нумерички управљаних машина користи углавном електронски мерни систем или систем који као излазну величину има електрични сигнал.

Мерачи који се углавном користе су енкодери, а постоји:

- инкрементални енкодер – броји обртаје вратила мотора. Они броје од нуле и сваки обртај је нови број импулса и
- апсолутни енкодер – за мерење угла померања са памћењем последње позиције.

Мерни уређаји морају да раде у online режиму, то значи да се измерена величина одмах шаље у управљачку јединицу како би се упоредила са задатом, јер се управљање изводи на основу разлике задате и остварене координате померања.

Тачно вођење и довођење радних органа у задате положаје од посебног је значаја за облик, тачност и квалитет израдка. Захтеви које треба да испуни мерни систем су:

- осетљивост треба да одговара траженој тачности нумерички управљане машине,
- треба да буду осетљиви на промену смера кретања – обртања,
- фреквенција слања сигнала треба да одговара захтевима управљачке јединице и
- поузданост у раду.



Слика 15. Угаони (1) и линеарни енкодер (2) [34],[35]

Савремени мерни системи могу да раде и као вишестепени, прво као мерни системи за грубо и средње fino позиционирање у близини задате тачке, а затим и као мерни системи за fino и врло fino позиционирање односно за довођење алата у задату тачку са високом тачношћу.

Најчешће се данас користе мерни системи са фотоелектричним читавањем оптичких решетки код лењира или дискова.



Слика 16. Ласерски енкодер (1), инкрементални енкодер (2) [41]

Поред битних елемената алатних машина (конструкцијских и погонских) тачност и поузданост позиционирања радних елемената и мерење њиховог положаја представља битан предуслов за квалитет обраде [57].



Слика 17. Мерни систем на NC алатним машинама [58]

Мерне системе можемо поделити према врсти и положају уградње мерног систем (слика 17):

- затворене,
- полузатворене,
- квазизатворене и
- отворене .

Затворени мерни систем

Затворени мерни систем (слика 18) чине погонски електромотор, преносни механизми (навојно вретено), а повратна спрега је остварена преко сензора за праволинијско позиционирање. Недостатак овог поступка је временски посмак између улазног и излазног сигнала и динамичка нестабилност.



Слика 18. Затворени мерни систем [58]

Полузатворени мерни систем

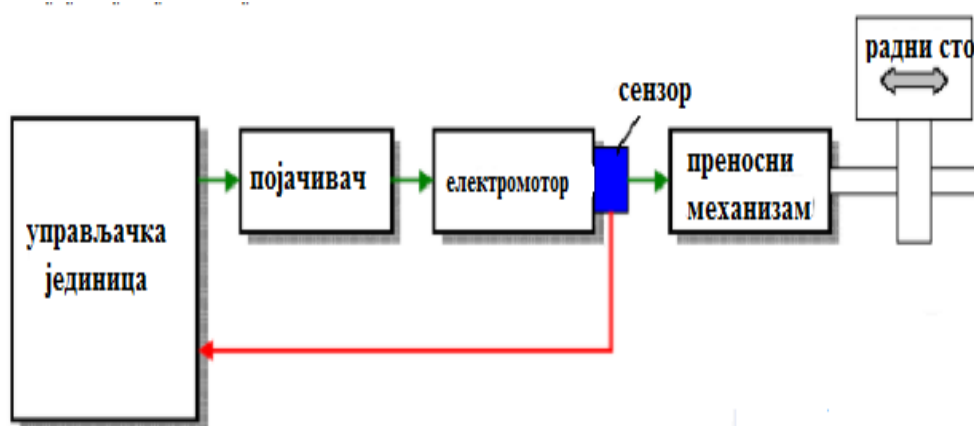
Овај систем има кружни давач за угаоно позиционирање на крају мерног ланца где је посмак одређен преко угаоног навојног вретена. Код овог система се јављају грешке везане за тачност и температуру навојног вретена због индиректног начина мерења (Слика 19).



Слика 19. Полузатворени мерни систем [58]

Квазизатворени мерни систем

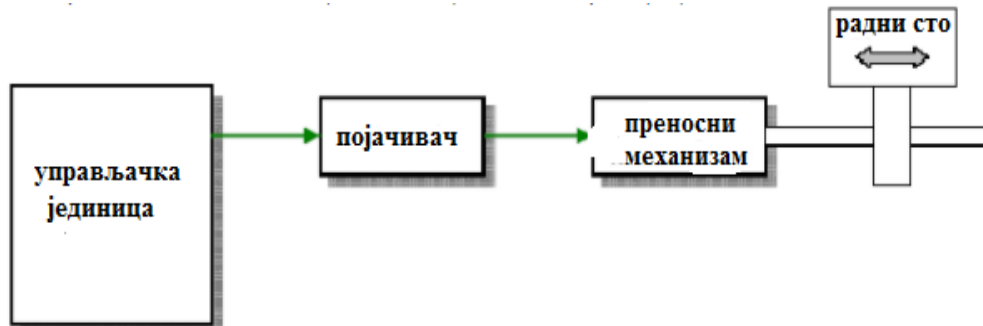
Квазизатворени мерни систем је функционално једанак полузатвореном само се мерни кружни давач налази на крају навојног вретена на погонском електромотору чиме се смањује утицај вибрације на тачност (Слика 20).



Слика 20. Квазизатворени мерни систем [58]

Отворени мерни систем

Отворени мерни систем користи за погон електрокорачни мотор или електрохидраулички корачни мотор. И због тога му нису потребни мерни давачи, А/D претварачи нити повратна веза.

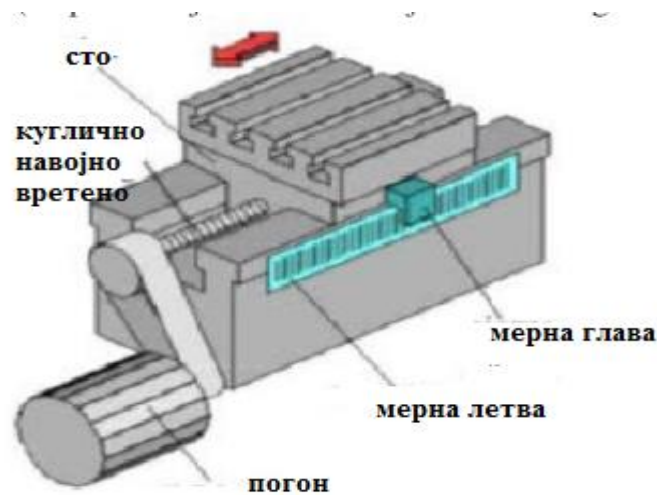


Слика 21. Отворени мерни систем [58]

Директно мерење положаја

Директни систем мерења положаја покретних делова алатних машина у односу на непокретне остварује се помоћу мерне летве и мерне главе.

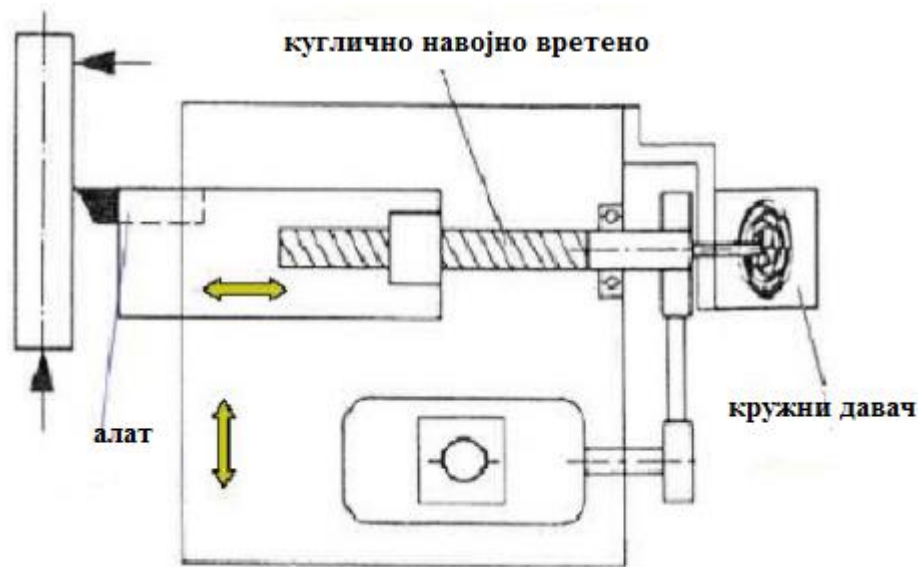
Овим начином су избегнуте грешке које настају због посредних елемената у мерном ланцу. Мерна летва је причврћена на покретном или непокретном делу клизача (Слика 22).



Слика 22. Директно мерење положаја [58]

Индијектно мерење положаја

Индијектни системи користе кружни давач на крају куличног навојног вретена или кућишта електромотора. За разлику од директног, овај сиситем мерења не узима у обзир грешке на куглично вретену: грешке корака, увијање вретена, топлинску дилатацију вретена и др.



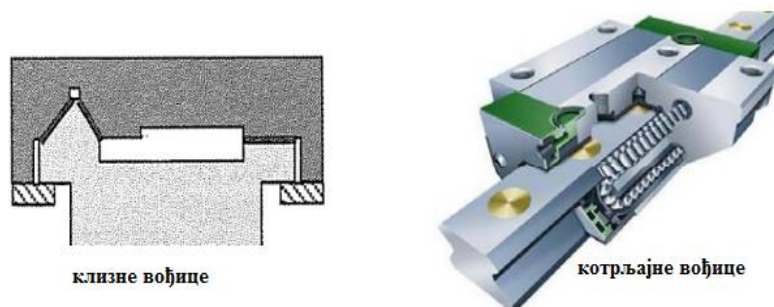
Слика 23. Индијектни мерни систем [58]

3.5 Клизне и котрљајне вођице

Вођице представљају прецизне стазе по којима се крећу извршни елементи модула помоћних кретања обрадних центара. Изводе се као:

- клизне - нормалне прецизности ($> 0,001 \text{ mm}$) и веће снаге ($> 3 \text{ kW}$) и
- котрљајне - повишене прецизности ($< 0,001 \text{ mm}$) и мање снаге ($< 3 \text{ kW}$).

Основни захтеви за клизне површине су отпорност на хабање, висока крутост и добре карактеристике пригушења. Код праволинијских вођица, трење клизања замењено је трењем котрљања.



Слика 24. Клизна (1) и котрљајне вођице (2) [33]

У систем вођица за трансляторна кретања уграђују се котрљајни елементи. У новије време код тежих машина уграђују се хидростатичка и аеростатичка вођења. Сматра се да је ваздух у предности јер се после једне употребе не враћа у компресор, а уље треба да се охлади посебним агрегатом и понова враћа у инсталацију.

Врло често се између покретних и непокретних клизача постављају пластичне масе, и то на два начина. Први је, када се траке лепе на краћи покретни део клизача чиме се добија клизни пар: метал - пластична маса. Други начин је да, када се клизач постави на вођице по којима клизи, мали зазор између површина за налагање испуни наливном масом, после чега се површине налагања мало поправе и прилагоде вођицама. Оба ова решења су добра, али ипак су лошија од котрљајних, аеро и хидростатичких решења.



Слика 25. Куглично навојно вретено [33]

Навојно вретено (слика 26) које се налази на већини конвенцијалних машина алатки није погодно за нумерички управљане машине алатке. Велико трење и хабање, велики је зазор користи се за релативно мале брзине, не обезбеђује жељену тачност и зато се уместо њега користи куглично навојно вретено са рециркуларном навртком. Навојно вретено и навртка имају прецизно израђене навојне жлебове по којима циркулишу куглице. Геометријски облик завојног жлеба може бити полукруг или готички лук. Крутост погонског система и тачност позиционирања може се повећати преднапрезањем склопа навојног вретена – навртке.



Слика 26. Навојно вретено са рецикулационом навртком [36]

Преднапрезање се остварује помоћу две навртке које се постављају тако да се између њих оствари преднапрезање на истезање или притисак. Стварна еластична линија вретена одржава се у дозвољеним границама одступања од осе вретена, што повољно утиче на тачност позиционирања. Навојна вретена са рециркулационом навртком имају врло мала трења, тако да су губици енергије и стварања топлоте у њима занемарљиво мали [29].

3.6 Системи за измену алата

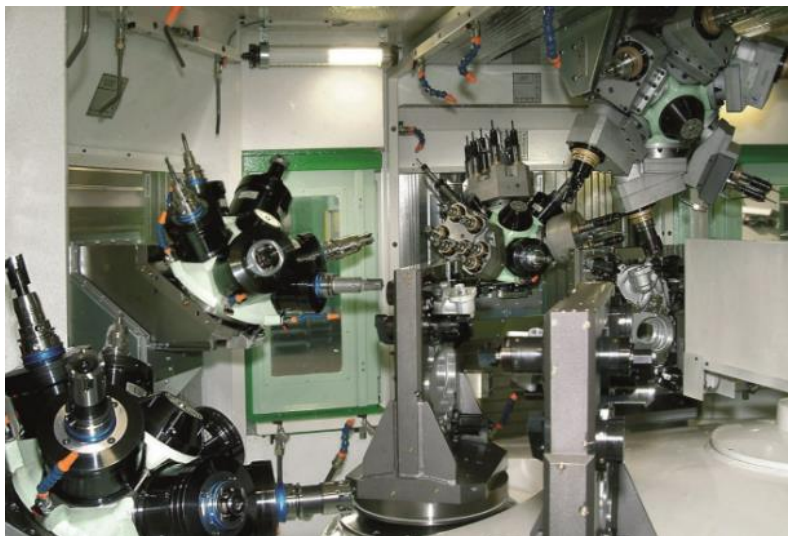
Системи за измену алата у аутоматизацији процеса обраде имају битну улогу. Све већи захтеви за тачношћу и сложенијом конфигурацијом делова намећу потребу обраде из једног радног положаја - једног стезања, а са друге стране се захтева употреба више различитих алата. Смањење помоћног времена доноси одговарајуће уштеде и директно оправдава увођење система за измену алата. Резне алате може да замени и послужилац машине ручно.

