Predgovor

U ovoj knjizi sam nastojao da jednostavno i razumljivo upoznam pre svega učenike i ostale zainteresovane korisnike sa tehnologijom automatskog programiranja i rada sa numerički upravljanim alatnim mašinama (CNC mašine). Kod nas nema odgovarajuće literature koja detaljnije obrađuje ovu problematiku, tako da je ovakva knjiga dobrodošla. U knjizi su obrađeni osnovni koncepti i najčešće korišćene komande neophodne početniku koji želi da dostigne srednji nivo znanja u korišćenju programa FeatureCAM. Knjiga se prvenstveno bavi tehnologijama obrade mašinskih delova na CNC glodalicama, kao i izradom prateće dokumentacije.Ilustrovane su i osnovne funkcije koje FeatureCAM svrstavaju u izuzetno moćnu alatku za parametarsko modeliranje (CAD) i obradu (CAM) delova na raznim CNC mašinama. Mnoge komande su prikazane korak po korak a osim načina njihovog korišćenja pokušao sam da objasnim i zašto se koristi upravo ta komanda, kao i da prikažem odnos između izabranih elemenata i konstrukcija s jedne strane, i opšte filozofije projektovanja s druge.

Čitaoci ove knjige imaju različit obim predznanja, neki imaju iskustva sa CAD/CAM programima, dok su drugi završili samo osnovne kurseve za rad na računarima. Knjiga je napisana tako da je mogu koristiti osobe svih nivoa predznanja. Lekcije (vežbe) prilagođene su novim korisnicima koji nemaju iskustva sa CAD/CAM programima, ali se osnovno poznavanje rada na računaru podrazumeva. Ova knjiga nije referentni priručnik za FeatureCAM. Prikaz svih mogućnosti ovog programa u okviru jedne (čak i ne tako tanke) knjige, praktično je nemoguć.Počevši od verzije 2004, nekoliko hiljada stranica zvanične dokumentacije za FeatureCAM dostupno je i na internetu. Pristup on-lajn dokumentaciji i uputstvima značajno je poboljšan i zahvaljujući veb lokaciji YouTube, koja nudi dosta videouputstava za rad, tako da korisnik može naći željeni materijal veoma brzo i u znatno većem obimu nego što je to moguće prikazati u ovoj knjizi. Značajan napredak u učenju može se postići samostalnim istraživanjem mogućnosti programa i eksperimentisanjem s komandama i opcijama.Lekcije (vežbe) koje su prikazane u knjizi, moraju se obrađivati redom. Objašnjenje pojedinih komandi najčešće je ograničeno samo na one opcije koje se odnose na kontekst date vežbe. Drugim rečima, veliki broj opcija pojedinačnih komandi opisanih u on-lajn priručniku i Helpu samog programa izostavljen je iz odgovarajućeg dela teksta ove knjige. U indeksu Helpa možete pronaći način korišćenja komandi, mada ni indeks nije potpun već pre može poslužiti kao brzi referentni podsetnik. Knjiga „Programiranje CNC mašina: FeatureCAM“ daje solidnu početnu osnovu za dalje proučavanje ove teme. Nakon što prođete kroz sve lekcije (oko50–60 sati od kada počnete), vi ćete:

- moći da obrađujete relativno složene modele;
- znati kako da generišete odgovarajuću tehnološku dokumentaciju koja prati obradu na CNC mašinama;

- razumeti filozofiju rada i terminologiju koja se koristi u FeatureCAM-u;
- shvatiti filozofiju mašinskog projektovanja i njegovu primenu u CAD programima radi brze obrade, i upoznati metode za obradu ugrađene u FeatureCAM.
- moći da konfigurišete i radite sa upravljačkom jedinicom LINUX CNC

Poslednje dve stavke su bitne i zato što vam omogućavaju da razumete on-lajn referentnu dokumentaciju, i da istražujete druge komande i funkcije programa FeatureCAM. Na kraju knjige dati su zadaci za samostalno vežbanje koji će vam omogućiti da uz prethodno savladane vežbe iz knjige potpuno ovladate srednjim nivoom korišćenja softvera FeatureCAM. Svestan sam i nekih manjkavosti i nedorečenosti knjige, koje su posledica veoma obimne građe i pored toga, knjiga daje celovit pristup i osnovna uputstva i znanja o tehnologiji automatskog programiranja CNC mašina i izradi prateće dokumentacije, kao i razrađene primere obrade.Namenjena je pre svega učenicima tehničkih škola mašinskog usmerenja (Tehničar za kompjutersko upravljanje, Mašinski tehničar za kompjutersko konstruisanje,Tehničar mehatronike), kao i svima onima koji se bave programiranjem CNC mašina ili hoće to da nauče. U knjizi se obrađuju školski primeri, ali je tehnologija programiranja ista i za velike proizvodne mašine.Posebnu zahvalnost izražavam svom unuku, Pavlu Ćirkoviću,i unuki Petri Ćirković koji su mi bili duhovna inspiracija da napišem ovu knjigu. Nesebičnu zahvalnost izražavam CNC programeru Nazifu Hadžiću mašinskom inžinjeru koji je svojim sugestijama doprineo da knjiga bude još bolja.

