

Radiša Ćirković dipl. maš. inž.

Programiranje CNC mašina za sečenje

**Elektroerozija - Nesting - Water Jet
Plazma - Laser**

**AGM knjiga
Beograd, 2020**

**Programiranje CNC mašina za sečenje
Elektroerozija – Nesting - Water Jet – Plazma - Laser**

Autor: *Radiša Ćirković, dipl. maš. inž.*

Recenzenti:

*Dr Miodrag Manić, red.prof. Mašinskog fakulteta u Nišu
Nazif Hadžić, dipl. maš. inž.*

Izdavač:

AGM knjiga d.o.o. Beograd - Zemun
www.agmknjiga.co.rs
email: agmknjiga@gmail.com
tel: + 381 11 2618 554, +381 65 8470 725

Glavni i odgovorni urednik:

Slavica Sarić-Ahmić

Korice: *Radiša Ćirković*
Štampa: *Donat graf, Beograd*
Tiraž: 500
ISBN: 978-86-6048-024-0

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије, Београд

621.9-52:004.388
621.9.04:669

ЋИРКОВИЋ, Радиша, 1947-

Programiranje CNC mašina za sečenje : elektroerozija, nesting, water jet plazma, laser / Radiša Ćirković. - Beograd : AGM knjiga, 2020 (Beograd : Donat graf). - 434 str. : ilustr. ; 24 cm

Autorova slika. - Tiraž 500. - O autoru: str. 434.

ISBN 978-86-6048-024-0 (broš.)

a) Маchine алатке - Нумеричко управљање b) Метали - Обрада неконвенционалним методама

COBISS.SR-ID 26786825

SVA PRAVA ZADRŽAVA AUTOR I IZDAVAČ. Nijedan deo knjige ne sme se reprodukovati, fotokopirati ili prenositi u bilo kojoj formi: elektronski, mehanički, fotografski ili na drugi način, bez prethodne pismene dozvole izdavača.

PREDGOVOR

Sveukupni tehnološki razvoj u drugoj polovini prošlog veka u velikoj meri odnosio se i na usavršavanje postojećih i razvoj novih proizvodnih tehnologija. Pri tome je osnovni cilj da se kroz manja investiciona ulaganja, manje proizvodne troškove i kraće vreme realizacije dobiju različiti proizvodi, poluproizvodi, delovi velike tačnosti i visokog kvaliteta. Kada je industrijska obrada materijala u pitanju, može da se kaže da pored ostalih egzistiraju dve grupe metoda obrade:

- konvencionalne i
- nekonvencionalne.

Jasno je da su ove druge manje primenjivane zbog specifičnosti postupka, ograničenog broja različitih mogućih proizvoda ili mesta primene, većih investicionih ulaganja u opremu softvera, veće jedinačne cene operacije/zahvata, ali i nedovoljnog poznavanja karakteristika i mogućnosti.

Svaka od postojećih nekonvencionalnih metoda obrade materijala (koja je novija-savremenija), u organizaciono proizvodnom smislu, jednoznačno može da se identifikuje sa mašinskim obradnim sistemom prema relevantnim kriterijumima. To znači da je moguće definisati tehničko – tehnološke karakteristike, utvrditi mesta primene i mogućnost integracije sa robotima, manipulatorima i drugim mašinama u složene proizvodne sisteme.

Ova knjiga će biti prva i prava pomoć svima onima, koji žele da se na bilo koji način bave nekonvencionalnim proizvodnim tehnologijama i izradi G koda za obradu, na takvim CNC mašinama.

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 i Sheet CAM. Knjiga se prvenstveno bavi tehnologijama obrade mašinskih delova na CNC Erozimatima, Water Jet, Plazma, Laserom, kao i izradom prateće dokumentacije. Ilustrovane su i osnovne funkcije koje FeatureCAM i Sheet CAM 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 prikazem 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 You Tube, koja nudi dosta video uputstava 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 (oko 50 - 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 (erozimatima, Water Jet, Plazma, Laserom)
- 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.

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 i Sheet CAM. 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 inženjeru koji je pročitao rukopis i svojim sugestijama doprineo da knjiga bude još bolja.

Naravno ne mogu a da ne pomenem zaposlene i rukovodstvo u firmama: „Elektroindustrija Elid“ Donji Dušnik; „Micro Business PR“ iz Niša i „Tehnologika Beograd“, koji su mi ustupili najnoviju verziju programa SheetCAM i FeatureCAM pa im se ovim putem, koliko toliko, odužujem.

Za svaku korisnu sugestiju namenjenu poboljšanju ove knjige, stojim vam na raspolaganju.

Autor

Prof. Radiša Ćirković, dipl. maš. inž.

***Primeri, korišćeni u knjizi, takođe se mogu skinuti i sa linka
KOJI SE DOBIJA KUPOVINOM KNJIGE!***

SADRŽAJ

UVOD.....	9
ELEKTROEROZIJA (EDM)	13
Osnovne karakteristike	13
Fizikalne osnove procesa elektroerozije	16
Osnovne operacije elektroerozivne obrade	19
Tehnološke karakteristike procesa	20
Proizvodnost elektroerozivne obrade	20
Uticaj materijala obratka	20
Uticaj ispiranje radnog prostora na proizvodnost	21
Uticaj vrste dielektrikuma na proizvodnost	23
Uticaj materijala elektrode na proizvodnost	23
Tačnost pri elektroerozivnoj obradi	24
Kvalitet obrađene površine	26
Materijali za izradu elektroda i postupci obrade	30
Metalni materijali za izradu elektroda	30
Nemetalni materijali za izradu elektroda	32
Projektovanje tehnološkog postupka elektroerozivne obrade	32
Postrojenja za elektroerozivnu obradu	33
Generator električnih impulsa	34
Primena elektroerozivne obrade	36
OBRADA VODENIM MLAZOM (Water jet)	38
Osnovna podela obrade vodenim mlazom	43
<i>Obrada čistim vodenim mlazom</i>	<i>43</i>
<i>Abrazivni vodeni mlaz</i>	<i>45</i>
Greške nastale prilikom obrade vodenim mlazom	48
Formiranje brazdi	49
OBRADA LASEROM	50
Vrste lasera	52
Rezanje laserom	52
<i>Lasersko rezanje topljenjem</i>	<i>53</i>
<i>Lasersko rezanje isparavanjem</i>	<i>53</i>
Parametri obrade laserom	55
<i>Snaga lasera</i>	<i>55</i>
<i>Brzina rezanja</i>	<i>55</i>
<i>Gas za rezanje</i>	<i>55</i>
<i>Žarišna-žižna dužina</i>	<i>56</i>
<i>Položaj žarišta u odnosu na površinu radnog komada</i>	<i>56</i>
Upoređenje postupka obrade vodenim mlazom i laserskom obradom	56