У пракси таква измена је код неких NU глодалица и NU бушилица. Ово је могуће зато што су њихови носачи резних алата лако приступачни. Међутим, НУ стругови и обрадни центри за потребе аутоматизоване производње по правилу поседују аутоматске уређаје за измену резних алата, који зависно од конструкције, могу да приме различит број резних алата.

За аутоматску измену алата у примени су:

- револверске главе и
- магацин алата.

Револверска глава је посебна целина машине алатке. Она омогућује аутоматску измену алата. Већина NU машина има једну или две револверске главе које могу бити хоризонталне и вертикалне. (Слика 27)



Слика 27. Пример револверских глава [37]

Магацин алата је посебан модул обрадног центра који има функцију да обезбеди смештај већег броја алата, који су предвиђени за извођење технолошких операција садржаних у NC програмима CNC управљачког система.



Слика 28. Ланчasti магацин алата [17]

Магацин алата има већи број гнезда, која су са истим конусним прихватом алата као и главно вретено обрадног центра. Број гнезда зависи од врсте магацина и од величине обрадног центра, али се најчешће креће у интервалу од 25 до 60 [16].



Слика 29. Добошasti магацин алата [10]

3.7 Стезни прибор

Стезни прибори за обраду на глодалици се монтирају на машину алатку преко ушица за причвршћивање и Т-жљебова на радном столу. Према начину стезања стезни прибори за глодалице могу бити [38]:

- мануелни или
- аутоматски.



Слика 30. Причвршћивање обрадка (1) и Т-жљебови (2) [38]

У универзалне стезне приборе за обраду на глодалице убрајају се:

- стеге,
- стезне главе и
- заокретни столови.

Стеге (Prismatic fixturing jaws) се изводи са једном или две покретне чељустима, а померање се врши помоћу завојног вретена. Чељустима су променљиве и изводе се у различитим облицима и од различитих материјала, ради омогућавања стезања предмета различитог облика [38].



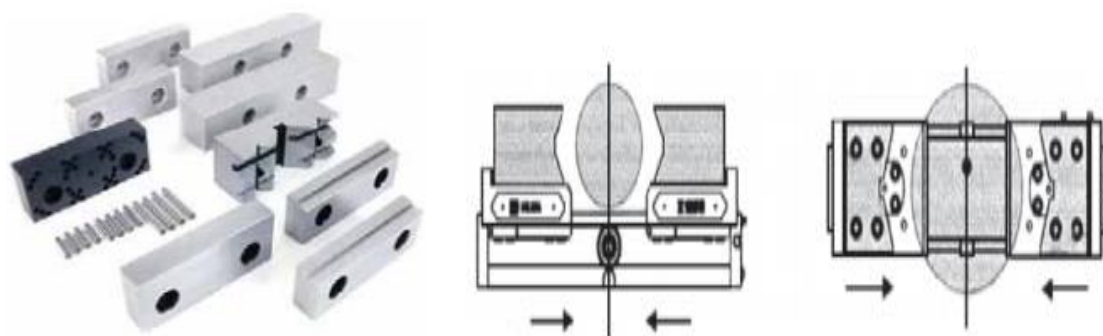
Слика 31. Стега [38]

Хидрауличне или пнеуматске стеге (често са самоцентрирајућим чељустима) се користе на савременим CNC машинама. Поседују интегрисане цилиндричне које преко кратког хода обезбеђују силу стезања. Дуж ходова чељустима се обавља мануелно. Производи се и стеге са више седишта за радне комаде [38].



Слика 32. Хидрауличне стеге [38]

Стезне чељустима се израђују у више облика у зависности од облика предмета који се стежу (цилиндрични, призматични или сложени). Самоцентрирајуће стеге се изводе са покретним чељустима на обе стране (обезбеђено обртање око вертикалне осе чељустима), тако да се поред стезања обезбеђује и позиционирање [38].



Слика 33. Стезне чељустуи (1), самоцентрирајуће стеге (2) [38]

Стезне главе на глодалицама углавном за стезање цилиндричних комада малих димензија и приликом прецизне обраде. Стезање се врши помоћу стандардних стезних чаура које се постављају у кућиште стезне главе [38].



Слике 34. Примери стезних глава [38]

3.8 Радни сто

Обртни радни столови (Rotatry/swiveling table) се користе да би се радни предмет преко ротационих зглобова довео у повољан положај за обраду. [38]



Слика 35. Обртни радни столови [38]

Уградњом **аутоматских обртних столова** на CNC машинама повећава се број управљивих оса и повећава се флексибилност (Слика 40).



Слика 36. Аутоматски обртни столови [38]

3.9 Системи за подмазивање

За добар и поуздан рад нумеричко управљане машине потребно је исправно подмазивање свих покретних склопова. Подмазују се све клизне површине, преносници и вретена, рецикулационе навртке, као и други витални елементи машине. Подмазивање може бити ручно и аутоматско [27].

Ручно подмазивање изводи послужилац машине у одређеном временском интервалу, средствима инсталираним на самој машини. Ручно подмазивање у потпуности је одвојено од система за управљање машином. Најчешће се користе зупчaste пумпе које се активирају ручним обртањем, а у употреби могу бити и клипне пумпе.

Аутоматско подмазивање има знатно већу ефикасност у односу на ручно и више је у примени код NU машина, не зависи од послужиоца, врши се са централног места, а контролише га управљачка јединица.

3.10 Системи за хлађење

Основни задатак система за хлађење је довођење средстава за хлађење у зону резања нумерички управљане машине у односу на конвенционалне имају веће брзине резања, резне алате од новијих материјала и захтеви за хлађењем су већи.

Течност за хлађење циркулише помоћу пумпе која је смештена испод нивоа решетке за скупљање течности. У резервоару се течност цеди, таложи, хлади и филтрира. Укључивање и искључивање система за хлађење може се активирати програмски, наредбом управљачке јединице или тастером на командној табли. За правилно функционисање система неопходно је редовно одржавање: чишћење резервоара, промена средстава за хлађење у одређеном времену, контрола нивоа и одржавање филтера [27].



Слика 37. Довођење средства за хлађење [37]

Елементи структуре машине

Постоља, кућишта, стубови и попречне греде су носећи и ослањајући елементи структуре машине алатке. Димензије, облик и крутост зависе од улоге коју елементи имају у процесу обраде материјала, од тежине припремка и од величине силе које се јављају при обради. Елементи структуре могу бити статички и покретни. Статички елементи обликују део структуре која може да буде отвореног или затвореног типа (рам, постоља и кућишта). Покретни елементи су носач алата и/или носач обрадка. Статички елементи спајају се елементима са чврсто развојивом везом и формирају рам носача. Покретни делови који могу бити померљиви у току процеса обраде или пре и после обраде ослањају се и воде помоћу вођица на структури. Код вођења се користе принципи клизања и котрљања, од чега зависи облик конструкције вођице [40].

Сви елементи структуре (покретни или непокретни) повезани су у једну целину, заједно са алатом и обрадком. Они затварају ток сила и напрезања унутар структуре па се тако тежина машине и обрадка преноси на темељ.

Елементи структуре машине изводи се ливењем и заваривањем од сивог лива у комбинацији разних материјала, који су природним или вештачким путем ослобођени од напона који су унети у материјал током ових процеса (ливење и заваривање) [40].

Решења постоља могу бити различита и од намене машине алатке зависи конструкција. При том треба водити рачуна о статичким и динамичким оптерећењима машине алатке која се понаша као еластични систем који има одређену статичку и динамичку крутост. Постоља израђена под углом и која су вертикална омогућавају да се струготина одводи из зоне обраде слободним падом и послужиоцу пружа лакши приступ обрадку и алатима [40].

На слици 21 приказана је CNC машина са вишенаменским радним столом и статичним постољем. А такође се обрада може изводити и на два стола (слика)



Слика 38. Обрада на два вишенаменска стола [44]

Алуминијумски вишенаменски столови

Алуминијумски вишенаменски сто (слика 39) може бити опремљен са великим распоном додатне опреме да се задовоље захтеви на неке одређене одлике дрвених елемената које обрађујемо.



Слика 39. Алуминијумски вишенаменски сто [44]

3.11 Четвороосни обрадни систем

Четвороосни глодачки обрадни системи могу бити хоризонтални или вертикални, зависно од оријентације главног вретена. За разлику од троосних система додата је четврта оса која је ротацијска. Сваки четвороосни глодачки обрадни систем поред главних оса X, Y и Z има и осу C која се најчешће ротира око стола. Сто се може ротирати само у одређеним корацима, али се не може ротирати у исто време док се врши померање по главним основним осама. Данас се четворосни систем задржао само код

хоризонталних система, и притиском тржишта да се што више уштеди у временској обради и у новцу при обради комплекснијих обрадака [52].

3.12 Петоосни обрадни систем

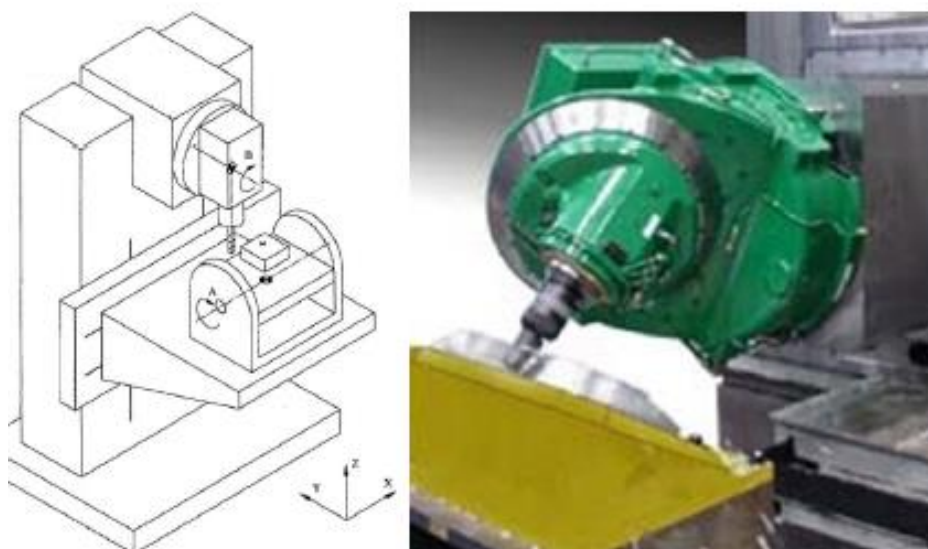
Код вертикалног и хоризонталног глодања су поред главних оса X, Y и Z додате и две осе. Те друге две осе распоређене су тако да се ротирају око постојећих основних оса. Ротацијска оса C ротира око осе Z, а A и B осе су осе под нагибом које се ротирају око оса X или Y. Осе A и B зависе од самог извођења алата.

Постоје 3 врсте извођења код петоосних глодалица :

- једна оса ротације у вретену а друга оса ротације у столу машине,
- обе осе ротације налазе у столу машине,
- обе осе ротације у самом вретену и
- окретно нагибни сто као компактним делом алатане машине [52].

3.12.1 Оса ротације у вретену а друга оса у столу

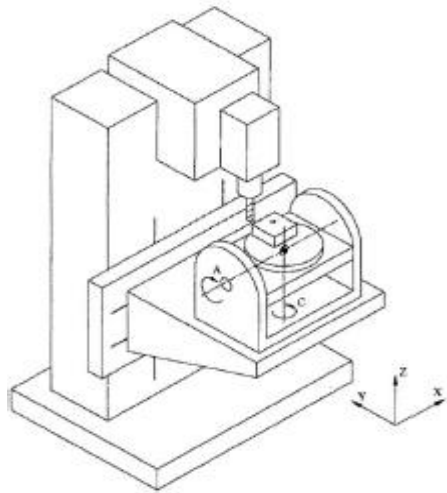
Попут хоризонталног глодања , при чему се једна оса налази у столу и има могућност ротације од 360° и другу осу у вретену која има могућност ротације од -90° до $+90^\circ$ (слика 40). Идеалан обрадак код овакве врсте машине јесте цилиндар са отворима по ивици [51].



Слика 40. Окретни сто и нагиб главног вретена [53]

3.12.2 Обе осе ротације се налазе у столу машине

Овакво извођење је специфично јер ивођење ротације врши сто, а главно вретено не врши никакву ротацију (слика 41). Оса С се налази у столи и врши ротацију од 360° , и главна улога осе јесте да врши заокретање стола. Димензије стола су сличне вертикалним глодачким обрадним центрима средњих димензија (500 x 450 x 400 mm).



Слика 41 . Сто са заокретањем (колека) [54]

Машине где се обе ротацијске осе налазе у самом столу, алат може бити фиксиран или може садржати једну до три осе транслације. Предности ових стројева су су ти:

- у случају хоризонталне израде главног вретена оптимално одстрањивање честица се изводи помоћу гравитације, на такав начин да она једноставно пада на подлогу,
- оса ротације током обраде је увек паралелна са осом Z, тако да се на тај начин врши обрада у X и Y равни и функције се изводе у троосном моду.
- компензација дужине алата се изводи као код троосне обраде.