Naravno, ne mogu a da ne pomenem zaposlene u firmi Tehnologika Beograd, koji su mi ustupili najnoviju verziju programa Feature CAM, pa im se ovim putem koliko toliko odužujem.

Za svaku korisnu sugestiju namenjenu poboljšanju ove knjige, stojim vam na raspolaganju i srdačno se zahvaljujem.

Autor

Prof. Radiša Ćirković, dipl. maš. inž

Sadržaj

Od ideje do gotovog proizvoda (CAD/CAM/FEA/CNC mašina) 8
CAM sistemi 9
Numeričko upravljanje 11
Definicija NC 12
NC upravljanje i CNC upravljanje 12
Tradicionalna i CNC mašinska obrada 12
Vrste CNC mašina 14
CNC Glodanje 15
CNC Glodalice 17
Referentne tačke CNC glodalica 22
Kordinatni sistem mašine i izradka 24
Dodatne ose na CNC mašinama 27
Apsolutni inkrementalni koordinatni sistem 29
Polarni koordinatni sistem 33
lzbor mernih jedinica 34
Izbor radne ravni 35
Struktura i sadržaj programa 37
Popis glavnih naredbi 38
Modalne i nemodalne naredbe 45
Sistematizacija naredbi 47
Postprocesor 47
Linearna kretanja G0 i G01 48
Kružna kretanja G2 / G3 51
Programiranje pune kružnice 56
Izbor režima obrade 63
Brzina posmaka 64
Dubina rezanja 65
Pričvršćivanje (stezanje) obradka 65
Kompenzacija poluprečnika alata (G41,G42,G40) 69
Programiranje obrade kontura sa G41/G42 72
Kompenzacija radijusa alata 72
Određivanje početne tačke W 73
Postupak programiranja 75
Analiza crteža izratka 76

Odabir CNC mašine za obradu 78
Pretvaranje radnih koraka u program 78
Simulacija obrade 78
Izrada probnog komada 79
Serijska proizvodnja 79
Oblikovanje programa 80
Ciklusi obrade rupa i otvora 83
Dejstvo ciklusa pri G98/G99 84
Detalji vezani za cikluse G81-G89 89
Programiranje granica radnog prostora 90
EMC2 (Linux CNC) 91
Učitavanje G koda 105
Konfigurisanje nove CNC mašine 112
Puštanje konfigurisane (podešene) mašine u rad 129
Osnove rad u programu FeatureCAM 142
Pokretanje programa 142
Padajući meni 150
Prečice za izvršavanje pojedinih radnji 156
Uvoz (import) 3D modela u Feature CAM 162
Stezanje komada u mašinsku stegu 181
Ravnanje gornje površine(obrada čela) 189
Obrada spoljašnjih zatvorenih (Boss) i otvorenih (Side) površina 220
Obrada džepova (pocket) 248
1.Selektovanje površine 250
2.Selektovanje horizontalne površine 255
3.Automatsko selektovanje i prepoznavanje 257
4.Selektovanje ivice (linije) koja određuje džep 258
5.Horizontalna selekcija 261
Bušenje rupa 279
Kopiranje (Pattern) rupa 292
Izrada spoljašnjeg navoja 307
Izrada unutrašnjeg navoja 329
Obaranje (zakošenje) ivica na komadu 354
Zaobljenje ivica(round) 366
Obrada 3D površina 375
Strategija grube obrade (Z level) 381
Strategija grube obrade (Plunge) 398
Strategija grube obrade (Paralel) 402

Strategija fine obrade 410
Paralel strategija fine obrade 411
Z Level strategija fine obrade 419
Isoline strategija fine obrade 421
2d strategija fine obrade 424
3d strategija fine obrade 428
Radial strategija fine obrade 433
Obrada dela iz odlivaka i otkivaka 439
Izrada teksta na ravnoj površini 457
Izrada teksta na zakrivljanoj površini (cilindru) 463
Petoosna obrada 471
Dokumentacija koja prati obradu delova na CNC mašinama 491
Zadatak 498
Urađen primer zadatka 500
Zadaci za samostalno rešavanje 548
Zaključak 554

Od ideje do gotovog proizvoda (CAD/CAM/FEA/CNC mašina)