PLAZMA REZANJE.....	58
<i>Postupci rezanja plazmom.....</i>	59
<i>Plazma rezanje bez sekundarnog medija</i>	59
<i>Princip rada</i>	60
<i>Plazma rezanje sa sekundarnim gasom.....</i>	61
<i>Plazma rezanje s injektiranom vodom.....</i>	63
<i>Plazma rezanje pod zaštitom vode</i>	64
<i>Plazma rezanje s povećanim suženjem plazmenog luka.....</i>	64
<i>Postrojenje za plazma rezanje.....</i>	65
<i>Regulacija visine pištolja za plazma rezanje od radnog komada</i>	66
<i>Uticaj parametara na kvalitet plazma rezanja.....</i>	67
PROGRAMIRANJE OBRADJE ELEKTROEROZIJOM FEATURE CAM-u	69
<i>Pokretanje programa</i>	70
Obrada komada.....	94
Dvoosna obrada	116
<i>Izrada otvora (Die).....</i>	117
Simulacija rada	156
Dobijanje G koda.....	159
<i>Postprocesor.....</i>	159
<i>Provera NC koda.....</i>	167
Sečenje pod uglom.....	171
Izrada probojca (Punch).....	177
Metode kompenzacije.....	194
<i>Kompenzacija na mašini (Cuter Comp).....</i>	195
Kompenzacija u okviru programa Feature CAM (Offset Toopath).....	202
Obrada otvorene površine (Side).....	205
Brza obrada više otvorenih površina 2Axis Rapid	218
Četvoroosno sečenje (4 Axis).....	230
Četvoroosno sečenje spoljašnjih površina (Punch).....	259
Četvoroosna obrada otvorenih površina (Side)	276
Obrada više istih površina opcijom umnožavanje (PATTERN).....	284
Linjsko umnožavanje.....	289
Pravougaono umnožavanje.....	298
RAZMEŠTANJE KOMADA (NESTING)	305
Pokretanje programa.....	311
Rad u programu	313
PROGRAMIRANJE SEČENJA MATERIJIA	
WATER JET, PLAZMA, LASER.....	336
Pokretanje programa.....	337
Osnovne komande programa (meniji)	338

Rad u programu Shet CAM - Izbor moda rada.....	346
Podešavanje jedinica za rad	348
Podešavanje table materijala za sečenje	350
Podešavanje mašine za rad	360
<i>Post procesor</i>	362
Izbor i podešavanje alata	366
Podešavanje alata za lasersko sečenje	368
Podešavanje alata za plazma sečenje.....	374
Podešavanje alata za Water jet sečenje.....	383
Uvoz i podešavanje crteža delova za sečenje	384
Izbor i podešavanje operacije sečenja.....	395
Pomeranje početne tačke sečenja.....	411
Izrada većeg broja istih komada	414
Simulacija rada	417
Ispisivanje Texta za sečenje.....	419
Dobijanje G koda.....	421
DNC veza.....	425
Promena parametara alata ili operacije.....	425
Saveti	431
ZAKLJUČAK.....	433
LITERATURA	435
O autoru	437

UVOD

Prerada sirovina i poluproizvoda sa ciljem dobijanja delova i gotovih proizvoda može se izvesti na razne načine. Koji metod je pravi, zavisi od čitavog niza faktora, a oni se mogu svrstati u nekoliko opštih grupa:

- karakteristike proizvoda,
- karakteristike materijala i
- karakteristike proizvodnog procesa.

Danas je na raspolaganju veliki broj različitih načina izrade, obrade i oblikovanja i oni se svrstavaju u nekoliko kategorija . Za one koji su slabi poznavaoi, naglašava se da je smisljena i opravdana upotreba raziičitih termina vezanih za tehnologije obrade, i to: izrada, prerada, dorada i sl. Na primer, čelični rukavac *izrađuje* se kovanjem u kalupu, termički *obrađuje* i *dorađuje* brušenjem. Laserskim snopom je moguća termička *obrada* sedišta ventila, ali i *izrada* otvora na mlaznici. Raspoložive metode primenljive su, naravno selektivno, na sirovine, poluproizvode i gotove proizvode.

KONVENCIONALNE ili klasične metode obrade su one za koje se već dugo zna. Neke su stare nekoliko hiljada godina, ali većina se razvila tokom devetnaestog i početkom dvadesetog veka. S obzirom da su dugo pripadale proizvodnoj praksi *zanatskog, esnafskog, manufaktumog* i, konačno, *industrijskog* tipa i da se sve do polovine dvadesetog veka nisu pojavile nove metode, smatramo ih klasičnim metodama prerade i oblikovanja. U ove metode svrstavaju se dve velike podgrupe:

- obrada rezanjem (sa skidanjem strugotine) i
- obrada bez rezanja.

OBRADA REZANJEM je takav vid obrade kod koga su različiti alati u neposrednom kontaktu sa radnim predmetom i pod dejstvom odgovarajućih sila svojim reznim elementima odnose deo materijala pretvarajući ga u strugotinu. Zbog toga se često koristi i termin *obrada sa skidanjem strugotine*. Strugotina je višak materijala u odnosu na željeni oblik i posle njenog formiranja i odvajanja predstavlja otpad. Prema uslovima obrade i geometriji alata razlikuju se metode obrade sa *reznim klinom definisane geometrije* (struganje, glodanje, bušenje, rendisanje, provlačenje i rezanje testerama) i sa *reznim klinom nedefinisane geometrije* (brušenje, honovanje, lepovanje, superfiniš i poliranje).

OBRADA BEZ REZANJA takođe je moguće obrađivati i oblikovati sirovinu, poluproizvode i proizvode. Kada je u pitanju obrada *deformacijom*, pod dejstvom odgovarajućih sila i uz kortšćenje alata, dolazi do preoblikovanja pripremk - uloška, sa ili bez promene ukupne mase materijala u odnosu na zahtevanu i sa ili bez odvajanja dela materijala (valjanje, kovanje, presovanje, savijanje, istiskivanje, izvlačenje, sečenje, probijanje i prosecanje). Drugu grupu obrade bez rezanja čine

metalurške metode za koje je karakteristično da, najčešće pod uticajem visoke temperature, dolazi do promene oblika sirovine ili promene kvaliteta površinskog i potpovršinskog sloja dela, kroz promenu stanja ili kroz promenu strukture (livenje, sinterovanje, zavarivanje, termička obrada, termohemijska obrada i prevlake).

NEKONVENCIONALNE metode obrade su rezultat naučno istraživačkog rada dvadesetog veka sa jedne strane, i sve većih i viših zahteva u pogledu složenosti, tačnosti i kvaliteta proizvoda, kao i novog savremenog načina organizacije proizvodnog i tehnološkog procesa. Ove metode javljaju se kao dopuna klasičnim metodama, ali nekada i kao jedino moguće rešenje postavljenog proizvodnog zahteva. Neke od njih su vrlo stare i prevaziđene (npr. aluminotermijsko zavarivanje), a neke u sasvim maloj primeni (npr. zavarivanje ultrazvukom), tako da sa stanovišta tehnološkog napretka i iznalaženja novih metoda, ovim i sličnim metodama ne poklanja se posebna pažnja. U ovom trenutku izuzetak se odnosi na tzv. 3D štampu, koja u sebi sadrži projektovanje-modeliranje delova i celih proizvoda i izradu delova i proizvoda u celini, u smislu realizacije funkcionalnog modela, a nekada i prototipa ili gotovog proizvoda.

Važna zajednička karakteristika nekonvencionalnih metoda iz grupe prihvatljivih i značajno primenljivi, je da se mogu potpuno automatizovati, a u većini slučajeva i računarski regulisati i upravljati, što je značajno sa stanovišta visoke organizacije na bazi fleksibilnih sistema ili zatvorenih proizvodnih ćelija.

Nekonvencionalne metode mogu se podeliti na tri podgrupe:

- obrada usmerenom energijom,
- nano tehnologije i
- ostale metode.