Недостаци:

- оваква метода је увек намењена за обрадке који су малих димензија,
- радни простор је због нагиба алата често смањен по X, Y и Z осама,
- координате позиције алата у односу на координате осе машине зависи од саме позиције обрадка на столу. То значи да уколико се положај обрадка на столу промени, трансформација оса се не може аутоматски проверити већ се мора поново генерисати код [54].

Ово се најчешће користи за обраду са малим алатима на неприступачним позицијама где се могу обрдити дубоки резови. Овакав поступак није погодан за обраду великих комада већ је погоднији за обраду делова малих димензија.

Идеалан обрадак за ову методу је онај који је цилиндричног облика и окренут је ка вретену и уколико тај део захтева обраду око своје осе.

3.12.3 Обе осе се налазе у вретену

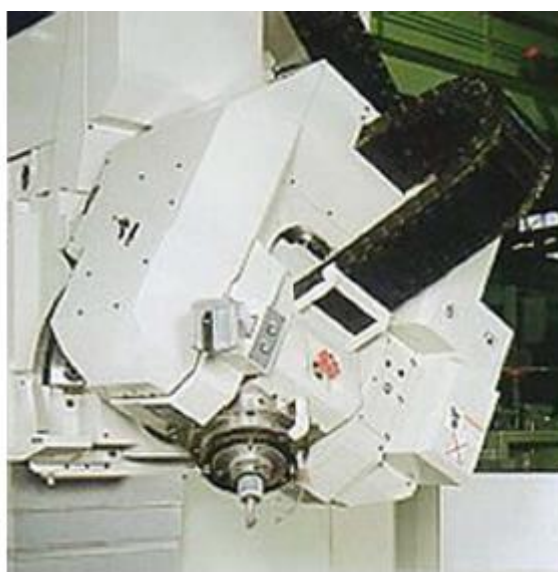
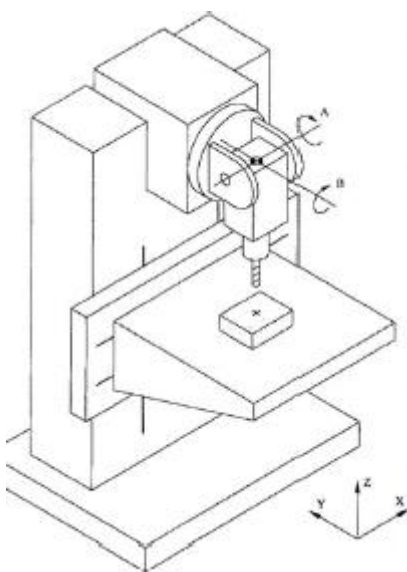
Овакво извођење 5D глодање ради тако да се оса С ротира 360° ($\pm 180^\circ$) ротирања главног вретена. Стављањем обе осе заокретања у главу вретена добија се ограничена сила резања али се она компензује са добијањем веће флексибилности (слика 42). Овакав систем је идеалан за делове који су неправилног облика и користи се највише у авио индустрији за обраду дугих профила [51].

Ово су често извођења где се осе ротације секу у једној тачки, што значајно поједностављује обрађивање података. Предности оваквих машина су [55]:

- могућа је обрада великих комада
- вредности X,Y и Z оса у програму зависе од дужине алата. Тако да се у случају новог стезања на машини координатни систем може подесити једноставном трансформацијом.

Недостаци:

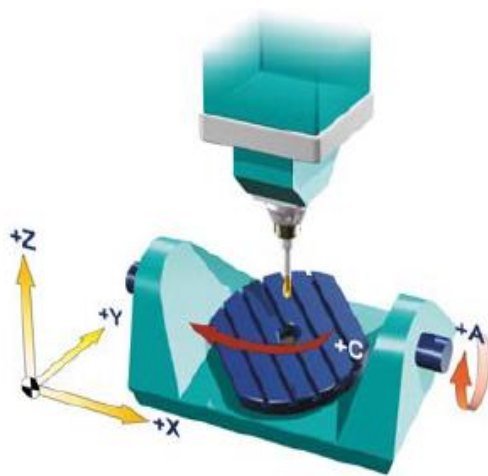
- комплексан погон главног вретена,
- смањена крутост зато што ротацијска оса вретена ограничава пренос силе. Брзина обртања преко 5000 о/min долази до контра деловања изазваним жирокопским ефектом,
- кружна интерполација у произвољно изабраној равни као и циклуси бушења често нису могући и др.



Слика 42. Извођење са двоструким заокретањем главе [55]

3.12.3 Нагибни сто као компактни део алатане машине

Овакво извођење је слично као и код методе где су обе осе ротације смештене у столу. Ротацијске осе су уграђене у платформу вертикалног обрадног система како би се добила петоосна машина са приближно једнаким димензијама вертикалних обрадних центара (слика 43). У овом случају фиксно вретено омогућава да се са малим алатаом на неприступачним местима изврши обрада комада са релативно дубоким резovima. Оваква метода не може обрађивати велике комаде, али је за мање комаде веома погодна. За оператере овакав вертикални строј је веома погодан јер могу брзо и ефикасно заменити и припремити комад за обраду.



Слика 43. Вишеосна обрада на окретно нагибном столу [56]

4. Припрема за програмирање

Како би се могла извршити припрема за програмирање потребно је добро сагледати све чињенице које су потребне да би се одрадио комад. Нема једнозначне дефиниције шта значи реч програмирање, али се код програмирања NC машина може рећи да је програмирање у ствари кодирање информација (геометријских и технолошких) потребно за обраду неког дела на NC машини. Припрема за програмирање захтева знање које је потребно за све поставке, с тим да ће се под градњом и синтаксом програма дати елементе који вреде за ручно програмирање NC машине [57].

Припрема за програмирање обухвата следеће елементе:

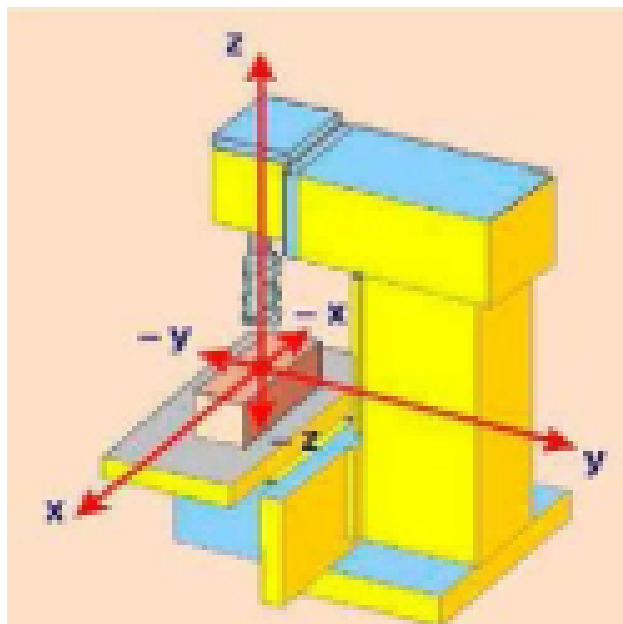
- Координатни систем и нулте тачке,
- Врсте управљања и
- Грађа и синтакса програма.

4.1 Координатни систем и нулте тачке

За дефинисање узајамних положаја алата и предмета који се обрађују употребљавају се координатни системи (слика 43). Најчешће се примењују правоугли и поларни координатни системи. Узајамни положаји алата и предмета дефинишу се у основи са два координатна система, координатним системом машине и координатним системом предмета. За координатни систем машине преко референтне и нулте тачке машине везан је положај алата, док се преко координатног система предмета дефинише геометрија коју треба обрадом постићи [17].

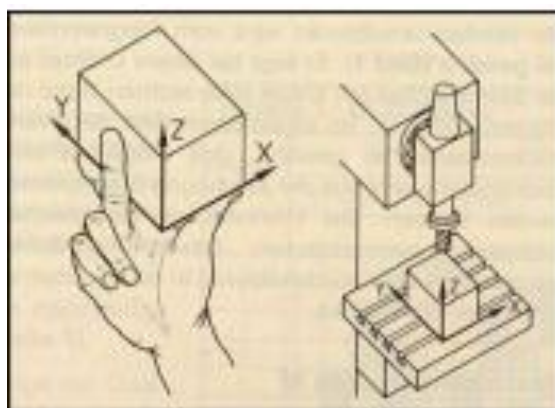
У обрадном процесу, као последица промене узајамних положаја алата и радног предмета, одвија се трансформација једног координатног система у односу на други.

Код CNC глодалица координатни систем је двоосни, тј. у оси обратка налази се оса Z, а управно на осу обратка оса X. Позитивна оса X може бити постављена у једном или другом смеру што зависи од положаја алата, односно револверске главе у односу на обрадак. Координате са негативним предзнаком (-x, -y) означају кретање алата према радном предмету, а позитивни предзнак значи одмицање алата од радног предмета. Код CNC глодалица координатни систем је троосни X,Y,Z (слика 46) [17].

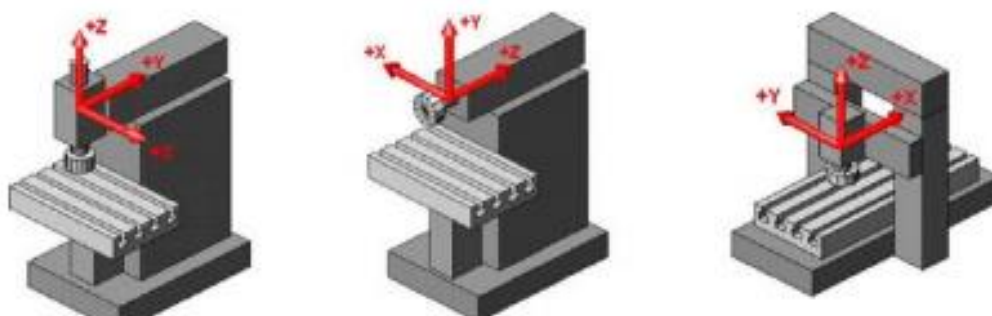


Слика 43. Координатни систем троосних CNC глодалица [17]

Одређивање позитивног смера координатног система одређује положај прстију десне руке (слика 44), односно палац показује у позитивном смеру осе X, кажипрст у позитивном смеру осе Y, док средњи прст показује позитивни смер осе Z [17].



Слика 44. Правило десне руке [17]



Слика 45. Неки примери одређивања оса [17]

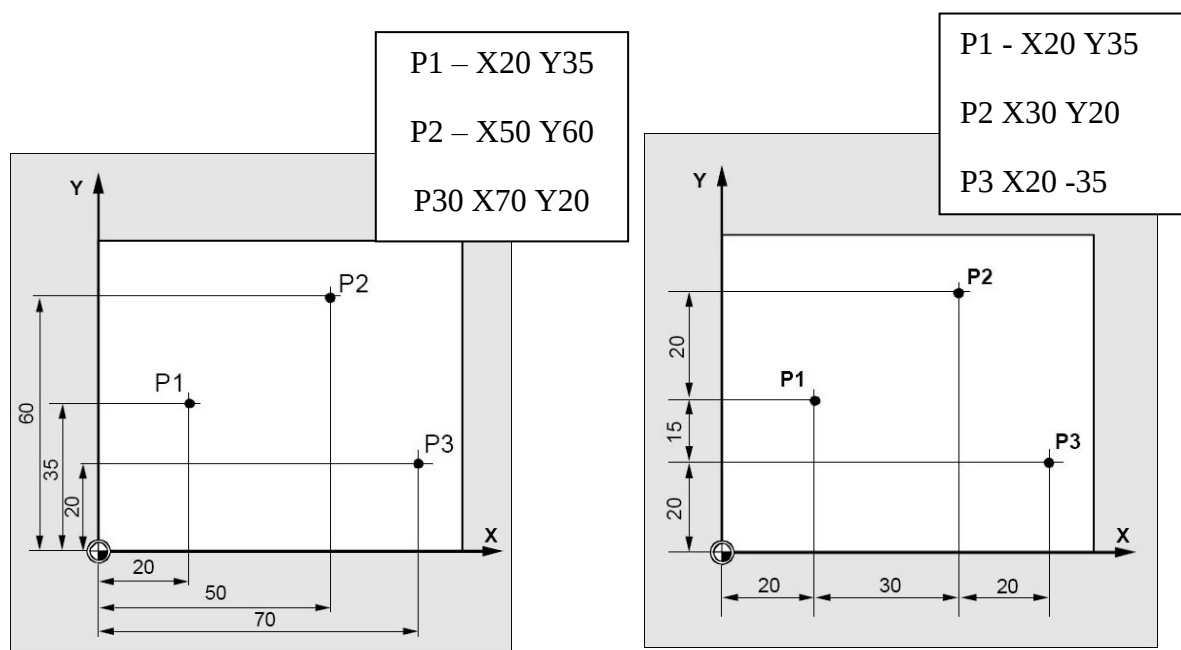
У процесу програмирања употребљавају се два система мерења: **апсолутни** и **инкрементални**.

Апсолутни координатни систем има једну фиксну нулту тачку у тачки (W), а координате појединих тачака значе удаљеност тих тачака од нулте тачке по вредности и предзнаку.

Код инкременталног координатног система мерења, координате идуће тачке се изражавају у односу на претходну тачку (increment - помак) где се налази координатни систем. Координатни систем је дакле променљив и налази се у почетној тачки одакле креће кретање [17].