Čovek od postanka u cilju zadovoljenja svojih sve većih potreba iskorištava prirodne resurse (sirovine i energiju), razvija proizvodne tehnologije, a u novije vreme i informacijske. U nastojanju da poboljša uslove života otkriva nove tehničko-tehnološke metode , upoznaje i usavršava već postojeće što vodi naučno - tehnološkom progresu, znajući pri tome *da ni jedno tehničko ili tehnološko rešenje nije danas toliko dobro, da* već *sutra ne može biti još bolje.* Ovo je omogućilo razvoj i stvaranje proizvoda što je uticalo na razvoj postupaka obrade, tehnologija i tehnoloških procesa, odnosno obradnih sistema i alata. Dugotrajni tehnološki i sveukupni razvoj i stalna želja za novim otkrićima i nastojanjima da se resursi, zakoni prirode i nova otkrića usmere u opštu korist čovečanstva dovele su do sadašnjeg visokog stepena tehnološkog razvoja, kada postoji realna opasnost da se neke od naučnih tekovina usmere i u obrnutom smeru, na štetu čoveka. Rezultat toga je da se brojne društvene zajednice opiru proizvodnji, odnosno tehnici kao temelju sveopšte kulture. Poznato je da bez proizvodnje nema napretka, a da država bez proizvodnje nema mogućnosti da preživi, već je osuđena na odumiranje i nestanak. To pokazuje da svaka država mora proizvoditi, ali ne sve, već ono što najbolje zna i može. Živimo u vremena kada je čovečanstvo ušlo u informacijsko razdoblje u kome se razvijaju informacijske i vrhunske proizvodne tehnologije i tehnike. Informacijske tehnologije su u proizvodnim sistemima ostvarile najznačajniji uticaj. Uvođenjem ovih tehnologija višestruko se povećava produktivnost rada, ekonomski rezultat i tržišna sposobnost. U poslednjih pedeset godina otkriveno je više pronalazaka nego u čitavom prethodnom razdoblju od postanka čoveka. Ocenjuje se da danas u svetu živi više od *80%* naučnika, istraživača i tehnologa svih vremena. Savremeno tržište i njegova globalizacija postavlja zahteve za sve složenijim proizvodima i velikim brojem različitih varijanti projektnih rešenja, a sve to kako bi se zadovoljili specifični zahtevi krajnjeg kupca.Konkurencija na globalnom svetskom tržištu posebno je izražena u mašinogradnji, aeroindustriji, autoindustriji, elektronskoj i ostalim industrijama, pri čemu se kao jedan od prioriteta postavlja zahtev za stalnim povećanjem kvaliteta proizvoda, uz nezaobilazan pritisak za smanjenjem cene, kao i skraćenjem vremena potrebnog za izlazak proizvoda na tržište, što je nemoguće ostvariti bez fleksibilnih proizvodnih sistema (FPS).Težnja da se proizvod što pre pojavi na tržištu dovela je do razvoja novih tehnika i tehnologija. Sve njih možemo obuhvatiti zajedničkim imenom *brza izrada proizvoda* (engl. *rapid development of product)*, u koju su uključeni CAD, CAM i FEAsoftveri.

CAM sistemi

Kada se završi razvoj konstrukcije pojedinačnih delova i sklopova proizvoda, s detaljnom razradom, analizom i optimizacijom geometrije i fizičkih osobina, pristupa se njihovoj izradi. Drugim rečima, potrebno je definisati proces transformacije od apstraktnog (elektronskog) oblika modela, u fizički oblik gotovog proizvoda. S obzirom da je, po prirodi stvari, u životnom ciklusu proizvoda, izrada jedna od ključnih faza, veoma je važno obezbediti uslove za prethodnu proveru svih relevantnih aspekata proizvodnje. Time se mogućnost pojave nekvalitetnih proizvoda, nepovoljnih tokova materijala, povreda pri radu i sličnih problema svodi na najmanju meru. To, dalje, rezultira skraćenjem vremena od ideje do pojave proizvoda na tržištu, smanjenjem ili potpunim izostajanjem izmena tokom realne proizvodnje, značajnim redukovanjem parcijalnih i ukupnih troškova itd. Kao računarska podrška i sredstvo integracije relevantnih proizvodnih funkcija i aktivnosti, za ovu namenu koriste se CAM sistemi, tj. programski sistemi za proizvodnju podržanu računarom. CAM sistemi imaju široko značenje, budući da, u opštem slučaju, obuhvataju brojne funkcije i aktivnosti koje spadaju u različite oblasti proizvodnih sistema, tehnika i tehnologija. Uopšteno govoreći, CAM sistemi su programski alati koji podržavaju intenzivnu upotrebu računara za planiranje i projektovanje proizvodnih i tehnoloških procesa i operacija, kao i za upravljanje proizvodnjom, to jest, proizvodnim procesima. Osnovne funkcije CAM sistema odnose se na planiranje proizvodno-tehnoloških procesa. Među njima su:

- generisanje pripremka
- generisanje i optimizacija putanja alata
- izrada i korišćenje baza podataka i kataloga režima i alata
- proračun vremena izrade
- generisanje NC programa
- simulacija i vizuelizacija procesa izrade
- generisanje proizvodne dokumentacije
- brza izrada prototipova

Geometrijski model proizvoda predstavlja finalni oblik koji treba dobiti nakon izrade, a pripremak, od koga nastaje pojedinačni mašinski element, drugačijeg je oblika. CAM sistemi mogu da automatski generišu pripremak na osnovu geometrijskog modela proizvoda. Ova funkcija se zasniva na tzv. logici dodataka za obradu, to jest, logici standardnih dimenzija materijala. Koristeći gabaritne dimenzije geometrijskog modela, CAM sistem generiše model pripremka i pridružuje ga proizvodno-tehnološkom modelu. U nekim slučajevima, pripremak poprima gabaritne dimenzije modela, a ima standardni oblik paralelopipeda (za prizmatične modele) odnosno valjka (za rotacione modele). Automatsko generisanje pripremka nije uvek moguće, ili nije uvek poželjno, pa je korisniku ostavljena mogućnost direktne

intervencije i izrade pripremka. Generisanje i optimizacija putanje alata jeste funkcija CAM sistema koja se najčešće izvodi u okviru tehnološkog planiranja. Međutim, ima proizvodnih situacija koje zahtevaju naknadnu proveru putanja alata i njihovu eventualnu korekciju i regeneraciju. To se uglavnom obavlja prilikom izrade složenijih proizvoda, kada su putanje alata ograničene, ne samo konfiguracijom proizvoda, već i konfiguracijom mašina,opreme i radnog okruženja. Izrada i korišćenje baze podataka i digitalnih kataloga mašina, opreme, alata, pribora, režima rada i drugih bitnih elemenata proizvodnog procesa, od vitalnog je značaja za brzo i efikasno modeliranje i simulaciju proizvodnje. CAM sistemi imaju posebne module za tu namenu. Vreme izrade se proračunava automatski, na osnovu ostalih proizvodno-tehnoloških parametara, uzimajući u obzir veličinu i konfiguraciju proizvoda.U opštem slučaju, vreme izrade, pored glavnog vremena, obuhvata sva pripremna, pomoćna i završna vremena, kako obradnog podsistema, tako i montažnog, transportnog i drugih podsistema proizvodnog sistema. Pre izrade programa za NUMA i drugu proizvodnu opremu (robote, transportna sredstva i sl.), i pre konačnog generisanja proizvodne dokumentacije, potrebno je obaviti simulaciju pojedinačnih tehnoloških procesa, kao i čitavog proizvodnog procesa. CAM sistemi imaju veoma dobre funkcije za tu namenu, koje korisniku omogućuju da uoči nepravilnosti u inicijalno projektovanom proizvodno-tehnološkom postupku. Cilj je da se eventualne izmene po početku stvarne proizvodnje potpuno izbegnu, ili da se svedu na najmanju meru. Tokom simulacije, CAM sistem vizuelno prikazuje sve relevantne informacije, posebno označavajući mesta mogućih problema i nedostataka. Generisanje NC programa pomoću kojeg se računarski upravlja proizvodnom opremom, potpuno je automatizovano. To se postiže pomoću posebnih funkcija CAM sistema, na osnovu geometrijskog i tehnološkog modela. Ovo je veoma važna funkcija CAM sistema i treba napomenuti da se NC programi odnose i na drugu proizvodnu opremu, kao što su NU merne mašine, roboti, transportna sredstva itd. Savremeni sistemi sadrže veoma moćne module za čitav niz vrsta obrada, a naročito su moćni oni za obradu struganjem, glodanjem, bušenjem i elektroerozijom. Te module podržavaju, uglavnom, sve CNC upravljačke jedinice, pa zato primena ovakvog pristupa modeliranju obradnog procesa i korist koju on pruža, najčešće ne zavise od proizvođača proizvodne opreme (mašina). Generisanje proizvodne dokumentacije u savremenim CAM sistemima odnosi se, pre svega, na formiranje dokumentacije u elektronskom obliku pogodnom za razmenu između različitih učesnika u razvoju proizvoda. Pošto se danas komunikacija te vrste obavlja u internet okruženju, generisanje proizvodne dokumentacije odnosi se na automatsku izradu hipertekstualnog dokumenta u formatu HTML. Tako, na primer, za operaciju glodanja nekog prizmatičnog mašinskog elementa, generiše se dokument koji sadrži sve relevantne podatke o toj operaciji. Brza izrada prototipova je nova tehnologija kojom se prave fizički modeli i funkcionalni prototipovi direktno na osnovu CAD modela proizvoda. Za izradu prototipova nije potrebna proizvodna oprema, kao što su alati i pribori, niti je potrebno generisati NC programe. Procesi brze izrade prototipova mogu se, u opštem slučaju, podeliti u dve osnovne kategorije:

1. Brza izrada prototipova sa dodavanjem materijala u:
   - tečnom stanju,
   - praškastom stanju,
   - lisnatom stanju (laminatno).

2. Brza izrada prototipova sa uklanjanjem materijala.

Prikupljanje informacija o delu podrazumeva povezivanje CAM programa s programom za geometrijsko modeliranje. Bez obzira na to koji program se koristi za geometrijsko modeliranje, pri dimenzionisanju i postavljanju relacija karakterističnih oblika u okviru modela, neophodno je voditi računa o tome u kom kontekstu će kasnije taj model biti korišćen. Crtež dela ili podaci o delu iz CAD datoteke, predstavljaju ulazne informacije u CAM sistem, koji sadrži informacije o obliku i dimenzijama dela, podatke o tolerancijama i kvalitetu obrađenih površina, kao i specijalne tehnološke karakteristike. Pored podataka o obliku modeliranog dela, prikupljanje informacija o delu obuhvata i analizu ostalih podataka u skladu s postojećim tehničkim, tehnološkim, proizvodnim i drugim uslovima. Usvajanje parametara obrade podrazumeva izbor tipa obrade kao i izbor mašine sa skupom alata i odgovarajućim pomoćnim priborom. Potrebno je odrediti da li se deo obrađuje na glodalici ili strugu, čime se definiše postupak obrade glodanjem odnosno struganjem. Pravilan izbor redosleda, veličine, dužine međusobnog zahvata alata i predmeta, odlučuju o krajnjim pokazateljima jednog postupka obrade. Iz tehnološke baze podataka biramo standardni skup alata koji ide uz datu mašinu, kao i odgovarajući NC kontroler koji je odgovoran za postupak postprocesiranja i izradu numeričkog koda na usvojenoj mašini. Uz definisanje pripremka, opredeljujemo se za materijal obratka, u zavisnosti od mehaničkih svojstava i hemijskog sastava. Materijal biramo iz raspoložive tehnološke baze podataka. Dodaci za obradu, odnosno dubina rezanja, najčešće su uslovljeni geometrijskim karakteristikama dela i vrstom obrade, tako da se ona najčešće usvaja na osnovu opštih podataka o uslovima obrade. Za svaku površinu u zavisnosti od nazivnog, nominalnog prečnika i ukupne dužine izratka bira se odgovarajući dodatak. Konačne mere pripremka se dobijaju kada se na mere gotovog dela dodaju odgovarajući dodaci, pri čemu se prečnici usklađuju s postojećim standardnim prečnicima alata, zapisanim u tehnološkoj bazi podataka.

Numeričko upravljanje

Osnove numeričkog upravljanja postavio je 1947. god. John Parsons. Upotrebom bušene trake upravljao je pozicijom alata pri izradi lopatica helikopterskog propelera. Godine 1949. američka vojska sklopila je ugovor sa univerzitetom MIT za razvoj programabilne glodalice. Troosna glodalica „Cincinati Hydrotel“ predstavljena je 1952. godine, a imala je elektromehaničko upravljanje i koristila je bušenu traku. lste godine počinje se koristiti naziv numeričko upravljanje (NC). U civilnoj industriji numeričko upravljanje započinje šezdesetih godina dvadesetog veka, a široka primena

u obliku računarskog numeričkog upravljanja (CNC) počinje 1972. godine, odnosno desetak godina kasnije razvojem mikroprocesora.

Definicija NC

Postoje različite definicije NC-a, a jedna od najjednostavnijih jeste: NC je upravljanje alatnim mašinama pomoću posebno kodiranih instrukcija (naredbi) koje se učitavaju u upravljačku jedinicu mašine. Instrukcije se sastoje od slova, brojki i specijalnih znakova pa otud i potiče naziv numeričko upravljanje. Pišu se logičkim redosledom u unapred dogovorenu standardnom obliku. Skup svih instrukcija potrebnih da bi se provela određena obrada na izratku naziva se CNC program.

NC upravljanje i CNC upravljanje

Strogo uzevši, postoji razlika između skraćenica NC i CNC. Skraćenica NC koristi se za izvorno numeričko upravljanje, a CNC za računarom podržano numeričko upravljanje. Da bismopravilno koristili te dve skraćenice, potrebno je pojasniti bitnu razliku među njima.U NC mašini program se učitava u upravljačku jedinicu pomoću bušene trake, kartica, diskete ili usb diska, a zatim se sprovodi obrada predmeta pri čemu operater na mašini nema mogućnost menjanja programa. Sve potrebne izmene moraju se obaviti izvan mašine, pa ponovo učitati program u upravljačku jedinicu mašine. U CNC mašini mikroprocesor omogućuje izmenu programa na samoj mašini, a takode je moguće sprovesti i određene izmene i tokom obrade predmeta. To svojstvo omogućuje veliku fleksibilnost u radu, uštedu u vremenu što je uvelikoj meri dovelo do raširenosti upotrebe CNC mašina.

Tradicionalna i CNC mašinska obrada

Kad govorimo o obradi predmeta pomoću tradicionalnih mašina i CNC mašina mogu se postaviti određena pitanja: Je li CNC obrada bolja i ako jeste, u čemu? lma li sličnosti među tim obradama?
Upoređujući ta dva načina obrade može se zaključiti da je osnovni pristup izradi delova gotovo jednak:

- analiza crteža (i ostalih dokumenata)
- izbor operacija obrade
- određivanje baznih površina i izbor načina stezanja
- odabir odgovarajućih alata
- proračun optimalnog režima obrade
- izrada programa i testiranje
- izrada predmeta.

Razlika je u predzadnjoj radnji koje na tradicionalnim mašinama nema. Pri samoj obradi pojavljuju se bitne razlike. Operater na tradicionalnoj mašini pomoću jedne ili obe ruke obavlja uključivanje (isključivanje) posmaka, rashladnog sredstva, tj. obavlja vođenje alata. Zato su potrebni znanje i određene veštine. O stepenu veština zavisićee i kvalitet izrade i vreme izrade. Problem nastaje kad je potrebno izraditi više potpuno istih predmeta. Po prirodi čovek ne može ponoviti sve postupke na potpuno jednak način što rezultira određenim razlikama u dimenzijama predmeta i kvalitetu površine.
U CNC upravljanju mikroprocesor vodi alat uviek na jednak način, time su stvoreni preduslovi da svaki komad u seriji bude potpuno jednak.
lz ovog bi se moglo zaključiti da su CNC mašine uviek superiornije od klasičnih mašina. Međutim, postoje slučajevi kad tradicionalne mašine imaju prednost (npr. ako je potrebno izraditi samo jedan jednostavan predmet).
Uopšteno, može se reći da su prednosti CNC mašina:

- Prilagodljivost

Mašina može izrađivati veću ili manju seriju proizvoda ili samo jedan proizvod, a nakon toga se jednostavno učita drugi program i izrađuje se drugi proizvod.

- Mogućnost izrade vrlo složenog oblika

lzrada trodimenzionalnih složenih oblika na klasičnim mašinama je skupa, a ponekad i nemoguća. Upotreba CNC mašina omogućuje izradu, a time i konstruisanje i takvih složenih oblika i proizvoda koje pre nije bilo ekonomično proizvoditi.

- Tačnost i ponovljivost

Pomoću CNC mašina moguće je proizvesti veliku količinu (100, 1000 ili više) potpuno jednakih proizvoda odednom ili povremeno. Razlike koje mogu nastati među proizvodima obično su zanemarljve, a nastaju zbog trošenja alata i delova mašina.
Na klasičnim mašinama to nije moguće. Deo proizvoda neće zadovoljiti ni potrebni kvalitet.

- Smanjenje ili potpuno uklanjanje troškova skladištenja

Da bi zadržali svoju funkciju, mašine je potrebno redovno održavati. Nakon određenog vremena pojedine delove je potrebno zameniti. Te delove mora osigurati proizvođač mašine. Ako delove izrađuje na klasičnim mašinama, proizvođač ih mora proizvesti i uskladištiti kako bi ih nakon pet ili više godina dostavio kupcu. Držanje rezervnih delova na skladištu čini trošak. Neki od tih delova se nikad i ne isporuče kupcu jer se dizajn mašine u međuvremenu promeni pa delovi postanu zastareli. Upotrebom CNC mašina potrebno je sačuvati, tj. uskladištiti samo programe, a delovi se u kratkom roku izrade po narudžbi kupca. Pri tome je trošak znatno manji od skladištenja gotovih rezervnih dielova.

- Smanjenje pripremno-završnih vremena i troška izrade

Pri upotrebi klasičnih mašina često su potrebne specijalne naprave za pozicioniranje predmeta te šabloni za vocđenje alata po konturi. lzrada naprava je trošak, a vreme do početka proizvodnje proizvoda produžuje se za vreme izrade naprava. Za CNC mašne to nije potrebno jer se alat vodi mikroprocesorom po bilo kojoj složenoj putanji.

- Mali zahtevi za veštinama operatera

Operateri CNC mašina trebaju znati postaviti predmet u mašinu, postaviti izmeriti

i izmeniti odgovarajuće alate, ali i koristiti odgovarajuće CNC programe. To su kudikamo manji zahtevi za veštine i znanja nego što ih treba imati operater na klasičnim mašinama koji treba znati voditi izvršavanje pojedinačnih operacija obrade.

- Jednostavniji alati

Na CNC mašinama alati su standardizovani i obično nema potrebe za upotrebom specijalnih alata ili ručno izrađenih.

- Stvaranje uslova za tačnu realizaciju planova proizvodnje i povećanje produktivnosti

Primenom CNC mašina za izradu većih serija moguće je vrlo precizno planiranje proizvodnje, rezultat su puno manji gubici proizvodnog vremena, a time i veća produktivnost izrade.

- Smanjenje vremena potrebnog za kontrolu tačnosti.

Nedostatci CNC mašina su:

- Veliko investiciono ulaganje

Početna ulaganja su znatno veća nego za klasične mašine. To podrazumeva dobru iskorišćenost kapaciteta mašine kako bi se on isplatio u razumnom roku.

- Potreba programiranja CNC mašine

Programeri su visokobrazovani pojedinci koji moraju imati specijalistička znanja iz više područja. Takvih pojedinaca nema mnogo pa su vrlo dobro plaćeni.

- Visoki troškovi održavanja

CNC mašine su vrlo složene. Mašina se mora redovno održavati kako bi zadržala svoje prednosti, a posebno tačnost. Za održavanje su potrebna znanja iz elektronike i mašinstva. Zbog toga i to osoblje mora biti dobro plaćeno.

- Neisplativost izrade jednostavnih predmeta

Predmete jednostavne geometrije u pojedinačnoj proizvodnji ili malim serijama često je jeftinije i brže izraditi na klasičnim mašinama u traženom kvalitetu. Za njih nije potrebno pisati program, testirati ga i tek onda izrađivati proizvod.

Vrste CNC mašina

Vrste CNC mašina su brojne i različite. Najvažnije vrste su:

- Glodalice i obradni centri za glodanje
- Strugovi i obradni centri za struganje
- Buišlice
- Erozimati
- Prese i makaze
- Gasne i plazma rezačice
- Rezanje vodom i laserom
- Brusilice

- Mašine za zavarivanje
- Mašine za savijanje.

U ovoj knjizi mi ćemo obraditi glodanje i programiranje CNC glodalica uz pomoć softvera Feature CAM.

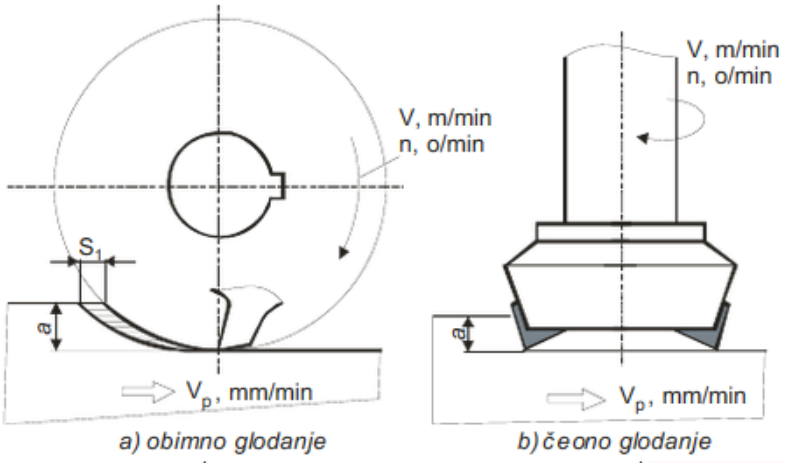
CNC Glodanje

Glodanje je obrada prizmatičnih delova jednostavne ili složene geometrije na glodalicama uz upotrebu odgovarajuiih alata.Glavno kretanje je kružno i vrši ga alat stegnut u radno vreteno dok pomoćna kretanja ostvaruje obradak ili alat (zavisno o konstrukciji glodalice) i ona su translacijska (klasične glodalice) i rotacijska koja imaju (okretni stolovi). Zbog toga je obrada glodanjem složenija i zahtevnija od obrade struganjem. Kvalitet obradene površine kreće se do Ra 0,4 (N5) za završnu finu obradbu.

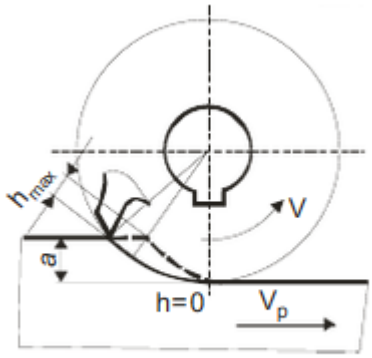
Prema rasporedu reznih elemenata alata razlikuju se dva postupka obrade glodanjem:

- obimno glodanje i
- čeono glodanje,

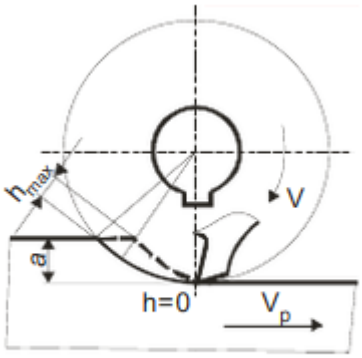
pri čemu su zubi glodala za obimno glodanje raspoređeni po obimu cilindra, a kod glodala za čeono glodanje na čeonoj strani diska.



a) obimno glodanje *b) čeono glodanje*



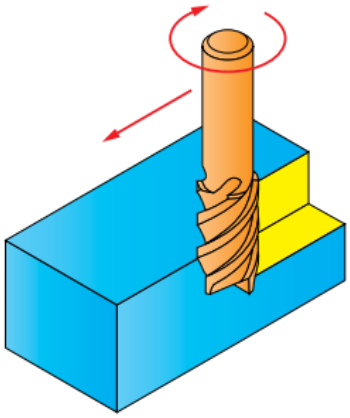
istosmerno glodanje

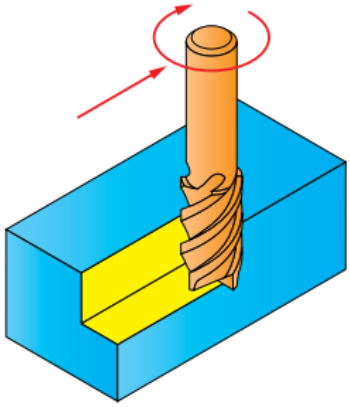


suprotnosmerno glodanje

Prema smeru međusobnih kretanja alata i predmeta obrade razlikuju se dva postupka obrade glodanjem i to obrada:

- istosmernim glodanjem i
- suprotnosmernim glodanjem.


Suprotno smerno


Istosmerno

Kod obrade istosmernim glodanjem smerovi glavnog i pomoćnog kretanja se poklapaju,dok kodsuprotnosmernog glodanja to nije slučaj. Pored toga kod istosmernog glodanja debljina strugotine se menja od maksimalne vrednosti do nule, a kod suprotnosmernog, od nule do maksimalne vrednosti. Tehnološki ili obradni proces glodanja (proces izrade delova ili proizvoda) se realizuje kroz tehnološke postupke obrade. Tehnološki postupak je skup svih obrada na predmetu obrade, u toku izrade na

odgovarajućim mašinama, uz primenu reznog, steznog i mernog alata. Elementi tehnološkog postupka su tehnološke operacije ili jednostavno operacije.
Operacija je obrada pripremka na jednoj mašini (jednom radnom mestu) uz jednu pripremu mašine.
U okviru jedne operacije može da postoji više podoperacija. Podoperacija predstavlja jedan položaj predmeta obrade u odnosu na mašinu i stezni alat ili pribor. Svaka operacija odnosno podoperacija se sastoji od:

- zahvata i
- prolaza.

Zahvat je proces istovremene obrade jedne ili više površina predmeta obrade korišćenjem jednog ili više alata, bez promene režima obrade. Razlikuje se elementarni, složeni i grupni zahvat.
Elementarni zahvat je obrada jedne površine jednim alatom. Složeni zahvat je proces oblikovanja složene površine jednim alatom (kopiranjem ili na NU mašinama).
Grupni zahvat čini proces istovremene obrade više površina većim brojem alata.
Prolaz je deo zahvata u kome se jedan sloj materijala uklanja jednim alatom. Poslednjim prolazom završava se zahvat i proces oblikovanja i obrade posmatrane površine.

CNC Glodalice

Prva NC glodalica se pojavila nakon dugogodišnjeg razvoja na univerzitetu MIT 1952. Godine a bila je to glodalica („Hydro Tel") firme „Cincinnati Milacron". Upravo ovaj podatak govori o značenju glodalica u industrijskoj proizvodnji, u kojoj se svakoga dana pojavljuju sve veći zahtevi u pogledu složenosti geometrijskih površina.
Glodalica je mašina koja koristi glodalo kao osnovni alat i ima mogućnost neprekidnog rezanja pri istovremenom kretanju alata duž najmanje dve ose. Glodalice se mogu razvrstati u tri grupe:

- prema broju osa: sa tri, četiri i više osa
- prema smeru osa glavnog vretena: vertikalne i horizontalne
- prema načinu izmene alata: ručno i automatski.

Glodalice na kojima je glavno vreteno vertikalno su vertikalne, a glodalice na kojima je glavno vreteno horizontalno su horizontalne.