OBRADA USMERENOM ENERGIJOM podrazumeva korišćenje različitih vidova energije, koja koncentrisano deluje na radni predmet, i to u pravilu lokalno, na jedan deo površine. Osnovno je da postoji velika gustina energije (različitog porekla) po jedinici površine, koju apsorbuje radni predmet. Promene nastaju na česticama materijala najpre na površini, a potom i u podpovršinskom sloju materijala, kao posledica promene vibracionog stanja čestica materijala ili promene temperature. Različiti izvori mogu da oslobode i veliku kinetičku energiju, koja pri delovanju na materijali obratka izaziva određene promene, pre svega oblika. Tačnost oblika i dimenzija i kvalitet obrađene površine su visoki, kao i ponovljivost procesa. U ovu grupu obrade mogu se svrstati elektroerozija, plazma, laseri, elektronski snop, jonski snop, vodeni mlaz i dr.

NANO TEHNOLOGIJE su buduće metode čije se postojanje zasniva na sve većim mogućnostima računara i njihovoj ulozi u kompletnom projektovanju, vođenju, kontroli i usaglašavanju metoda obrade. Kako iz samog naziva sledi, radi se o težnji ostvarivanja izuzetne tačnosti oblika i dimenzija i visokog kvaliteta obrađene površine. Obrada materijala se izvodi raspoloživim metodama i onima koje će se tek razviti, delovanjem na mikro čestice: molekularno, atomski i subatomski.

Međutim, pod nano tehnologijama može da se podrazumeva i primena raznih proizvodnih tehnologija radi realizacije minijaturnih proizvoda, podsklopova, sklopova pa čak i sistema. U ovom trenutku elektronika je zakoračila u te sfere. U okviru jedinstvene mikrokomponente realizovan je hologramski sistem sa optičkim stolom, laserom, pratećom optikom. Realizovani su i razni mikromotori, neutronske izvori i slični uređaji, koji za sada imaju ograničenu, ali koji će jednog dana imati realnu i masovnu primenu. Mikro zupčanici, najveće dimenzije ispod 1 mm, su realnost.

OSTALE METODE iz grupe nekonvencionalnih nemaju zajedničku karakteristiku mehanizma nastajanja promena pri obradi. Mogućnost automatizacije procesa je minimalna, a uključivanje u fleksibilne proizvodne sisteme, praktično nemoguće. Pored toga, njihova primena je neznatna (čak sporadična) sa stanovišta "ozbiljne" industrijske primene. U ovu podgrupu se mogu uvrstiti i obrada ultrazvukom, elektrolitička obrada, hemijska obrada, aluminotermijsko zavarivanje, fotohemijska obrada i dr.

Navedene metode ne predstavljaju sve poznate, već samo jedan deo od preko sto suštinski različitih metoda obrade, prerade i oblikovanja, ali sigurno one koje su najmasovnije i najznačajnije. Značaj i mesto svake od raspoloživih metoda obrade u oblasti ljudskog stvaranja su utvrđeni i podležu određenim zakonitostima. U domenu svih aktivnosti, koje se odnose na stvaranje nove vrednosti, teži se: *kreiranju, realizaciji i eksploataciji* novih proizvoda. To podrazumeva postojanje čitavog niza kompleksnih i međusobno povezanih činilaca i dejstava proizvodnog mašinstva razvrstanih u okviru više *sistema* i više *procesa*.

OBRADA KONCENTRISANOM ENERGIJOM
ELEKTROEROZIJA PLAZMA OBRADA LASERSKA OBRADA ELEKTRONSKI SNOP VODENI MLAZ KRIOGENA METODA
OSTALE METODE
OBRADA ULTRAZVUKOM ELEKTROLITIČKA OBRADA HEMIJSKA OBRADA ALUMINOTERMIJSKO ZAVARIVANJE

Nekonvencionalni postupci obrade, na današnjem nivou, orijentisani su na *metode obrade usmerenom energijom*. To su one metode koje usnopljenom, usmerenom i najčešće velikom energijom izazivaju promene na materijalima. Te promene mogu biti

mehaničke, termičke, metalografske, hemijske i omogućavaju ostvarivanje određenog oblika, dimenzija, kvaliteta površine i stanja materijala izratka. Vidovi energije mogu biti različiti, pa time i mehanizmi delovanja, a metode koje su najčešće primenjivane, prikazane su u narednoj tabeli.

Karakteristike i mogućnosti nisu iste, ali nijedna od navedenih metoda nije isključiva, tj. eliminišuća za neku drugu iz ove grupe ili iz grupe klasičnih metoda. Specifičnosti ističu konkretna mesta moguće primene i dopunjavanja u odnosu na sve ostale postupke obrade i prerade materijala.

Nekonvencionalne metode omogućavaju da se pojedini proizvodno obradni zahtevi reše na jednostavniji, lakši ili ekonomski prihvatljiviji način. Sa druge strane, ima i takvih operacija koje se mogu izvesti samo nekom od nekonvencionalnih postupaka obrade. Kada se kaže obrada misli se na mogućnost izrade određenih delova (proizvoda) ili dorade delova, koji su ranije (na neki drugi način) urađeni.

Značaj i uloga nekonvencionalnih metoda u industrijski razvijenim zemljama su jasni i visoko cenjeni, dok je kod nas primena minimalna. Da bi se ovo promenilo u pozitivnom smislu, neophodno je upoznavanje sa osnovnim principima, mogućnostima, mestima moguće primene, opremom i potrebnim ulaganjima za nekonvencionalne metode obrade.

Sa stanovišta realne primenljivosti i manjoj ili većoj zastupljenosti u različitim industrijskim pogonima, trenutno najznačajnije nekonvencionalne metode su prvo nabrojane u prethodnoj tabeli i njima će se u ovoj knjizi pokloniti više pažnje.

Preostale (i još na desetine drugih) znatno se manje ili sasvim sporadično koriste, pa će o njima biti reči samo na nivou opšte informacije.

ELEKTROEROZIJA (EDM)

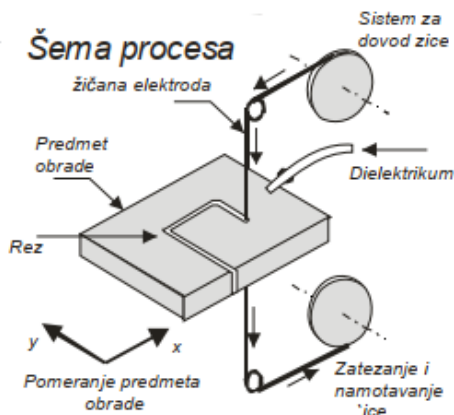
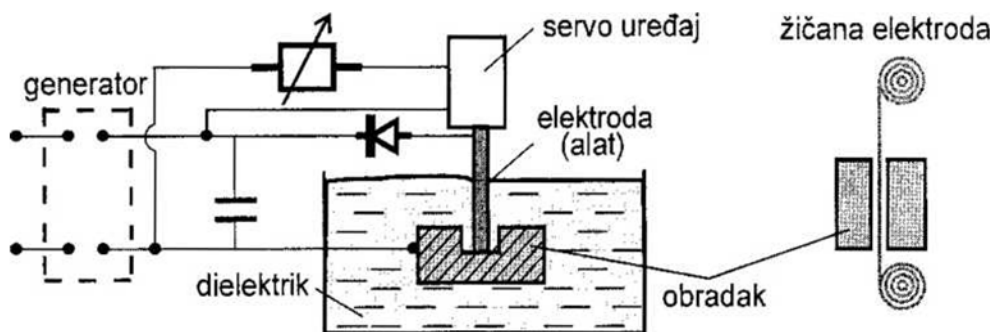
Metoda elektroerozije (eng. *EDM - Electrical Discharge Machining*) zasniva se na električnom pražnjenju između "alata" - elektrode i radnog predmeta, koji su suprotno polarisani. Kada postoji mali zazor između elektrode i obratka, prilikom uspostavljanja električnog kola, doći će do varničenja i, posleđično, odnošenja materijala. Da bi se lakše kontrolisao strujni tok i odveo skinuti materijal iz zone neposredne obrade, aktivni elementi potopljeni su u dielektričnu tečnost određenog sastava. Obrada elektroerozijom može se izvoditi na više načina: sa masivnom elektrodom (*Sinker EDM* i *Ram EDM*, elektro-varnično, elektroimpulsno i elektrokontaktno) i sa žičanom elektrodom (*Wire EDM* elektrovarnično). Svaka od varijanti ima svoje specifičnosti i posebno mesto primene. Ono što je zajedničko je da se radni parametri i brzina procesa obrade mogu menjati i regulisati u širokom dijapazonu, što se odražava na različite kvalitete površine obratka. Uslovno može se izvršiti podela na grubu, čistu i finu obradu, pri čemu su moguće tačnosti reda 0,01-0,001 mm, a uobičajene srednje hrapavosti od 10-0,1 pm. Pri tome, najviši kvaliteti ostvaruju se sa najnižim brzinama obrade, a time i najvećim vremenima trajanja.