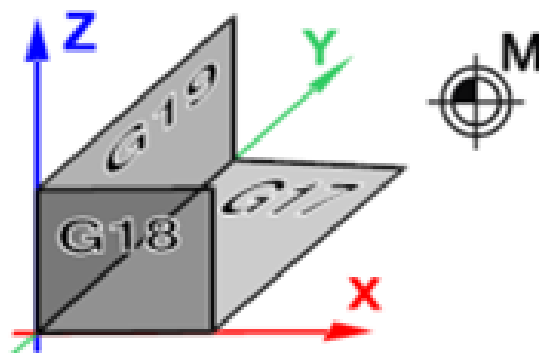
Код инкременталног система мерења збир координата тачака у једном затвореном циклусу једнак је нули. Оба претходно наведена система мерења имају своје предности и недостатке. Чешће се користи програмирање у апсолутном координатном систему, јер га је лакше схватити и мања је могућност грешака. Ипак у неким случајевима се користи и инкрементални систем као нпр. код израде подпрограма [17].

Пример апсолутног и инкременталног координатног система код глодања (слика 46).



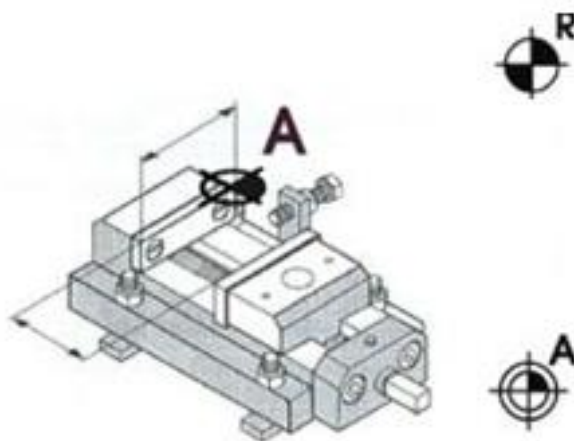
Слика 46. Аполутне (1) и инкременталне (релативне) димензије (2) [17]

Карактеристична тачка М лежи на горњој површини, у левом доњем углу радног стола машине (слика 47). Одређена је од стране произвођача машине. Представља координатни почетак за све остале координатне системе: стезног прибора, примерка, носача алата и резног алата.



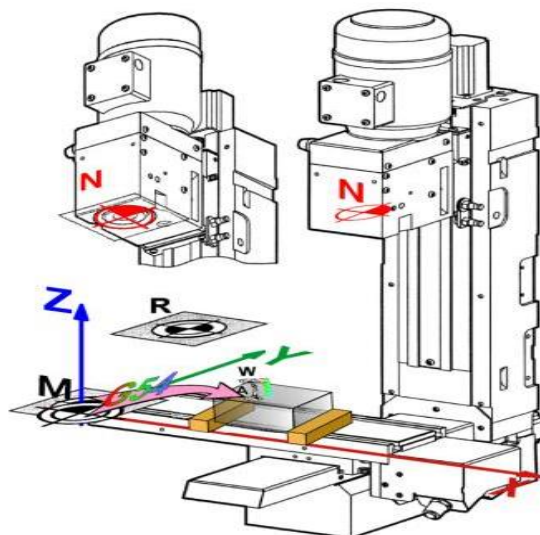
Слика 47. Карактеристична тачка М координатног система [18]

Карактеристична тачка лежи у подручју машине и врло тачно је одређена позицијама (микропрекидача или оптичким сензорима осетљивости мањој од 1 μm). Неопходна је за иницирање мерног система машине (тј. успостављање тачке М). Карактеристична тачка А представља чврсту – лако доступну и мерну тачку. Неопходна је за успостављање везе координатног система машине, стезног прибора и радног предмета (слика 48). Позиција јој је унапред одређена у G54 и треба је сматрати као сигуран параметар машине само до тада, док се не промени стезни прибор (радног предмета) или његова позиција на радном столу.



Слика 48. Карактеристична тачка R и M координатног система [18]

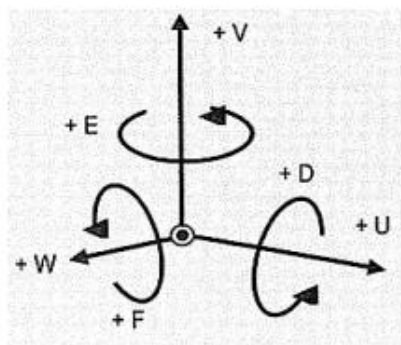
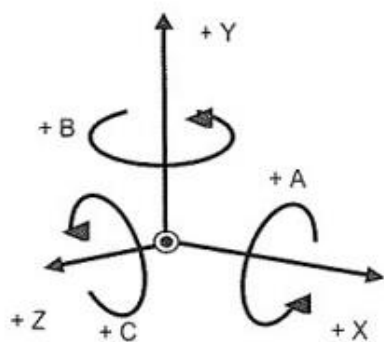
Карактеристична тачка N представља референтну тачку прихватног дела склопа носача алата (глодачке главе), а налази се у пресеку површине прихватног дела глодачке главе и осе обртања вртена.



Слика 49. Карактеристична тачка *N* координатног система [18]

Главне правоугле осе су обележене словима *X*, *Y*, *Z*. Главне осе ротације су обележене словима *A*, *B* и *C*, док су допунске осе ротације обележене са:

- *D, U* – допунске осе у смеру осе *X*,
- *E, V* – допунске осе у смеру осе *Y* и
- *F, W* – допунске осе у смеру осе *Z*.

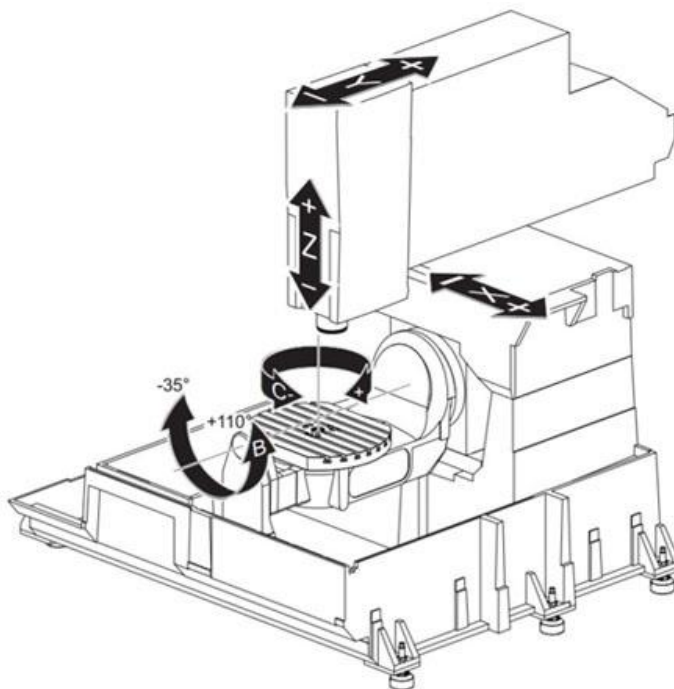


Слика 50. Координатни систем вишеосне *NC* машине [53]

Код постављања координатног система полази се од осе *Z* (слика 50):

- код машина са чврстим главним вртеном оса *Z* се подудара или је паралелна са осом главног вретена,
- ако је главно вретено нагнуто, али тако да је само у једном положају паралелно са неком од оса онда се та оса обележава са *Z*,

- ако је главно вретено нагнуто тако да може бити паралелно са више оса онда је оса Z она кој аје управна на површину стезања обрадка (радни сто),
- ако се главно вретено ротира око своје осе (паралелно са осом Z), она се она обележава са осом W,
- ако машина има више вретена, главно је оно које је управно на радни сто,
- ако машина нема главно вретени (ерозимат...) оса Z је управна на радни сто.



Слика 51. Шематски приказ оса на петоосној глодалици [59]

Оса X је паралелна са радним столом и увек је управна на осу Z, а смер се утврђује на следећи начин:

- ротира алат – ако је оса Z хоризонтална позитиван смер X осе је десно гледајући од главног вретена према обрадку, а када је оса Z вертикална онда је оса X позитивна када иде у десно и када гледа од вретена према обрадку (једновретене машине) , а негативан када иде удесно али се од вретена гледа према левом вретену (двовретене машине),
- ротира обрадак – оса X је управна у односу на обрадак, а позитиван смер осе X иде ос обрадка према носачу алата и
- машина без вретена – смер осе X се подудара са главним смером обраде.

Положај осе Y произилази из координатног система и положаја оса X и Z. Смерови ротационих оса A, B и C одређују се правилом десне руке.

Важно је знати да се овакав начин обележавања оса подразумева да сва кретања врши алат или носач алата. Ако кретање врши обрадак или носач, онда се основним осам додаје знак ('). Што значи да X постаје X', Y постаје Y' и Z постаје Z'. Позитиван смер се одређује супротно него кад кретање врши алат .

4.2 Врсте управљања

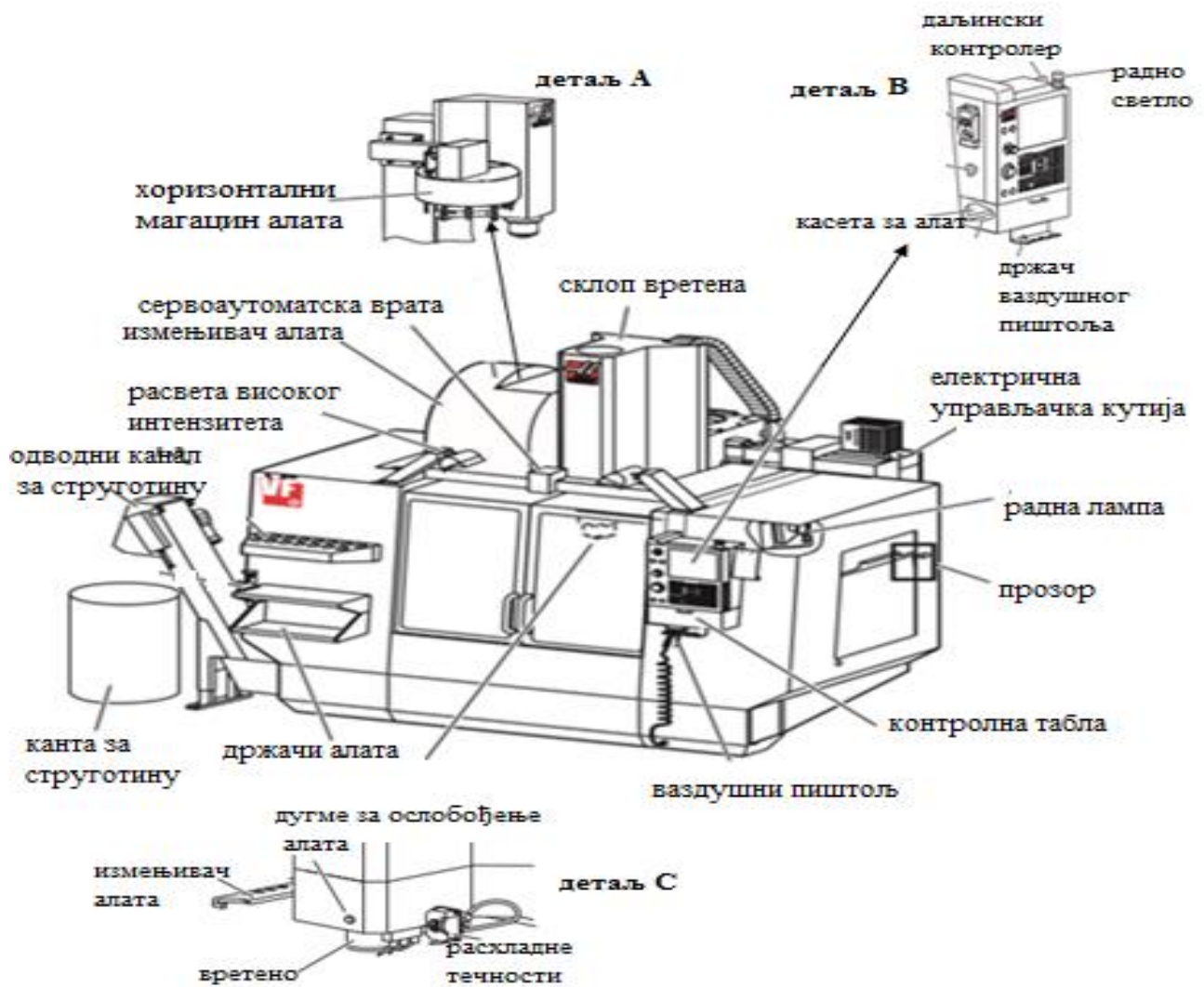
Врсте управљања говоре о могућностима нумерички управљаног обрадног центра да оствари потребну геометрију радног комада. Постоје три врсте управљања:

- Управљање point to point или позиционирање,
- Управљање по правцу (линијско управљање) и
- Контурно управљање.

Данас има смисла говорити само о контурном управљању, јер остале две врсте управљања не врше никакве уштеде у времену и цени, а носе веома велика ограничења.

5. Троосна глодалица

HAAS аутоматизација производи пуну линију CNC вертикалних и хоризонталних обрадних центара, CNC стругова и ротационих производа. Ова компанија производи различите специјалне машине, укључујући 5-осне глодалице, наменски прављене обрадне центре, алатне машине и порталне рутере. HAAS производи дају велику прецизност, прилагодљивост и трајност по приступачним ценама.



Слика 52. Основне компоненте вертикалне глодалице HAAS [10]

На слици 7 приказане су основни елементи механичког система HAAS при чему су издвојени детаљи машине који се не виде (слика 52). Детаљи који су увећани су:

- А - измењивач алата у стилу кишобрана
- В - управљачка кутија
- С - склоп главе вретена
- Једна од модела која се користи за обраду је машина HAAS VF3SS, то је вертикална 3-осна глодалица која има радни ход 12000 о/min. У односу на обичну

само се разликује по овом радном ходу, јер је он код обичних 7500 o/min. Величина машине је (1016 x 508 x 635 mm). Претежно се користи за израду делова од алуминијума, али понекад када је то потребно и за неке друге материјале.

Једна од модела глодалице јесте и HAAS Milling Machine VF10 (слика 53). Ова машина је погодна за обраду делове који су неких средњих величина односно да по оси X величина комада буде 1500 - 1700mm, по оси Y до 450mm и по оси Z 250mm.



Слика 53. Глодалица HAAS VF10 [50]

Суштинска функција техничког система је да оствари програмом задате наредбе, а технолошка функција обраде реализује се низом елемената извршних органа, прибора, алата, итд. Извршне органе техничког система покрећу погонски системи, на основу наредби добијених од управљачке јединице. Повратне информације о постигнутим положајима и текућим позицијама извршних органа управљачкој јединици шаљу мерни системи. Логичан распоред захвата је радни програм који обухвата све геометријске и технолошке информације потребне техничком систему за обављање радног задатка. Анализом техничке документације, утврђене су основне карактеристике и подаци о разматраном техничком систему [18].

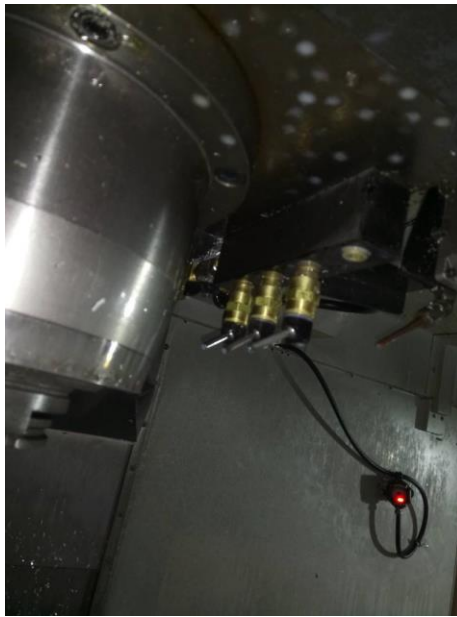


Слика 54. Вретено

Карактеристике машине	
Радни ход машине	
Оса X	3048 mm
Оса Y	813 mm
Оса Z	762 mm
Радни сто машине	
Дужина	3048 mm
Тежина	711 mm
Ширина канала	16 mm
Број Т профила	5
Максимална тежина на столу	1814 kg
Главно вретено	
Максимална ротација вретена	22,4 kW
Максимална број обртаја	12000 o/min
Максимални обртни момент	122Nm
Хлађење	ваздух/вода и уље (емулзије)
Носач алата	
Тип алата	SMTC
Махимальни пречник алата	152 mm
Махимальна тежина алата	5,4 kg
Остали подаци	
Проток ваздуха	6,9 bar
Капацитет расхладних течности	360 L

Табела 1. Карактеристике машине

На слици 55 је приказано довођење расхладне течности за алате.



Слика 55. Довођење средста за хлађење



Слика 56 . Добошаста магацин алата

Као што је и приказано на претходној слици 56 , ова машина поседује добошаста магацин алата који има 24 језгра.

Умеравање алата се врши помоћу индикатора (слика 57), а може и помоћу 3D тастера. Умеравање је веома битно јер уколико је неки алат лоше умерен углавном се деси то да ће се десити грешка при обради. Најједноставније речено, када се за обраду неког комада користи више алата најбоље је први алат поставити да буде основни и да

се у односу на њега изврше умеравања преосталих, јер када имамо алате од T1 – T10 велика је могућност да ће грешка настати.



Слика 57. Умеравање алата помоћу индикатора (еталона)

6. Петоосна глодалица

Једна од многих петоосних обрадних центара јесте *SAHOS POWER TURBO* петоосна глодалица која се користи за обраду дрвета, PVC-а али може се користити и за обраду алуминијума (слика 58). Приликом обраде алуминијума морају се користити одговарајући режими. То првенствено зависи од самог материјала који се обрађује и алата. Јер то је у основи најважније приликом обраде. У случају погрешног одабира режима долази до појаве вибрације, оштећења алата што му не продужује век трајања и др.

Центар за глодање *POWER TURBO* је машина нове генерације која је развијена са усмеравањем на ефикасну, економску, безбедну и комфорну обраду ваших производа. Центар за глодање *POWER TURBO* је прецизна нумерички управљана машина намењена за обраду глодањем и бушењем.



Слика 58. Унутрашњост петоосне глодалице *SAHOS POWER TURBO*

На слици 58 је приказана унутрашњост саме машине при чему је ход машине по X оси -12m, по Y оси – 5m и по Z оси - 1.7m.

По својој природи машина је безбедна, код ње може доћи до оштећења или до настанка опасне ситуације у случају неисправног коришћења или непоштовање одредбе које произилазе из датих докумената који су дати за коришћење. Пре транспорта

машине, манипулација ње и њених делова као и њено пуштање у рад неопходно је детаљно упознати се са упутством за опслуживање.

Главно вретено

Вретено HS 678/HS 778 за енкодере за резање навоја и директно мерење на оси A/C. Има могућност хлађења алата кроз вретено помоћу уља или неке одговарајуће течности (слика 59). Ова глава има стандардне пнеуматске кочнице на обе осе, а могу бити са хидрауличним или електромагнетним кочницама.

HS 678/HS 778 (модел ES 510)		
Радни ход A – осе	°	±105 max
Радни ход C – осе	°	±270max
Максимални посмак A/C осе	°/min	4200/5400
Максимална брзина кретања	rpm	0 – 24000
Снага	kW	42 (55)
Обртни момент	Nm	67 (88)
Држач алата	HSK	A63

Табела 2 . Карактеристике вретена



Слика 59. Врсте главног вретена [45]

Хлађење главе машине врши се помоћу антифриза и климе (слика 55). Постоје разводне цеви кроз које вода пролази и хлади се како не би дошло до оштећења компоненти а највише лежајева који су веома скупи и зато се мора водити рачуна.

Врсте радних столова

Радни сто од алуминијума

Универзални сто од алуминијума са навојем од М10 и распону 100x100 mm је погодан за машинску обраду пастике, композитних материјала и легура алуминијума. (Слика 60)



Слика 60. Сто од алуминијума [45]

CAST IRON радни сто

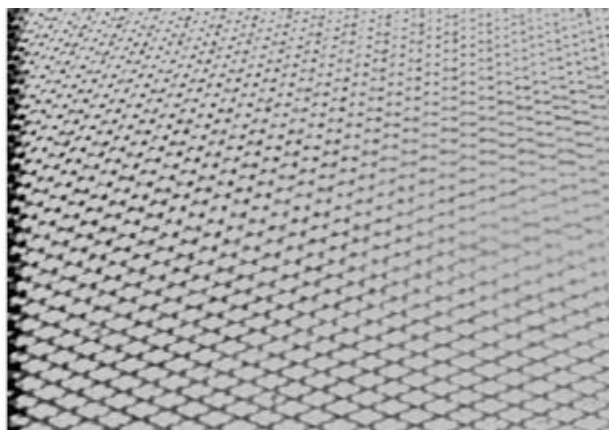
Универзални радни сто од ливеног гвожђа са Т-слотом за стандардне Т навртке, који се погодни када се врши обрада материјала од легуре алуминијума. Поред тога омогућава брзо и прецизно стезање различитих стезних уређаја погонских машина, грамофона и сл (слика 61) При коришћењу овог радног стола гарантује се добијање комада који има добру равност, прецизност и дуготрајну стабилност задржавања свог облика.



Слика 61. Сто CAST IRON [45]

Вакуумски сто КАРТИТ

Вакуумски сто се може користити где год преовлађује машинска обрада плочастог материјала који се могу спајати помоћу усисних уређаја или обликованих шаблона. Интегрисан вакуум, квадратна мрежа са одговарајућом инсталацијом, монтажним навојем М8 за причвршћивање специјалних уређаја омогућавају кориснику да реше сецање било ког комада.



Слика 62. Вакуумски сто [45]

Магацин алата

Приказ магацина алата као и његова замена дате су у следећем тексту. Постоје два начина замене алата први начин је ручна промена алата и она није толико пожељна али то је понекад неизбежно и тада процес траје дуже. Други начин је аутоматка промена алата која је погодна у сваком случају.

Технички параметри		
Тип магацина		Ротациони диск
Број позиција		12
Максимални пречник алата	mm	190
Максимална тежина алата	kg	5
Максимална тежина свих алата	kg	30
Време промене алата	s	10

Табела 3 . Опис магацина [45]

Сама машина поседује 4 магацина. Два магацина су од по 12 алата у себи, а преостала два су за по један алат и то углавном тестера чији је пречник Ø500. Што значи да 26 алата може бити у магацинима и преузима их машина аутоматски а преостали алати се убацују ручно. Приказано је на следећим сликама аутоматско преузимање и ручно.



Слика 63. Ручно постављање алата

Ручно позивање алата јесте то да оператер подеси координате како би машина дошла у одговарајућу позицију односно позицију најпогоднију за самог оператера. То значи на да је доведе до неког најбезбеднијег места како не би дошло до повреда. Уколико се у неком програму тражи рад неког алата, а притом тог алата нема ни у једном од магацина онда је потребна ручна замена. (Слика 63)

Аутоматско позивање алата (слика 64) је такво да машина аутоматски чита из програма који алат је потребно преузети и она тачно зна у ком магацину се одређени алат налази. Ово значи да је у управљачкој јединици у посебном прозору за алате унет распоред алата и у којем магацину се налазе, као и њихови називи, тако да машина помоћу програма који је програмер направио учита који алат он жели и она креће до датог алата и узима га. Програмер је такође дужан да списак алата које он жели да користи приликом обраде унесе исто онако како је написано у самој управљачкој јединици јер другачије она неће знати који алат је потребан.



Слика 64. Аутоматско позивање алата и магацин са 12 алата

На пример уколико је у машини алат број 5 уписан као ГЛОДАЛО 50 и у програму мора исто тако писати, јер ће у супротном машина јавити грешку.



Слика 65. Магацина са једним алатом и алати ван машине

На слици 65 приказан је магацин са тестером Ø500 (лево), а на десној слици се налази алата који је ван машине и који се узима накнадно уколико је потребан за обраду. Ови алати који се налазе ван магацина су углавном алати који се не користе толико често, па како не би заузимали места у магацину стоје ван њега.

Управљачка јединица

Машина је углавном опремљена и достављена са HEIDENHAIN iTNC530 или SIEMENS SINUMERIK 840D SL контролним системом (слика 66). Избор који ће се систем користити зависи од саме фирме која је купила машину или од способности самог оператора машине.



Слика 66. HEIDENHAIN iTNC530 и SIEMENS SINUMERIK 840D управљачке јединице

Ова машина користи управљачку јединицу SIEMENS SINUMERIK 840D (слика). У следећем тексту биће појашњено шта значе одређени тастери и који се највише користе. (Слика 67)



Слика 67. Тастери на управљачкој јединици



- Ручни мод (писање кода, ручно убацивање алата, позивање машине)



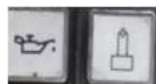
- Команда за убацивање програма у машину или само бирање из меморије (убацивање преко USB-a, floppy disk-a...)



- Враћање на почетни екран где год да се тренутно налазите



- Списак алата, њихова дужина, пречник као и сам координатни систем (тренутне вредности X, Y и Z) у односу на машинску нулу.



- Подмазивање и хлађење



- Кочнице за А и С осу



- Ход машине (појачавање и смањење помоћу тастера плус и минус)



- Осе А и С; Број обртаја



- M07 (Хлађење кроз алат); M08 (Директно хлађење алата) и последњи тастер представља отварање и затварање врата



- Полуавтоматски мод (писање кратког програма за бушење отвора; за обарање ивицапозивање неке од функција ...)

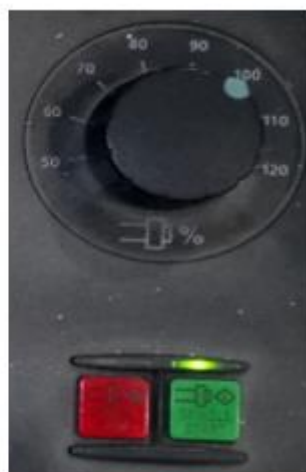


- рестартовање машине; покретање програма

На слици 67 налазе се команде са управљачке јединице које служе за посмак и број обртаја, односно њихово смањење и увећање. Јер их је понекад потребно регулисати а то све зависи од алата који тренутно врши обраду и од режима које је сам програмер задао.