Osnovne karakteristike

Metalni alat (anoda) i obradak (katoda) su različito polarisane elektrode strujnog kola. Potrebno pražnjenje obezbeđuje impulsni generator. Pražnjenja odgovaraju nizu uzastopnih električnih lukova čije je pojedinačno trajanje 1-1000 p.s sa pauzom, koja je 10-100 puta veća od dužine impulsa.

Pojavom varnice, u jezgu električnog luka postiže se gustina struje do 10^6 A/mm², a kao rezultat toga i visoka temperatura do 40 000°C i na površini elektroda do 10 000°C. Visoka temperatura dovodi do lokalnog topljenja i isparavanja materijala. Kada je trajanje impulsa završeno, cirkulacijom dielektrikuma obezbeđuje se očvršćavanje rastopljenog materijala u formi sfernih kapljica i njihovo odvođenje iz zone delovanja. Dielektrik istovremeno hladi elektrodu i odvodi gasne i druge produkte pražnjenja. Posle pauze (prekida) ponovo nastaje varnica i proces tako teče dalje. S obzirom na malo trajanje impulsa i pauze, rad je prividno kontinualan (semikontinualan). Jasno je da neprekidno kontinualno pražnjenje ne daje mogućnost odnošenja materijala i toplotne relaksacije, tako da bi došlo do oštećenja elektroda, obratka ili kratkog spoja. Pored toplotnog delovanja javljaju se i efekti eksplozivne sublimacije male dodirne zone i jonizacije dielektrika, što takođe utiče na odnošenje materijala i, konačno, postoji i spontana emisija elektrona sa obratka (katode) na mestu najbližem površini elektrode (anode). Principijelna šema metode obrade elektroerozijom prikazana je na slici.

Mogući efekti delovanja električne vamice na promenu oblika metalnog dela uočeni su i analizirani još 1943. godine u Rusiji (Boris i Natalija Lazarenko). Prva mašina napravljena je 1954. godine u Švajcarskoj u firmi Charmilles (i danas vodeća u ovoj oblasti, a posluje u sastavu GF AgieCharmilles). Industrijska primena započela je sedamdesetih godina prošlog veka, a tek 1997. godine (Konig i Klocke) potpuno je razjašnjen princip i postavljen model elektroerozivne obrade.



Obrada žičanom elektrodom

Iako je vreme trajanja impulsa kratko, jasno se uočava više faza stvaranja električnog luka, odvajanja čestica materijala i njihovog odnošenja (slika).

Ruski naučnici i supružnici Lazarenko su, rešavajući problem erozionog efekta električnog pražnjenja na komponentama, došli na ideju iskorišćenja ove pojave za obradu materijala. Godine 1943, lansirali su novu metodu, koja se tada zvala Lazarenkov krug.

Elektroerozivna obrada, skraćeno EDM (Electro Discharge Machining), je savremen postupak obrade čija je primena u praksi veoma rasprostranjena. Zbog brojnih

tehnoloških prednosti počinje postepeno da potiskuje primenu konvencionalnih metoda obrade rezanjem, naročito kod izrade alata i delova od teško obradivih materijala.

Ova obrada je počela da se razvija od 1943. godine kada je bračni par Lazarenko (SSSR) postavio osnovne principe i izradio prvo postrojenje za EDM-obradu. Usavršavanje pojedinih delova ovog postrojenja teklo je uporedo sa razvojem nauke i tehnike, tako da je danas dostignut vrlo visok stepen razvoja sa posebnim naglaskom na automatizaciju rada postrojenja.

Skidanje materijala kod elektroerozivne obrade se ostvaruje putem učestalih električnih pražnjenja između obratka i alata, koji u ovom slučaju igraju ulogu elektroda. Zavisno od sredine u kojoj se odvijaju ova pražnjenja, razlikujemo dva vida ovog postupka i to:

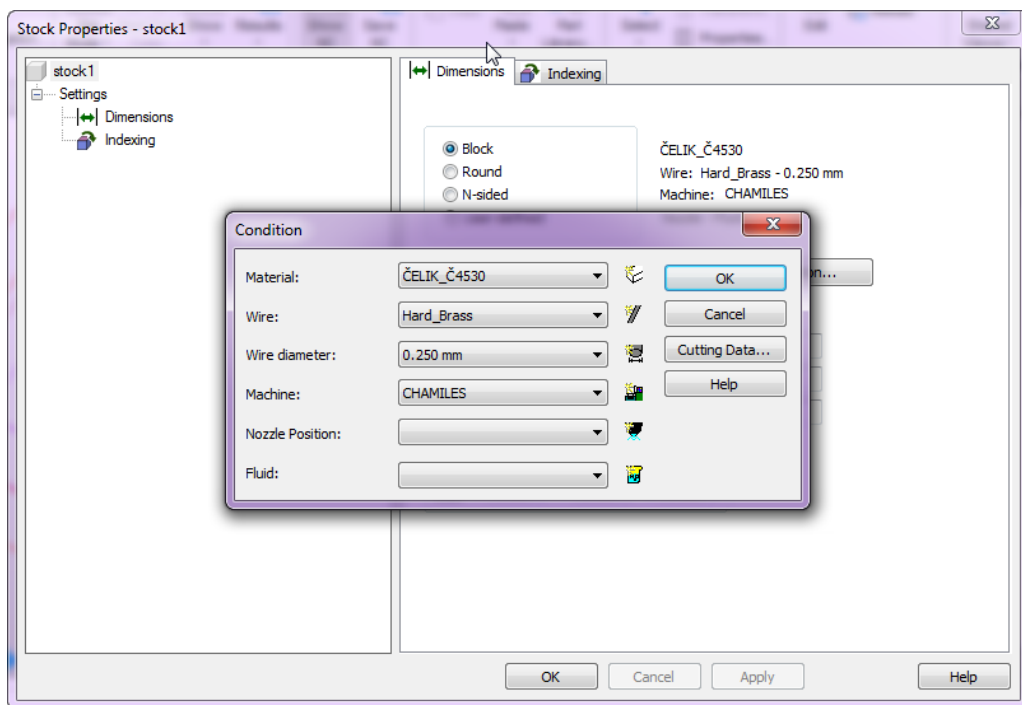
- elektrolučna erozija i
- elektroiskrična erozija.