Подешавање посмака
(смањивање и
појачавање)

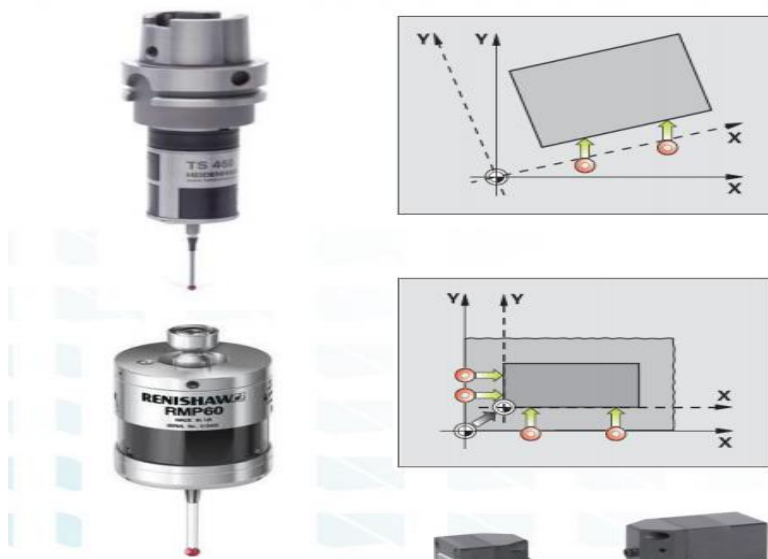


Подешавање броја
обртаја (смањивање
и појачавање)

Слика 67. Команде за појачавање/смањивање посмака/броја обртаја

Touch probe (3D Тастер) и уређај за умеровање алата

Машина може бити опремљена са алатом који служи за мерење дужине и пречника алата и контролног система.



Слика 68. Touch probe (3D Тастер) [46]

3D тастер (слика 68) је врста алата која је веома посебна у машинској обради поготово код глодалица, јер помаже у томе да се смање грешке, смањи време прорачунавања могуће грешке како би се одмах реаговало. Тачност самих димензија. Мерење је могуће извршити ручно или аутоматски (сам програмер како је задао да он изврши мерење самог комада).

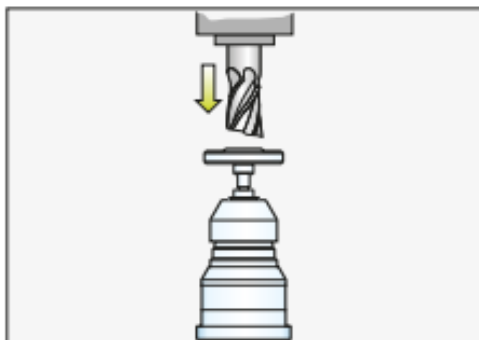
Овај уређај омогућава то да уколико је припремак (профил) крив изврши мерење и да неку средњу вредност равност, може да умерова алате, да изврши задавање нула, дигитализацију или сам прегле 3D модела.

Прецизно паравнавање је веома важно за делимично обрађене предмете како и се осигурао да постојеће референтне површине буду у прецизно дефинисаној позицији (слика 69)



Слика 69. Уређај за мерење пречника и дужине алата [46]

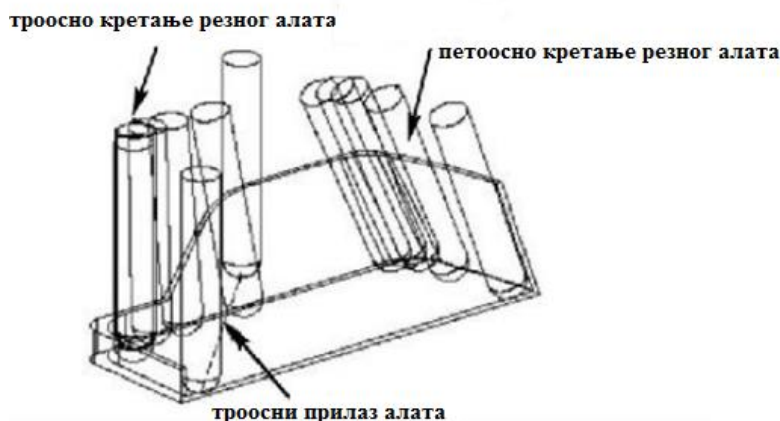
Константно висока прецизност обраде захтева прецизно мерење алата, ТТ (tool touch) инструменти могу да мере скоро сваки тип алата на машини. На слици 69 је приказан уређај који показује који је пречник и која је дужина самог алата. На слици 69 десно је приказано то да мери сам пречник алата. Алату се зада приближна вредност нпр. уколико је пречник алата $\varnothing 25$ онда се вредност алата зада мало више како би сам алат полако пришао уређају и полако се ротирао, након тога сам уређај избаци вредност пречника алата. Што се тиче саме дужине алата мерење је такво да алат долази одозго (слика 70), а принцип мерења је исти као и за пречник.



Слика 70. Мерење дужине алата [46]

7. Поређење троосних и петоосних глодалица

Питање које се првенствено намеће у вези петоосне обраде на CNC (Computer Numerical Control) машинама је: „Зашто нам је потребна машинска обрада на овако компликованим и веома скупим алатним машинама?“



Слика 71. Троосна и петоосна машинска обрада [48]

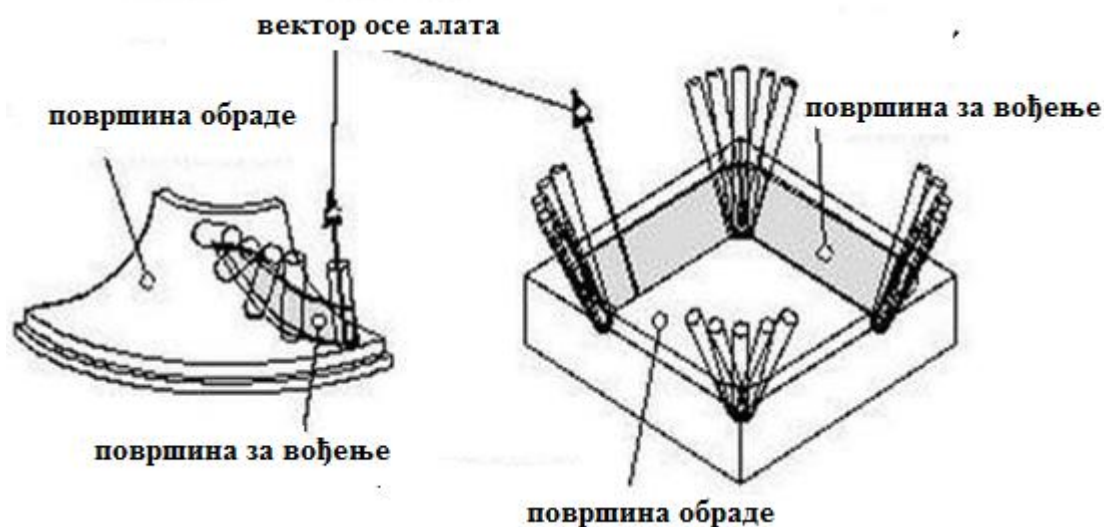
Троосном обрадом долази до контакта резног алата и обрадка врхом алата тј. тачком на оси ротације глодала. У тим тренуцима глодало гњечи материјал. Радијус вектор тачке контакта је нула па је обимна брзина једнака нули без обзира на број обртаја глодала. Глодало врши велики притисак на радни предмет и деформише га и зато је неопходно петоосно глодање.

Генерисање путање алата

Пројектовање технологије за нумерички управљане машине алатке представља процес генерисања података за обраду радног предмета. Активности које чине процес пројектовања технологије дели се на планирање технолошког поступка, генерисање путање алата и превођење података у облику који је разумљив управљачкој јединици машине алатке. CAD/CAM системи омогућили су да се CNC програми креирају директно на основу геометријског модела радног предмета.

На основу геометријског модела генерише се путања алата за троосно, четвороосно и петоосно глодање. Основи циљ је одређивање положаја алата у односу на контуру или површину која се обрађује. Алгоритам добијања положаја алата у односу на предмет обраде своди се на одређивање положаја алата у односу на површину која се обрађује (Part Surface) и површину која служи за вођење (Drive Surface). Након тога се одређује однос резног алата према површину која служи као контролна (Check Surface).

На основу ове три површине тачно је одређен положај врха у простору и вектор осе резног алата.



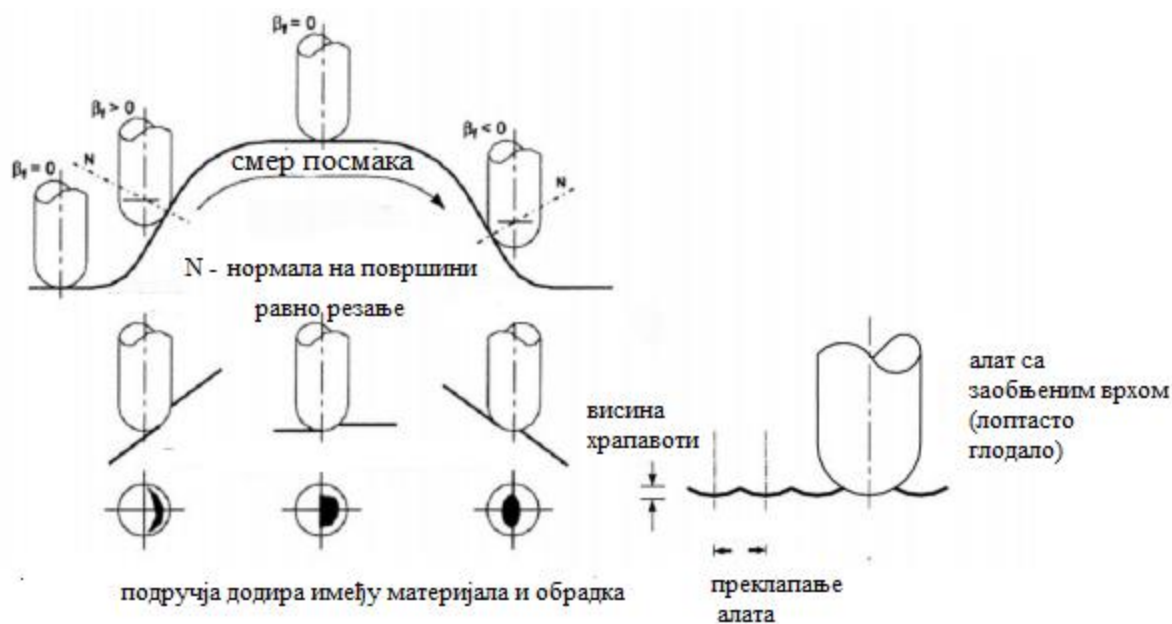
Слика 77. Вођење резног алата у простору [48]

У случају обраде компоненти неправилних површина које приликом коришћења троосне обраде захтевају по неколико стезања како би се довеле до жељеног израдка, увођење петоосне обраде на место троосне показује недостижне предности. Предности се још више уочљивије уколико се на таквим компонентама додатно захтева и бушење рупа на површини. У случају троосне обраде неравних површина, на површинама увек остаје додатак за ручну завршну обраду. Петоосна обрада даје већи квалитет обрађене површине. Квалитета површине се добија правилним одабиром кретања и оријентације алата приликом обраде. Уколико се ови параметри добро поставе у већини случајева додатна ручна обрада није потребна. Главна предност алатних машина са више оси је у њиховој флексибилности односно могућности позиционирања алата у жељеној тачки на обратку. Што више оси кретања глодалица има то је и већа могућност израде геометријски захтевнијих профила (нпр. лопатице турбина).

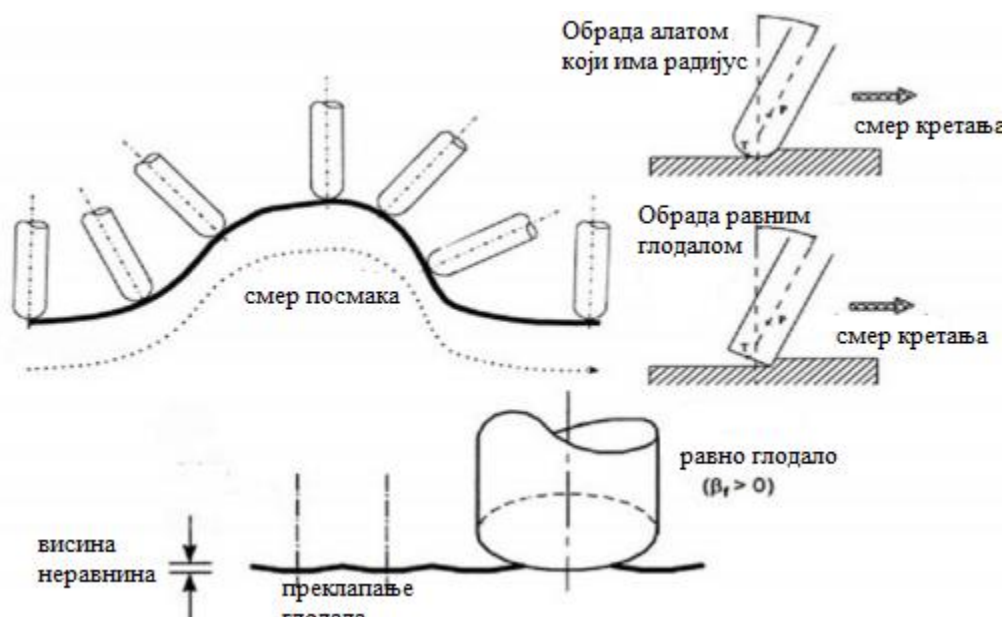
Пет оси на глодалици (у односу на три класичне) могуће је постићи на неки од ових начина [55]:

- фиксним обратком и ротацијом у две осе алата,
- закретањем једне од оси алата и додатне осе стола (окретање обратка),
- фиксне осе алата (3 осе) плус две додатне осе добијене ротацијом стола.

На следећим сликама приказано је каква је обрада на троосним глодалицама а како на петоосним.



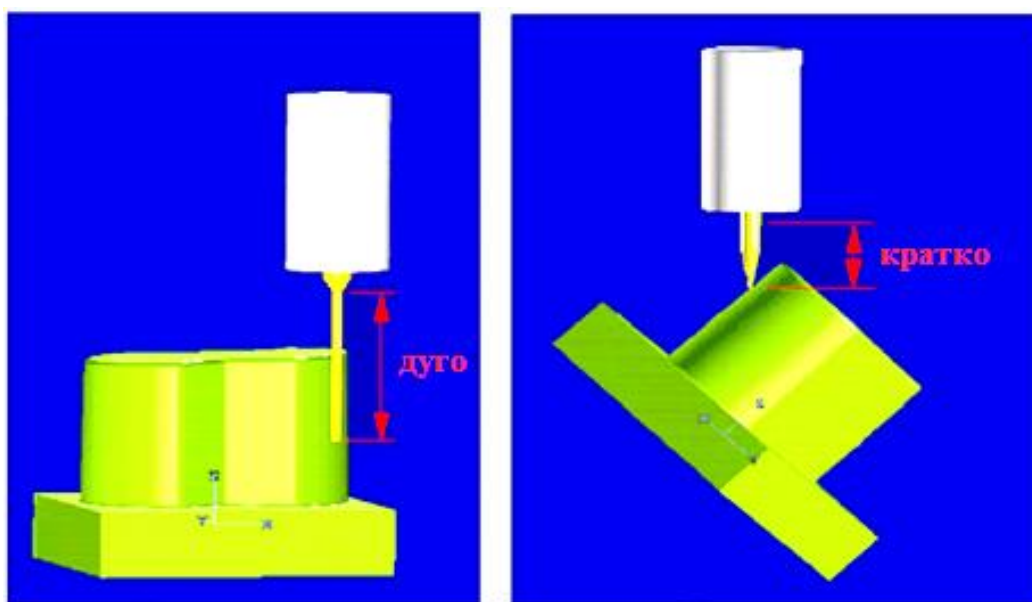
Слика 72. Путања алата код троосне обраде [48]



Слика 73. Путања алата код петоосне обраде [48]

Највећи недостатак примене петоосних машина је то што се због већег броја веза и зглобова између покретних делова може појавити смањена крутост. Иако конструктори стројева улажу велике напоре за отклањање ових недостатака, код преносних механичких делова појава зрачности између компонената је увек присутна [55].

Код употребе петоосне обраде постоји могућност коришћења широког спектра алата. Тако се код обраде неравних површина могу уз алате са обликом врхом користити алати са равним врхом. У том случају је могуће вршити обраду са мањим нагибом алата према обрађеној површини што даје могућност обраде с већим толеранцијама на обрађеној површини. Квалитет обрађене површине приликом употребе троосне и петоосне обраде долази до изражаја и код контурног глодања. Код троосне обраде дужина алата увек мора бити већа од висине обрађиваног профила. Код виших профила је неповољно јер се значајно смањује крутост алата, што као резултат даје лошији квалитет обрађене површине. Обрада оваквих профила употребом петоосних машина је погоднија, јер се због произвољног одабира оријентације алата према обрадку може користити пуно краћи алат који има знатно већу крутост [55] .



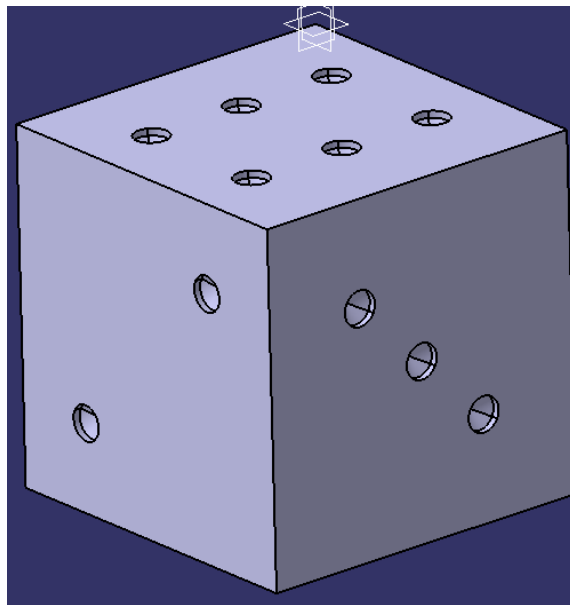
Слика 74 . Употреба алата код троосног и петоосног глодања [55]

Предност петоосне обраде над троосном обрадом на местима где је троосна обрада могућа су следеће:

- смањење простора и броја машина, као и помоћних делова једнаких резултата,
- повећање производности како смањењем броја стезања, тако и смањење броја потребних операција,
- смањење броја и трајања – обрадних радњи постизањем квалитетне обрађене површине уз мали број стезања ,
- смањење времена и трошкова који се појављују приликом контроле квалитета и др.

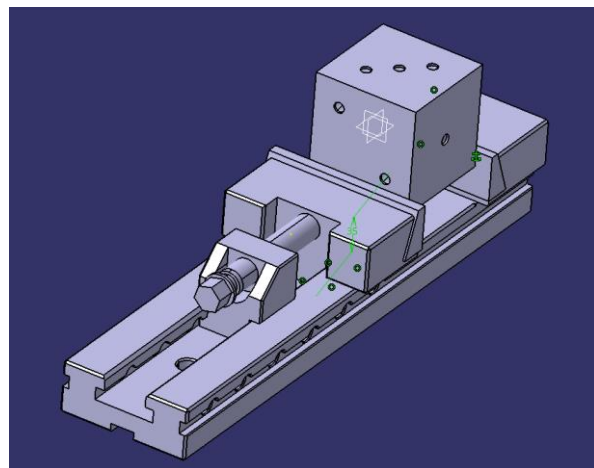
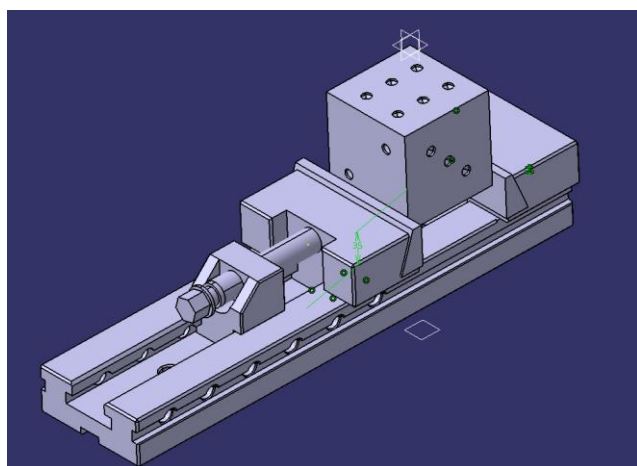
8. Стезање на троосној и петосној глодалици (пример)

Као пример поређења дата је коцка и биће приказано стезање на троосној и петосној машини (слика 75).



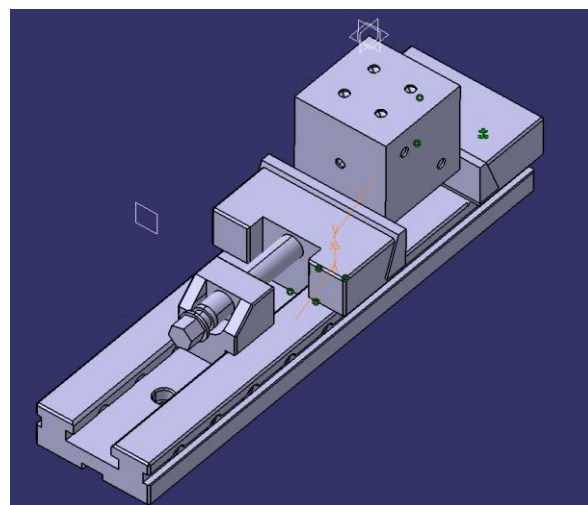
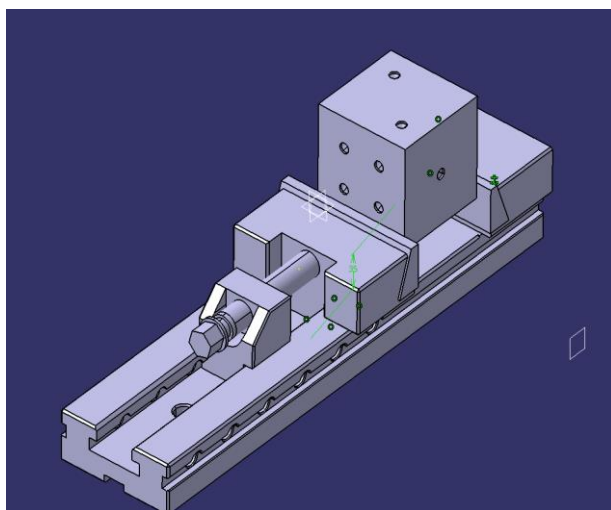
Слика 75 . Коцкица

Приликом обраде на троосној глодалици била су потребна 6 стезања што је приказано у даљем раду. Оно што је велики губитак при обради на троосној машини јесте то што се сваки пут коцка мора окретати како би се свака површина обрадила.



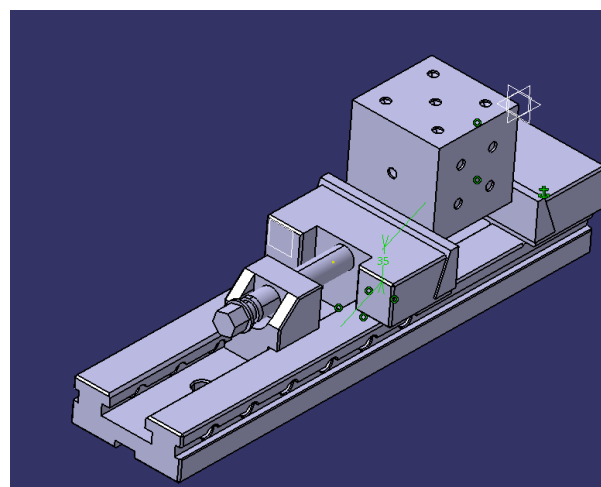
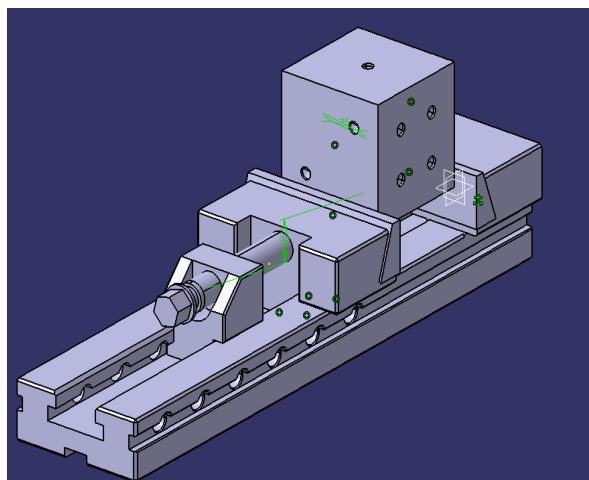
Слика 76. Прво стезање (лево), друго стезање (десно)

На слици 77 је приказано 3 и 4 стезање.



Слика 77 . Треће стезање (лево), четврто стезање (десно)

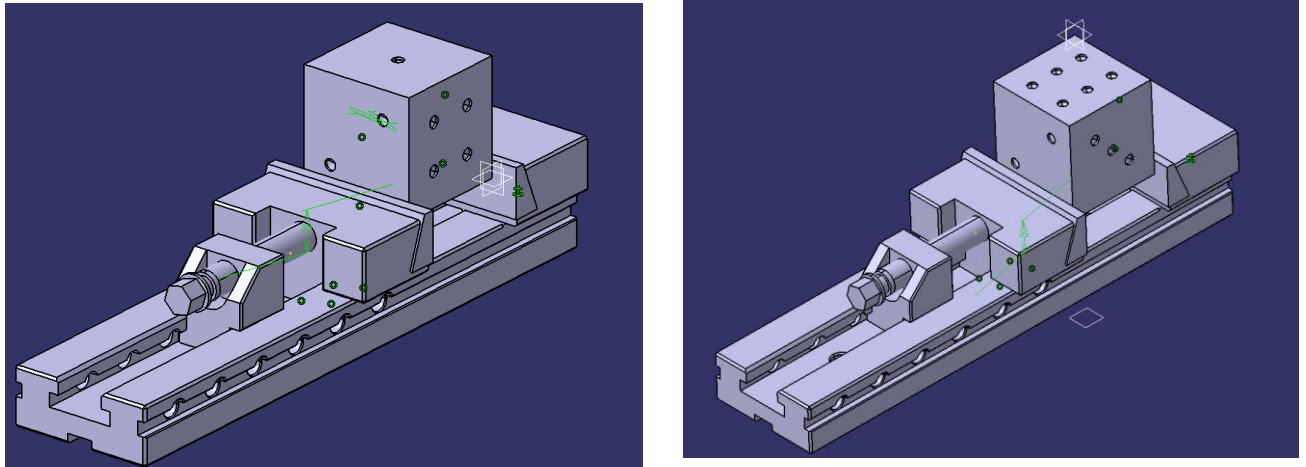
И на самом крају, на слици 78 су приказана последња два стезања на тооосној машини.



Слика 78. Пето стезање (лево), шесто тезање (десно)

Из овог се може закључити да је обрада оваквог комада погоднија за обраду код вишеоосних машина, јер само кретање одузима доста времена, оператер мора за свако стезање доделити нуле комаду које је задао програмер, и поред губитка толиког времена велики је губитак новца. Као и губитак времена за програмера који мора сваки пут да направи нови програм са свако стезање појединачно.

На слици 79 су приказана само два стезања која су извршена на петоосној глодалци.



Слика 79 . Прво стезање (лево), друго стезање (десно)

Долази се до закључка да је петоосна глодалица боља за обраду овог комада, али само уколико је то серијска производња. Јер стајање једне велике машине је губитак новца.

У следећем тексту дат је код генерисан на троосној и петоосној глодалици. Коришћена је HAAS- ова управљачка јединица и Siemens sinumeric 840d управљачка јединица.

```
%
O1000
N10 G54 G90 G98
( MANUFACTURING PROGRAM.1 )
( PART OPERATION.1 )
( OPERATION NAME : TOOL CHANGE.1 )
( START GENERATION OF : TOOL CHANGE.1 )
( TOOL DATA : BURGIJA D1 )
N20 T1 M6
N30 M8
( END OF GENERATION OF : TOOL CHANGE.1 )
( OPERATION NAME : DRILLING.1 )
( START GENERATION OF : DRILLING.1 )
N40 G0 G40 X50. Y50. S2000 M3
N50 G43 Z250. H1
N60 Z112.
N70 Z102.
N80 G1 G94 Z98. F150.
N90 Z102. F1000.
N100 Z112.
N110 Z100.
( END OF GENERATION OF : DRILLING.1 )
N120 M5
N130 M30
N140 M2
N150 M30
%
```

Слика 80. NC код генерисан помоћу HAAS- ове управљачке јединице

```
N35 ; *      T O O L      L I S T      *
N50 ; *      B U R G I J A 10      *

N1 DEF INT COOSYS_NUM
N2 G40 G54 G64 G17 G90
N3 COOSYS_NUM=$P_UIFRNUM+1
N4 ; MANUFACTURING PROGRAM.1
N5 ; PART OPERATION.1
N6 ; OPERATION NAME : TOOL CHANGE.2
N7 ; START GENERATION OF : TOOL CHANGE.2
N8 ; TOOL DATA : B U R G I J A 10
N9 T="BURGIJA 10"
N10 M6
N11 D1
N12 SOFT
N13 CYCLE832(0.02,_FINISH,1)
N14 M38
N15 G[8]=COOSYS_NUM
N16 TRAOFF
N17 G0 Z=($MA_POS_LIMIT_PLUS[AX3]-($AA_IM[Z]-$AA_IW[Z1]))-1)
N18 A0 C0
N19 G97 S100 M3
N20 ; END OF GENERATION OF : TOOL CHANGE.2
N21 ; OPERATION : DRILLING.1
N22 FFWON
N23 TRAORI
N24 ; OPERATION NAME : DRILLING.1
N25 ; START GENERATION OF : DRILLING.1
N26 G97 S10000 M3
N27 G0 X0 Y0 Z200.
N28 G0 X50. Y50. Z200.
N29 G0 X50. Y50. Z200.
N30 G0 X50. Y50. Z13.
N31 G0 X50. Y50. Z13.
N32 G0 X50. Y50. Z3.
N33 M8
N34 G94 G1 X50. Y50. Z-4.887 F120.
N35 G0 X50. Y50. Z3.
N36 G0 X50. Y50. Z200.
N37 ; END OF GENERATION OF : DRILLING.1
N38 delete_frame
N39 ; OPERATION : DRILLING.2
N40 FFWON
N41 ; OPERATION NAME : DRILLING.2
N42 ; START GENERATION OF : DRILLING.2
N43 G97
N44 G0 X50. Y50. Z200.
N45 G0 X80. Y160. Z200.
%
```

Слика 81 . NC код генерисан помоћу Siemens sinumeric 840d управљачка јединица.

9. Закључак

Као што је већ речено у раду, ЦНЦ глодалице су данас веома битне у машинској обради делова. Развојем концепта нумерички управљаних машина алатки формирају се машински системи код којих се човек ослобађа делимичног трошења енергије, простије активности управљања, позиционирања алата, ручног вођења алата по сложеној контури, прелаза са једне на другу неправилну контуру површине и других активности које су аутоматизоване.

Управљачка јединица је најважнији али и најсложенији део CNC машине. Има задатак да прими улазне информације, изврши њихову обраду и омогући добијање одговарајућих излазних информација.

Карактеристике управљачке јединице дефинишу флексибилност, поузданост и перформансе CNC машине. Основни задатак управљачке јединице је да управља радом органа машине (путањом - без обзира ко врши кретање и машинским функцијама).

Тема рада била да се упореди стезање неког профила на троосној и на петоосној глодалици, долазимо до закључка да је то боље на петоосној јер је време трајања обраде комада веома кратко и велика је уштеда у томе као и у самом новцу.

Међутим при избору петоосних алатних машина свакако најважнију улогу има обрадак и његове карактеристике попут: величине, геометрије, масе, материјала, као и количине и карактеристике које требају бити обрађене. На даље битну улогу имају варијације у конфигурацији делова, разлике у величини делова, појединачне карактеристике које се обрађују и локација тих карактеристике на сваком појединачном делу, као и толеранције на обрађеној површини. Све те карактеристике је потребно добро размотрити при избору алатне машине.

10. Литература

- [1] Блажевић. З, Специјалистички рад "CNC стројеви", Техничка школа у Вировитици, (01.02.2017.)
- [2] <https://projektovanjets.wordpress.com/2013/11/23/32/>, (01.02.2017.)
- [3] <http://www.ataps.no/>, (01.02.2017.)
- [4] <https://marijaivanovic.wikispaces.com/Razlike+izme%C4%91u+klasi%C4%8Dnih+i+CN+C+alatnih+strojeva>, (01.02.2017.)
- [5] <http://www.ake-djantar.com/cnc-obradni-centar-uniteam-easy-w-cnc-masina-za-drvo/>, (01.02.2017.)
- [6] <http://www.technologystudent.com/equip1/hmill1.htm>, (01.02.2017.)
- [7] <https://www.educationdiscussion.com/vertical-milling-machine/>, (01.02.2017.)
- [8] <http://www.slideshare.net/miroslavastevanovic/glodanje>, (01.02.2017.)
- [9] https://bs.wikipedia.org/wiki/CNC_ma%C5%A1ina, (02.02.2017.)
- [10] <https://diy.haascnc.com/vertical-mill-overview>, (02.02.2017.)
- [11] http://www.haascnc.com/mt_spec1.asp?id=VF3SS&webID=SUPER_SPEED_VMC#gsc.tab=0, (03.02.2017.)
- [12] http://www.masinopak.co.rs/proizvodi_cnc_glodalice_galerija_1.htm, (05.02.2017.)
- [13] <http://www.graviranje.rs/graver/index.html>, (05.02.2017.)
- [14] <http://www.promega.rs/Proizvodi/CNC-Obrada-Metala>, (05.02.2017.)
- [15] <https://www.machineseekeer.rs/Za-udaranje-CNC-ma-ina-TRUMPF-Trumatic-500/i-3106521>, (07.02.2017.)
- [15] <http://www.slideshare.net/DebiprasadSena/recent-advancement-of-cnc-technology>, (17.02.2017.)
- [16] Чампар.С, Дипломски рад " Специфичности CNC програмирања", Факултет инжењерских наука у Крагујевцу , 2011
- [17] <http://www.chensound.com/chain-tool-magazine/40-2.html>, (17.02.2017.)
- [18] Ђорић.В, Дипломски рад, " Програмирање HAAS Toolroom Mill TM-1HE ЦНЦ глодалице у „Г Коду“, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, 2011
- [19] <http://www.usedequip.com/q/nlist/=,000682,20263868>, (17.06.2017.)

- [20]<http://millingaccessories.biz/2017/02/09/2006-haas-ec-300-cnc-horizontal-mill-12-dual-pallet-4th-axis-12000-rpm-30hp/>, (17.06.2017.)
- [21]http://cent.mas.bg.ac.rs/nastava/ma_bsc/pdf/hmc500_opis.pdf, (17.06.2017.)
- [22]<http://www.directindustry.com/prod/kafo/product-26338-231137.html>, (17.06.2017.)
- [23]http://www.kafo.com.tw/_english/01_product/05_prodetail.php?fid=2&pid=1, (17.06.2017.)
- [24] <http://prodajacncmasina.co.rs/mas.html>, (17.06.2017.)
- [25]<https://www.scribd.com/doc/57986455/PROGRAMIRANJE-NUMERI%C4%8CKI-UPRAVLJANIH-GLODALICA-POMO%C4%86U-CAM-SISTEMA>, (17.06.2017.)
- [26]<https://www.scribd.com/doc/17241309/OBRADA-METALA-REZANJEM>, (20.02.2017)
- [27]<http://docslide.pl/documents/maturalni-rad-glodanje.html>, (20.06.2017)
- [28]<https://www.fsb.unizg.hr/kas/ODIOO/Glodanje%20ooc.pdf>, (20.06.2017)
- [29]<https://prekucavanje.files.wordpress.com/2012/10/specijalisticki-rad-primer.pdf>, (20.06.2017)
- [30]Тадих. Б, Алати и прибори-скрипта, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу, 2008
- [31]http://www.minprom.gov.by/eng/fair_products?page=0&ItemID=53706&SubSection_ID=1.12.04, (20.06.2017)
- [32](<https://prekucavanje.files.wordpress.com/2012/10/specijalisticki-rad-primer.pdf>), (20.06.2017)
- [33](<http://mfbl.com/upload/documents/Dokumenti/Predmeti/Obradni%20sistemi%20za%20obradu%20rezanjem/Sredanovic%20PREZENTACIJE%20SA%20VJEZBI%20IZ%20OBRADNIH%20SISTEMA%20ZA%20OBRADU%20REZANJEM.pdf>), (20.02.2017)
- [34] <http://amo-gmbh.com/en/products/angle-measuring-systems/absolute-angle-measuring-system/>, (21.06.2017.)
- [35]<http://www.directindustry.com/prod/givi-misure/product-15165-623648.html>, (21.06.2017.)
- [36]<http://www.directindustry.com/prod/engrenages-hpc-ct-meca/product-101389-1694846.html>, (21.06.2017.)

- [37]<http://www.directindustry.com/prod/riello-macchine-transfer/product-17868-481337.html>, (22.06.2017.)
- [38] <https://simapastor.files.wordpress.com/2015/09/02-alati-i-pribori-prezentacije-sa-vezbi-b-srdanovic-2014.pdf>, (22.06.2017.)
- [39] (<https://www.indiamart.com/tool-matic-india/milling-machine-tool.html>) , (22.06.2017.)
- [40](https://zlatigero.files.wordpress.com/2013/08/u-2_2010_master_rad.pdf), (22.06.2017.)
- [41](<http://www.directindustry.com/prod/renishaw/product-5200-1324341.html>, (22.06.2017.)
- [42] Ђекић А. , дипломски рад, Крагујевац
- [43]<http://zoranpericsplit.weebly.com/uploads/1/2/4/9/12491619/203973857-glodanje.pdf>, (22.06.2017.)
- [44] <http://www.CNCInformation.com>, (22.06.2017.)
- [45]https://www.sahos.cz/wp-content/uploads/2015/06/POWER-TURBO_EN.pdf (15.07.2017)
- [46]https://www.heidenhain.dk/fileadmin/pdb/media/img/1113984-22_Touch_Probes_en.pdf (10.08.2017)
- [47]http://repozitorij.fsb.hr/2495/1/18_09_2013_ZAVRSNI_RAD.pdf (12.08.2017.)
- [48]<http://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/0040-2176/2014/0040-21761405781Z.pdf> (18.08.2017.)
- [49]http://repozitorij.fsb.hr/2495/1/18_09_2013_ZAVRSNI_RAD.pdf (20.08.2017.)
- [50]<http://www.haasindonesia.com/vf-1040.php> (20.08.2017.)
- [51]<http://www.abcmaziva.rs/6-castrol/sredstva-za-hladjenje-i-podmazivanje/soluble-coolants/hysol-cont/castrol-hysol-t-15/> , (20.08.2017.)
- [52]<https://repozitorij.vuka.hr/islandora/object/vuka%3A90/datastream/PDF/view>, 04.09.2017
- [53]http://www.maschinenkistner.de/maschinenmarkt/gruppe/gebrauchte_bearbeitungszentren_gebrauchte_werkzeugmaschinen/product/id-5-achsen-simultan-dreh-fraes-universal-bearbeitungszentrum_5-axis-simultaneous-universal-milling-and-turning-center_dmg_dmc_125_fd_hi-dyn.html , 04.09.2017.
- [54]<http://en.dmgmori.com/products/milling-machines/universal-milling-machines-for-5-sided-5-axis-machining/dmu-monoblock/dmu-65-fd-monoblock> , 04.09.2017.

- [55] С. Франић, Завршни рад " *Значајке нетоосних обрада*", Факултет стојарства и бродоградње у Загребу, 2010
- [56] М. Будимир, Завршни рад "Вишеоосни глодаћи обрадни центри" Факултет стојарства и бродоградње у Загребу, 2013
- [57] Б. Недић, Вишеоосне ЦНЦ машине, Факултет инжењерских наука у Крагујевцу
- [58] <https://www.scribd.com/doc/75039335/CNC-alatne-ma%C5%A1ine>, 05.09.2017.
- [58] <https://www.slideshare.net/achyuthpadmanabh96/cnc-turning-and-milling-centres-43687229>, 04.09.2017
- [59] <http://www.acmanufacturing.com/5-axis-cnc-machining.htm>, 05.09.2017.
- [60] Љ.С. Лукић, **Флексибилни технолошки системи**, Машински факултет у Краљеву, 2008
- [61] Р. Ковачевић, **Нумерички управљане машине алатке и њихово програмирање**, Научна књига, Београд, 1987.