Elektrolučna erozija je karakteristična je po tome, što se skidanje materijala ostvaruje periodičnim stacionarnim električnim pražnjenjima u atmosferi. Pražnjenja se ostvaruju preko električnog luka koji se uspostavlja mehaničkim dodirivanjem elektrode - alata sa obratkom i njenim naglim odmicanjem. Uspostavljanje i gašenje *električnog luka*, odakle potiče ovakav naziv, praktično se ostvaruje mehaničkim oscilovanjem alata vrlo visokom brzinom koja se kreće 30-80 m/s, dok je napon izvora ispod 20 V i ima konstantan nivo. Proces erozije se ostvaruje tako što se rastopljeni metal, nastao delovanjem električnog luka, naglo ohladi vodom koja cirkuliše kroz elektrodu čime dolazi do njegovog izbacivanja iz površine obratka delovanjem dinamičkih sila.

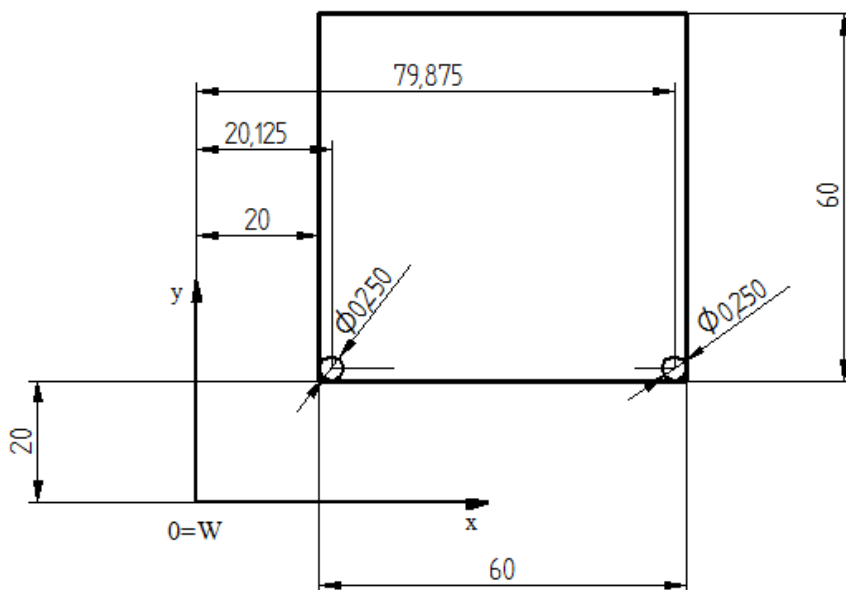
Ovaj vid erozije se koristi u praksi u vrlo ograničenom obimu, pa se zbog toga gubi naročiti smisao da se ona posebno izučava. Međutim, pojmovi i parametri *elektroiskrične erozije*, koja se znatno više proučava i primenjuje u praksi, mogu se u potpunosti primeniti i kod *elektrolučne erozije*.

Elektroiskrična erozija se odlikuje time što se skidanje materijala ostvaruje periodičnim nestacionarnim ili kvazistacionarnim električnim pražnjenjima u elektro-neprovodljivoj tečnosti – dielektrikumu. Pražnjenja se odvijaju u vidu kratkih *električnih iskri*, otuda i potiče ovakav naziv, a ostvaruju se pri naponu izvora koji ima promenljiv – impulsni karakter. Zbog toga se ovaj vid elektroerozivne obrade naziva još i **elektroimpulsna obrada**.

Elektroiskrična erozija se najviše koristi u praksi, pa kada se govori o elektroerozivnoj obradi uglavnom se misli na ovaj vid erozije. Radi toga su sva dalja razmatranja usmerena ka razmatranju ovog vida erozije, pri čemu se koristi naziv **elektroerozivna obrada**, s obzirom da se takav termin najčešće koristi u naučno-stručnoj literaturi i u praksi.



Konkretno u našem primeru bi imali:



NC Code

```

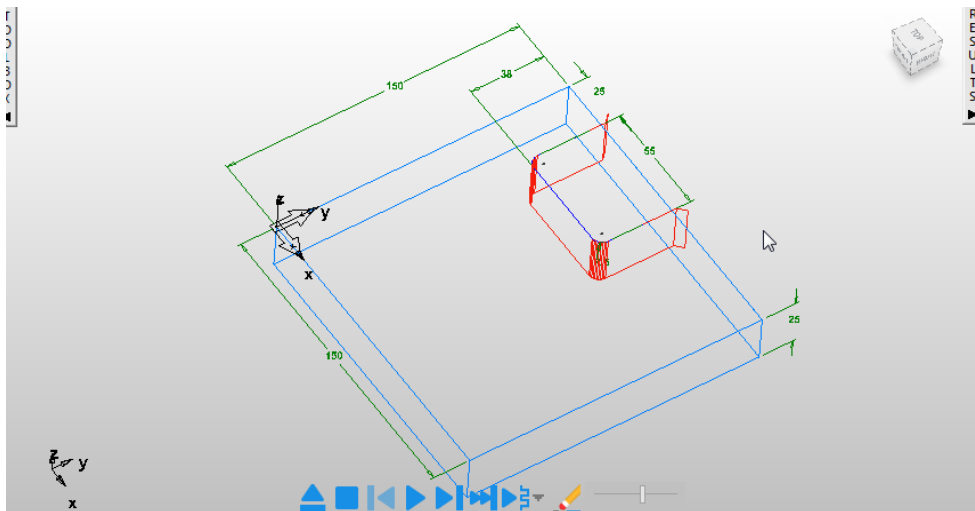
( PRIMER_KOMPENZACIJA 5.7.2020 23:01:05 );
( FEATURECAM - AGIE CHARMILLE CUT20 );
(OFFSETS);
N10 G71 G90;
( _____ DIE1 _____ );
N15 G92 X50.0 Y50.0;
N20 G01 X79.875 Y50.0;
N25 X79.875 Y20.125;
N30 X20.125 Y20.125;
N35 X20.125 Y79.875;
N40 X79.875 Y79.875;
N45 X79.875 Y50.0;
N50 X50.0 Y50.0;
N55 G00 X50.0 Y50.0;
N60 M02;
(TOTAL CUT LENGTH = 298.75);

```

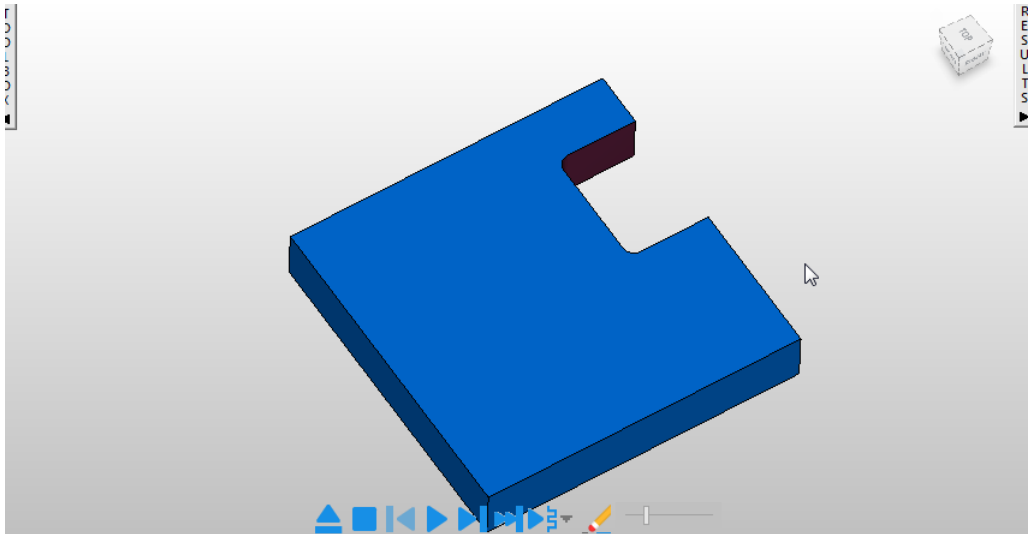
Op List Details NC Code

Obrada otvorene površine (Side)

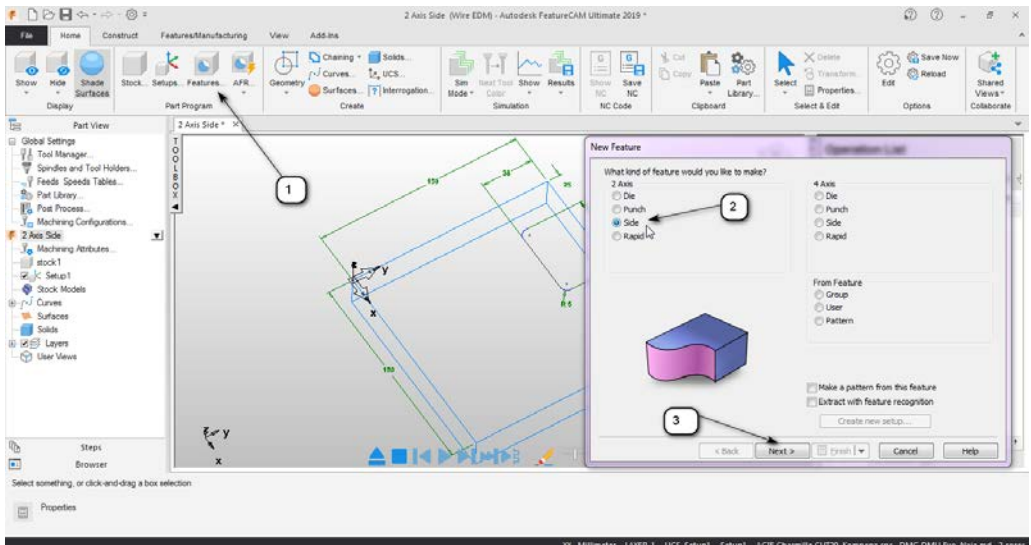
Operacija Side se koristi za obradu otvorenih krivih linija a može se i koristiti za obradu Punch i Die. Kod obrade Side moramo imati otvorene krive. Pogledaćemo na sledećem primeru kako se koristi operacija Side.



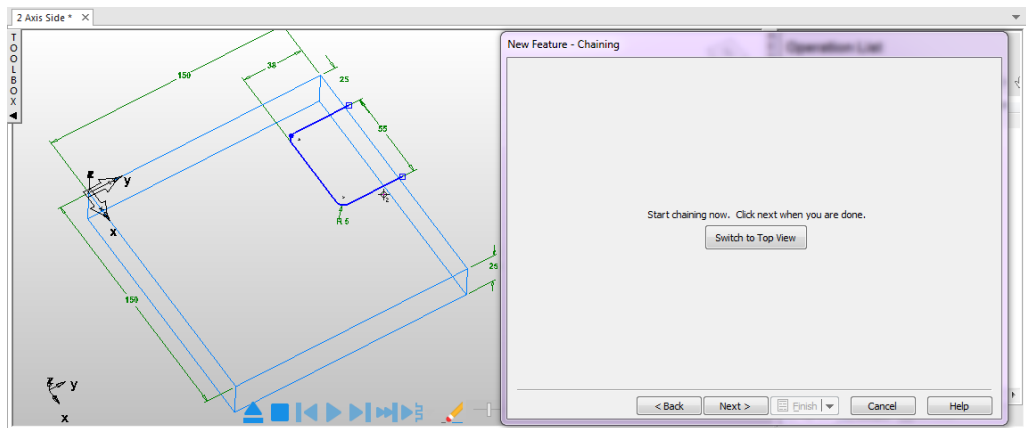
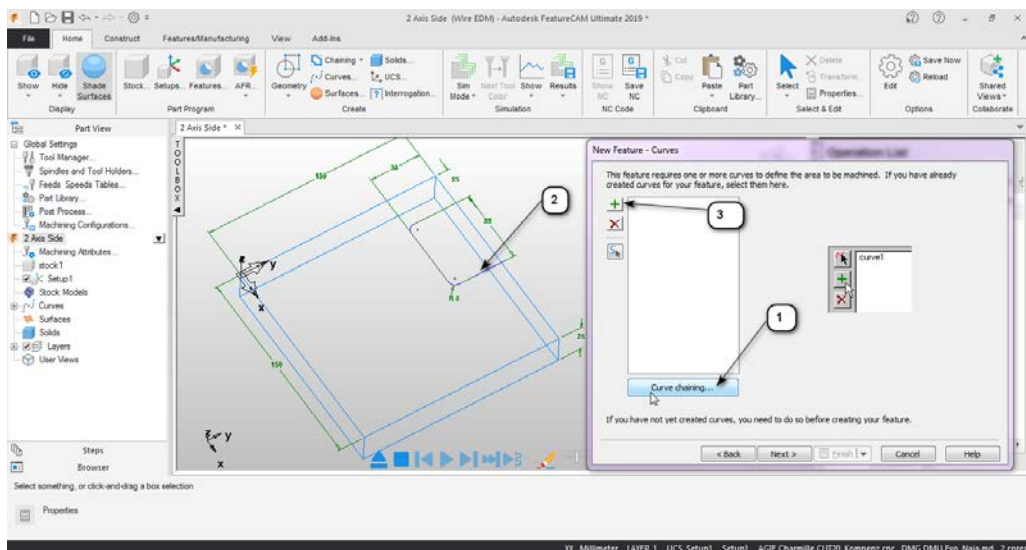
Ili 3D izgled:



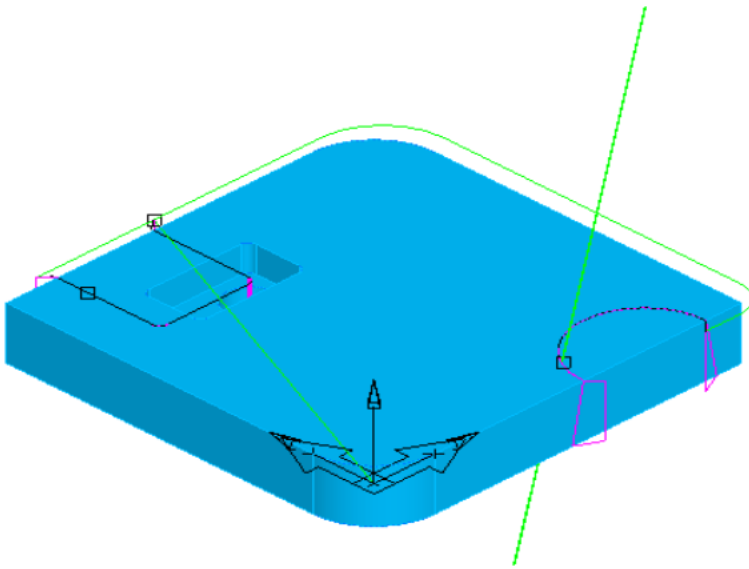
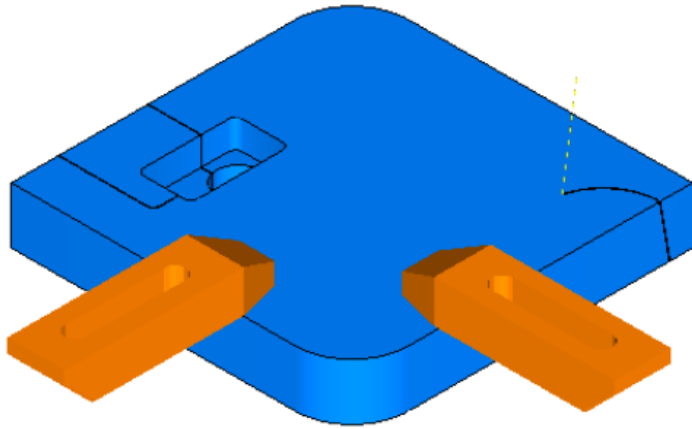
Obradu ćemo početi kreiranjem priprema 150x150x25 mm i na gornjoj površini nacrtamo otvorenu krivu kao na slici. Kada smo to uradili obradu započinjemo izborom komande redosledom kao na slici:



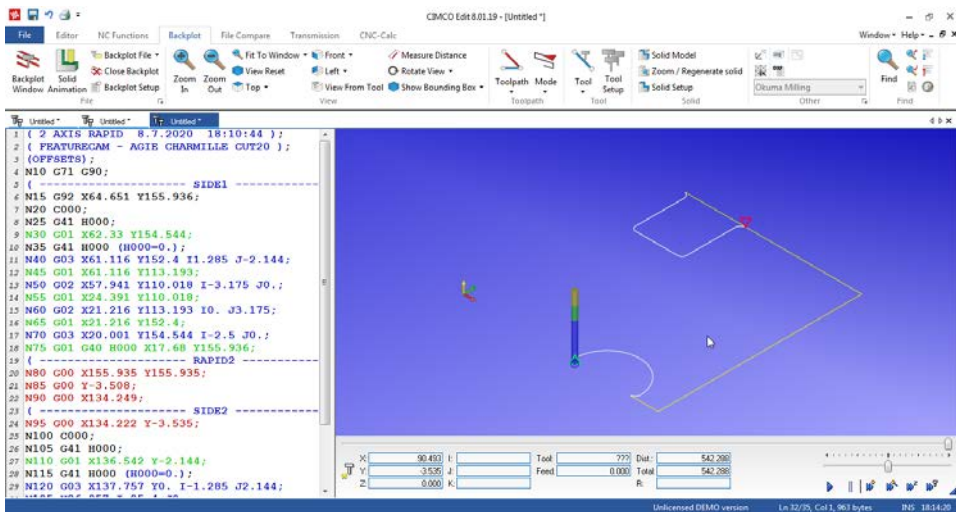
Kada smo pritisnuli Next dobili smo prozor za izbor krive koja ograničava otvorenu površinu. Selektovanje radimo tako što selektujemo krivu komplet i pritisnemo +. Kriva će biti ubačena u dijalog prozor.



Promenu pravca sečenja (unutar krive ili spolja izvan krive). Mi trebamo seći unutar krive i zato ćemo pritisnuti taster (1) kao na slici:



Ako sada pogledamo putanju u CIMC-u, kopiranjem NC koda i puštanjem simulacije dobili bi:



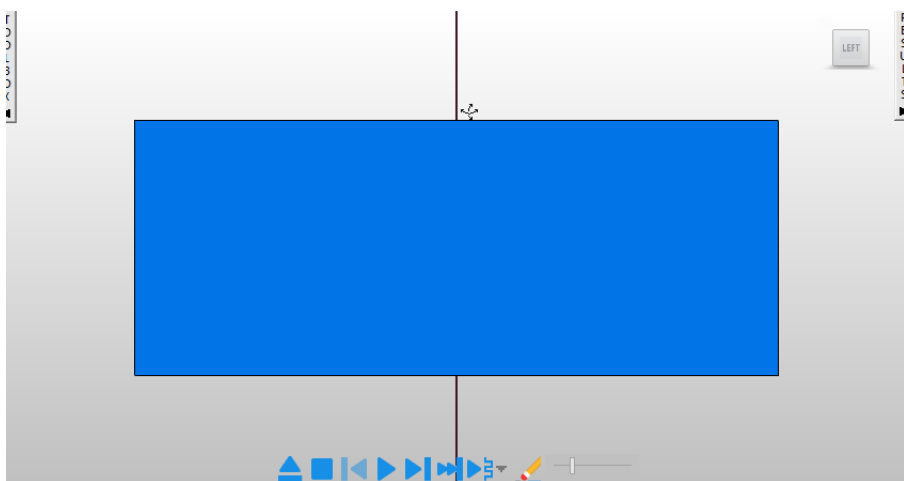
Ovim smo završili postupak obrade sečenja operacijom RAPID. Naravno da ćete vi u konkretnim slučajevima sami određivati redosled rada pridržavajući se uputstva iznešenom u ovom primeru.

Četvoroosno sečenje (4 Axis)

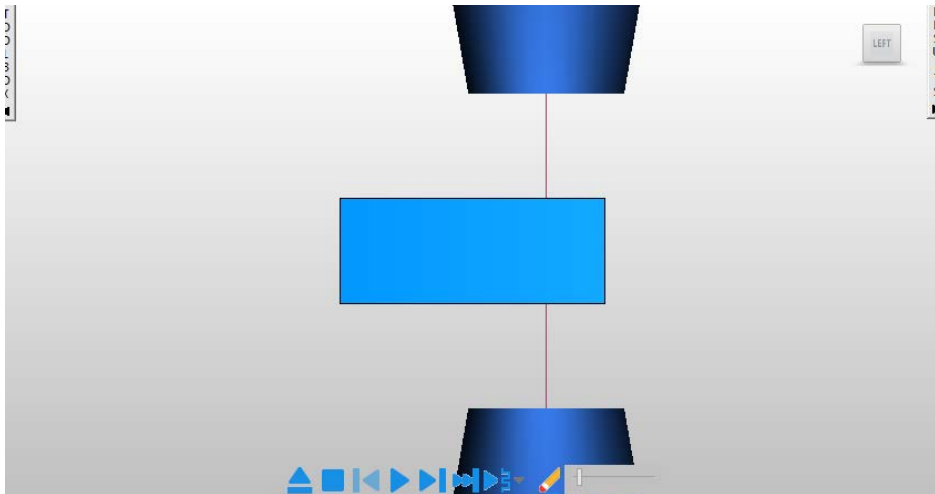
Kada smo govorili da Elektroerozivno sečenje može biti :

1. pravouglo i
2. koso sečenje.

Pravouglo sečenje je takav postupak da se žica koja seče kreće pod uglom od 90 stepeni u odnosu na radnu površinu.

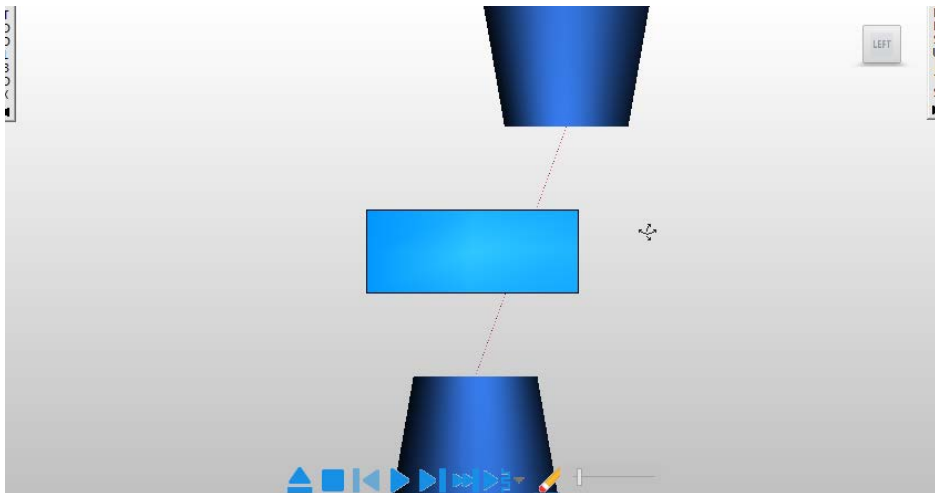


Odnosno vodice žice (gornja i donja) se nalaze na istoj osi i ne pomeraju se do završetka sečenja.

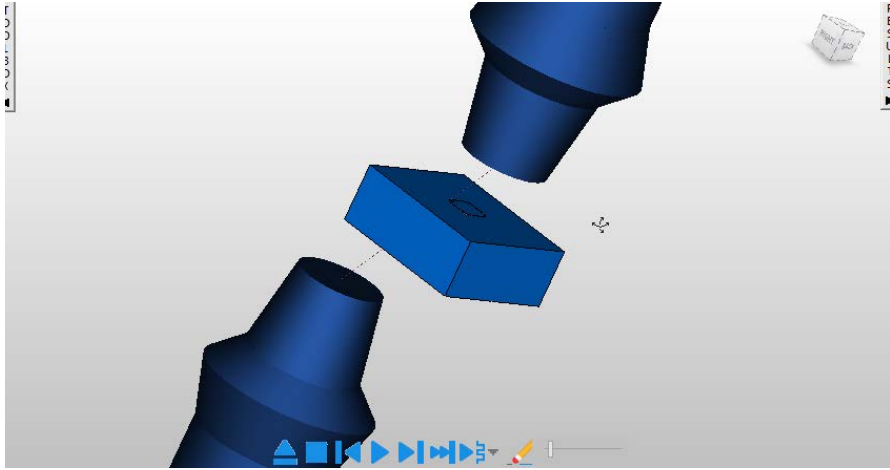


Kod kosog sečenja imamo mogućnost da:

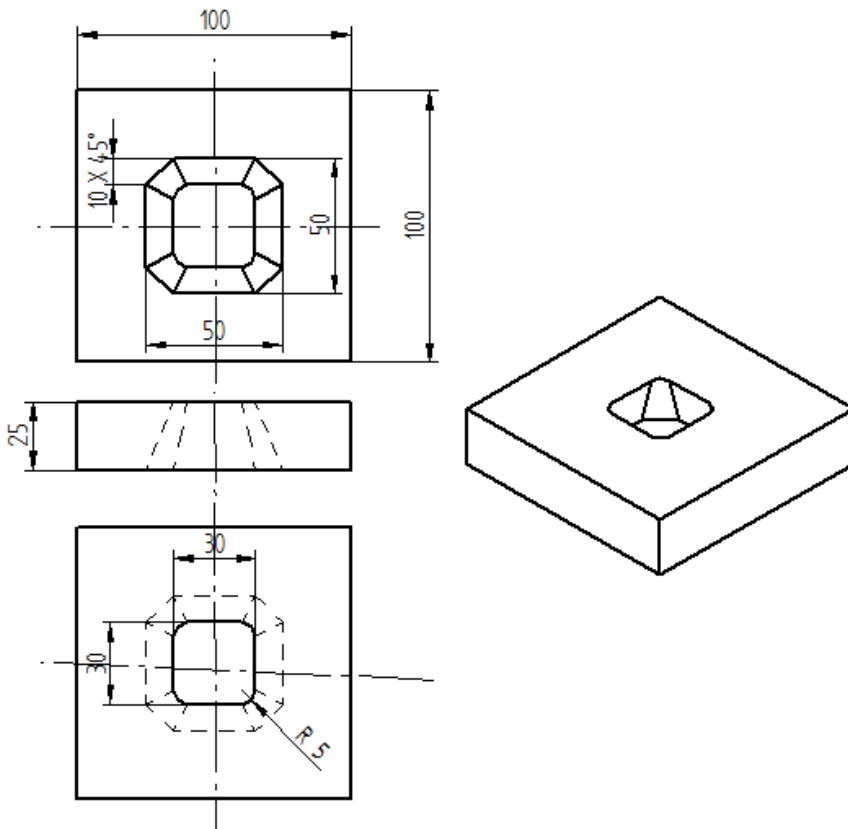
1. Ugao nagiba žice se ne menja od početka do kraja konture sečenja (2D koso sečenje)

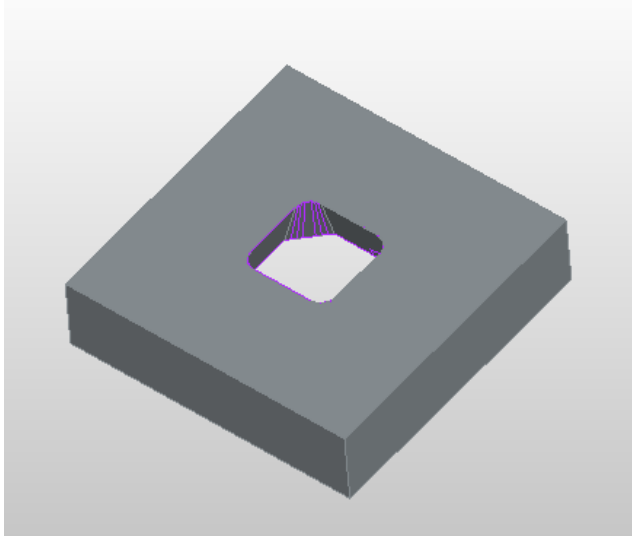


2. Ugao nagiba žice se stalno menja od početka do kraja sečenja kretanjem po krivama (4D sečenje) odnosno stalnim pomeranjem gornje i donje vodice žice po koordinatama. Naravno ovakva vrsta obrade spada u četveroosne obrade i za takvu obradu moramo imati mašinu koja ima takve mogućnosti pomeranja.



Na sledećem primeru ćemo pokazati način rada. Potrebno je iseći sedeću površinu na komadu:





Ovaj primer možemo rešavati na dva načina i to:

1. Uvoženjem 3D modela iz nekog CAD programa i procesiranje u Feature CAM-u
2. Crtanjem kontura u samom programu FeatureCAM i procesiranje u njemu

Mi ćemo pokazati oba načina.

U nekom od CAD programa, prema tehničkom crtežu, izmodeliramo deo koji treba da uradimo. Mi smo to uradili u Solid Edgu i dobili 3D model koji snimimo pod imenom 4_ose u folderu.

Komandom: