

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Индустријски инжењеринг

Предмет: Неконвенционални поступци обраде

Број индекса: 417/2017

Михајло С. Милојевић

**Анализа примене ерозимата са жицом за израду
пресерских алата**

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

МАСТЕР РАД

Анализа примене ерозимата са жицом за израду пресерских алата

У оквиру мастер рада кандидат треба да изврши прикупљање и систематизацију података о електроерозионој обради и ерозиматима са жицом. Потребно је описати CNC ерозимате са жицом у предузећу Gorenje MDM, Крагујевац. Потребно је извршити анализу типова пресерских алата и примену ерозимата са жицом за израду делова алата. У посебном делу рада извршити експериментална испитивања утицај параметара режима EDM обраде на квалитет обрађене површине и тачност мера.

Мастер рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Основи и суштина електроерозионе обраде (EDM),
3. Ерозимати са жицом,
4. Врсте пресерских алата и њихове карактеристике,
5. Анализа примене ерозимата са жицом за израду делова пресерских алата,
6. Експериментална мерења и анализа резултата,
7. Закључци,
8. Литература.

Препоручена литература:

- [1] Богдан Недић, CNC обрадни системи, скрипта, Факултет инжењерских наука, Крагујевац
- [2] Митровић Р. Пројектовање технолошких процеса, Научна књига, Београд, 1991.
- [3] Тодић В. Пројектовање технолошких процеса, ФТН Издаваштво, Нови Сад, 2004.
- [4] Бинко Мусафија, Обрада метала пластичном деформацијом, Машински факултет, Сарајево, 1988,

ПРЕДМЕТНИ НАСТАВНИК
Проф. др Богдан Недић

Крагујевац, 2019. год.

РЕЗИМЕ

У оквиру мастер рада извршено је прикупљање и систематизација података о електроерозионој обради и ерозиматима са жицом. Описан је технолошки процес као и део технолошког система. Основне претпоставке савремене производње су, да се обезбеди што је могуће бољи квалитет производа уз минимална улагања која прате све фазе од иницирања до његове успешне реализације на тржишту. Због бројних технолошких предности почиње постепено да потискује примену конвенционалних метода обраде резањем, нарочито код израде алата и делова од тешкообрадљивих материјала. Електроерозиона обрада данас је широко заступљен и економски оправдан поступак за извођење различитих операција, не само при обради тешкообрадљивих материјала, већ и при обради делова и површина сложеног геометријског облика од иначе добро обрадљивих материјала.

У посебном делу рада извршена су експериментална испитивања утицај параметара режима EDM обраде на квалитет обрађене површине и тачност мера.

Кључне речи:

- Електроерозиона обрада
- Материјал
- Технологија

ABSTRACT

Within the scope of the master's work, the collection and systematization of data on electro-erosion treatment and wire erosion were performed. The technological process as well as part of the technological system is described. The basic assumptions of modern production are to ensure the best possible quality of the product with minimal investment that follows all stages from its initiation to its successful realization on the market. Due to its many technological advantages, it begins to gradually suppress the application of conventional cutting methods, especially in the manufacture of tools and parts made of difficult to process materials. Electro-erosion treatment is nowadays a widespread and economically justifiable process for performing various operations, not only in the processing of difficult-to-process materials, but also in the processing of parts and surfaces of complex geometric shape from otherwise well-processed materials.

In a separate part of the paper, experimental tests were performed on the influence of EDM machining mode parameters on the quality of the machined surface and the accuracy of the measures.

Key words:

- Electro-erosion treatment
- Material
- Technology

Садржај

1. Уводна разматрања	4
2. Електроерозивна обрада	6
2.1. Физикалне основе процеса електроерозије	7
2.2. Агрегат за пречишћавање и циркулацију диелектрикума	11
2.3. Систем за праћење и управљање процесом обраде	12
2.4. Примена електроерозионе обраде	14
2.5. Израда калупа за просецање и пробијање.....	14
2.6. Израда делова са уским прорезом	16
2.7. Израда танкозидних делова.....	16
2.8. Технолошке карактеристике процеса.....	17
2.8.1. Производност електроерозионе обраде.....	17
2.8.2. Утицај материјала обратка.....	18
3. Ерозимати са жицом	19
4. Врсте пресерских алата и њихове карактеристике	22
4.1. Обрада метала деформисањем	22
4.2. Алат за просецање и пробијање	26
4.2.1. Типови алата према конструктивним карактеристикама	26
4.3. Алати за савијање	29
4.4. Алати за извлачење	31
5. Анализа примене ерозимата са жицом за израду делова пресерских алата.....	33
6. Експериментална мерења и анализа резултата	42
6.1. Резултати мерења	45
7. Закључак	51
8. Литература	53

1. Уводна разматрања

Неконвенционални поступци обраде (НПО), су поступци код којих се уклањање вишка материјала, измена облика, димензија и структуре материјала остварује коришћењем електричне, хемијске, светлосне, магнетне, нуклеарне и других видова енергије доведених непосредно у процес – зону резања. [1]

Брзим развојем авионске, ракетне и нуклеарне индустрије непосредно после другог светског рата, наметнута је потреба коришћења нових материјала специфичних особина. У том периоду произведен је низ нових легура које се одликују великом затезном чврстоћом, топло-отпорношћу и тврдоћом, које су, осим у наведеним, нашле примену и у другим гранама индустрије, нарочито при изради одређених врста алата. Данас се широко примењују легирани челици за израду делова који су у радним условима изложени температури до 1000 °C, легуре на бази никла, кобалта, тешко топиве легуре на бази молибдена и ниобијума која задржавају своја механичка својства на високим температурама до 1800 °C, а на бази волфрама и до 2300 °C. Упоредо са развојем нових високо-отпорних материјала, улагани су значајни напори у развоју одговарајућих поступака обраде. При томе су вршена паралелна истраживања на усавршавању конвенционалних поступака обраде и проналажењу нових квалитетнијих резних алата, као и проналажењу нових поступака обраде који раде на сасвим новим принципима у односу на резање.

Конвенционални поступци обраде не могу да задовоље све захтеве савремене технологије обраде свих врста материјала, због чега се све више проширује примена неконвенционалних поступака обраде. Њихова примена оправдана је не само при обради тешко обрадљивих материјала, већ и при обради делова сложеног геометријског облика, од иначе добро обрадљивих материјала, због знатно једноставније технологије и кинематике алата за обраду. Неконвенционалне методе обраде, се примењују тамо где традиционалне методе нису могуће, не задовољавају или нису економичне дужно специјалним разлозима као нпр. крти материјали се не могу поставити на стегу, неки машински делови су сувише комплексни па се примењују ове методе или су сами делови превише еластични, итд.. Када се ове методе правилно примене оне пружају многе предности у односу на традиционалне методе. Екстремно тврди и крти материјали су тешки за обраду путем брушења, стругања, обликовања и глодања и из тог разлога су развијене ове методе како би се лакше обрадили неки захтевни материјали.

Основне карактеристике неконвенционалних поступака обраде зависе од врсте извора, врсте енергије, механизма разарања метала и врсте преносног механизма. Значај неконвенционалних поступака обраде у њиховој повећаној примени долази као резултат утицаја мање или више релевантних фактора и то:

- Фактора везаних за повећање брзине, температуре и оптерећења рада одговорних елемената машина и уређаја. Да би се испунили ови захтеви потребно је да се примене високо-отпорни, високо легирани челици и метали, композитни и други материјали.
- Факторима везаним за знатно ширу примену обраде тачног и прецизног ливења, примене пластичних маса, и примену обраде деформисањем. Све ово доводи до пораста захтева везаних за квалитет и тачност израде ковачких, ливачких, пресерских и других алата.

- Факторима везаним за потребу израде отвора, канала и профилисаних прореза малих димензија, а нарочито када је потребно одрадити нешто на неприступачном месту.

Најчешће се неконвенционални поступци разврставају према врсти енергије и типу уклањања вишка материјала и то на поступке [1]:

- ЕСМ – електрохемијске обраде,
- EDM – електроерозионе обраде,
- EUS – ултразвучне обраде,
- EBM – обраде електронским снопом,
- LBM – обраде ласером,
- PJM – обраде плазмом,
- CM – хемијске обраде,
- WJM – обраде воденим млазом,
- AJM – обраде абразивним млазом,
- Остали поступци обраде: анодномеханичке обраде, обраде у електромагнетном пољу, електрохидрауличне обраде, обраде експлозијом, електромеханичке обраде, комбиновани поступци обраде и сл.

У оквиру мастер рада описани су прикупљање и систематизација података о електроерозионој обради и ерозиматима са жицом, типови и функције алата за деформацију.

У другом поглављу описан је технолошки процес као и део технолошког система. Основне претпоставке савремене производње су, да се обезбеди што је могуће бољи квалитет производа уз минимална улагања која прате све фазе од иницирања до његове успешне реализације на тржишту. Због бројних технолошких предности почиње постепено да потискује примену конвенционалних метода обраде резањем, нарочито код израде алата и делова од тешкообрадљивих материјала.

Треће поглавље обухвата електроерозиона обрада. Данас је широко заступљен и економски оправдан поступак за извођење различитих операција, не само при обради тешкообрадљивих материјала, већ и при обради делова и површина сложеног геометријског облика од иначе добро обрадљивих материјала.

Четврто поглавље представља алате у обради метала деформисањем или пресерски алати. Имају улогу обраде метала деформацијом, или обраде без скидања струготине при којима се метал даје жељени облик пластичном деформацијом и одвајањем. Алат који се прикључује на машину (пресу) има функцију обликовања радног производа.

Пето поглавље обухвата велики броја позиција које се обрађују на савременим CNC машинама (CNC-глодалицама, стругу, ерозимату и др.). Посебну улогу имају CNC ерозимати приликом израде резних контура на позицијама као што су матрица, нож, усадна плоча и сл.

Шесто поглавље описује експериментална испитивања утицај параметара режима EDM обраде и тачност мера.

2. Електроерозиона обрада

Електроерозиона обрада, скраћено EDM (Electro Discharge Machining), је савремен поступак обраде чија је примена у пракси веома распрострањена. Због бројних технолошких предности почиње постепено да потискује примену конвенционалних метода обраде резањем, нарочито код израде алата и делова од тешкообрадљивих материјала.

Ова обрада је почела да се развија од 1943. године када је брачни пар Лазаренко (СССР) поставио основне принципе и израдио прво постројење за EDM–обраду. Усавршавање појединих делова овог постројења текло је упоредо са развојем науке и технике, тако да је данас достигнут врло висок степен развоја са посебним нагласком на аутоматизацију рада постројења. [1]

Скидање материјала код електроерозионе обраде се остварује путем учесталих електричних пражњења између обратка и алата, који у овом случају играју улогу електрода. Зависно од средине у којој се одвијају ова пражњења, разликујемо два вида овог поступка и то:

- електролучна ерозија и
- електроискрична ерозија.

Електролучна ерозија је карактерисана тиме што се скидање материјала остварује периодичним стационарним електричним пражњењима у атмосфери. Пражњења се остварују преко електричног лука који се успоставља механичким додиривањем електроде–алата са обратком и њеним наглим одмицањем. Успостављање и гашење електричног лука, одакле потиче овакав назив, практично се остварује механичким осциловањем алата врло високом брзином која се креће $30\div 80$ m/s, док је напон извора испод 20 V и има константан ниво. Процес ерозије се остварује тако што се растопљени метал, настао деловањем електричног лука, нагло охлади водом која циркулише кроз электроду чиме долази до његовог избацивања из површине обратка деловањем динамичких сила.

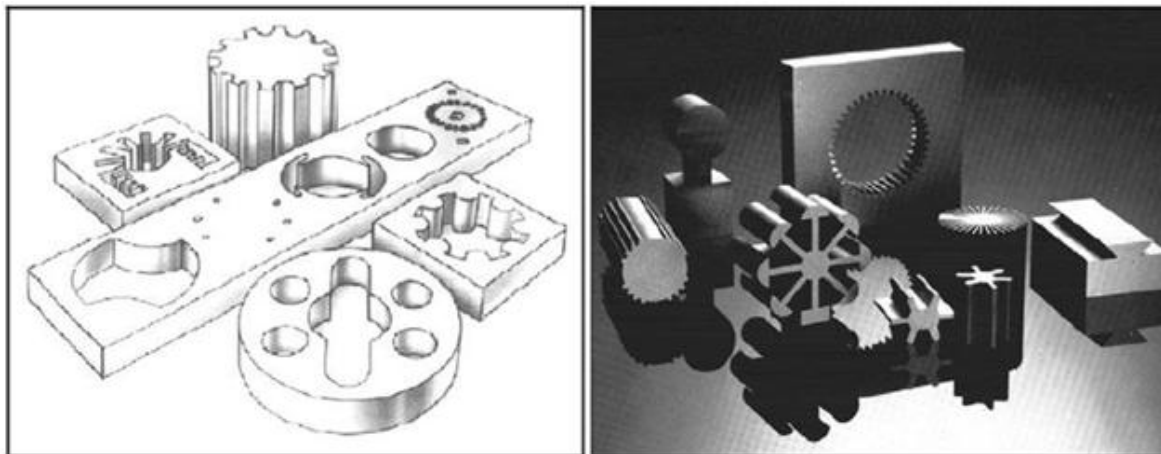
Овај вид ерозије се користи у пракси у врло ограниченом обиму, па се због тога губи нарочити смисао да се она посебно изучава. Међутим, појмови и параметри електроискричне ерозије, која се знатно више проучава и примењује у пракси, могу се у потпуности применити и код електролучне ерозије.

Електроискрична ерозија се одликује тиме што се скидање материјала остварује периодичним нестационарним или квазистационарним електричним пражњењима у електро-непроводљивој течности – диелектрикуму. Пражњења се одвијају у виду кратких електричних искри, отуда и потиче овакав назив, а остварују се при напону извора који има променљив – импулсни карактер. Ради тога се овај вид електроерозионе обраде назива још и **электроимпулсна обрада**.

Електроискрична ерозија се највише користи у пракси, па када се говори о електроерозианој обради углавном се мисли на овај вид ерозије. Ради тога су сва даља разматрања усвојена ка разматрању овог вида ерозије, при чему се користи назив електроерозиона обрада, с обзиром да се такав термин најчешће користи у научно–стручној литератури и у пракси. [1]

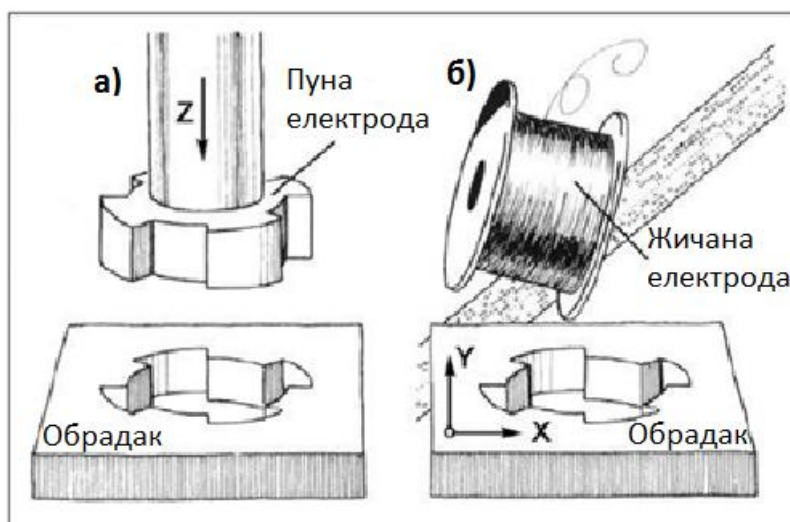
2.1. Физикалне основе процеса електроерозије

EDM-машине за сечење помоћу жичане електроде појавиле су се 1969. године и од тада су постале незаменљиве код израде делова и алата сложеног облика из материјала плочастог облика какви су они приказани на слици 2.1.



Слика 2.1 Неки карактеристични облици делова обрађених на **EDM** –машинама са жичаном електродом

Разлику између **EDM** машина са пуном и са жичаном електродом најбоље се може графички илустровати слика 2.2.

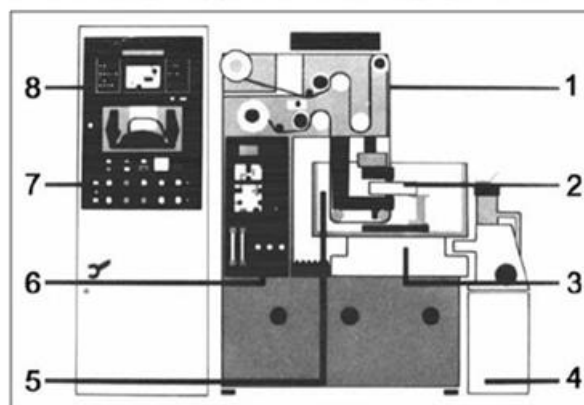


Слика 2.2 Принципијална шема рада два основна типа **EDM**
а) са пуном електродом, б) са жичаном електродом

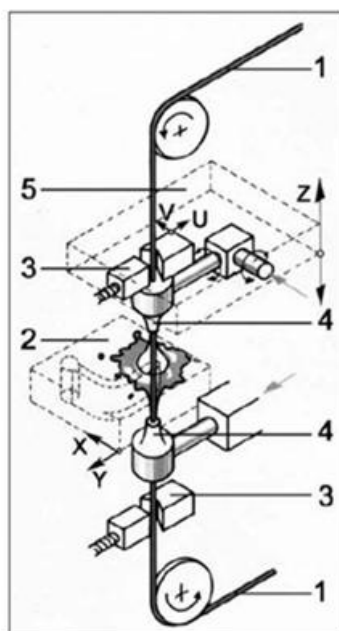
Код првог типа машине електрода у потпуности одговара жељеном облику контуре која се добија једноставним упуштањем такве електроде у материјал обратка слика 2.2 под а). Према томе електрода је сложеног облика, док је њено кретање врло једноставно и остварује се само у вертикалном правцу (Z-оси). [2]

Код другог типа машине електрода је у облику танке жице (најчешће $\Phi 0,1-0,3\text{mm}$) која се непрекидно покреће у правцу своје осе, док обрадак изводи сложено кретање по унапред програмираној путањи (x,y-оси) слика 2.2 б).

С обзиром да у овом случају отпада израда сложене и скупе електроде, на овој машини се остварује врло економична обрада делова какви су приказани на слици 2.1.



Слика 2.3 Основни елементи *EDM* – машине за сечење помоћу жичане електроде: 1-погон жице, 2-обрадак, 3-координатни сто, 4-агрегат за диелектрикум, 5- када, 6- управљачка јединица, 7- генератор импулса, 8- нумеричко CNC-управљање.



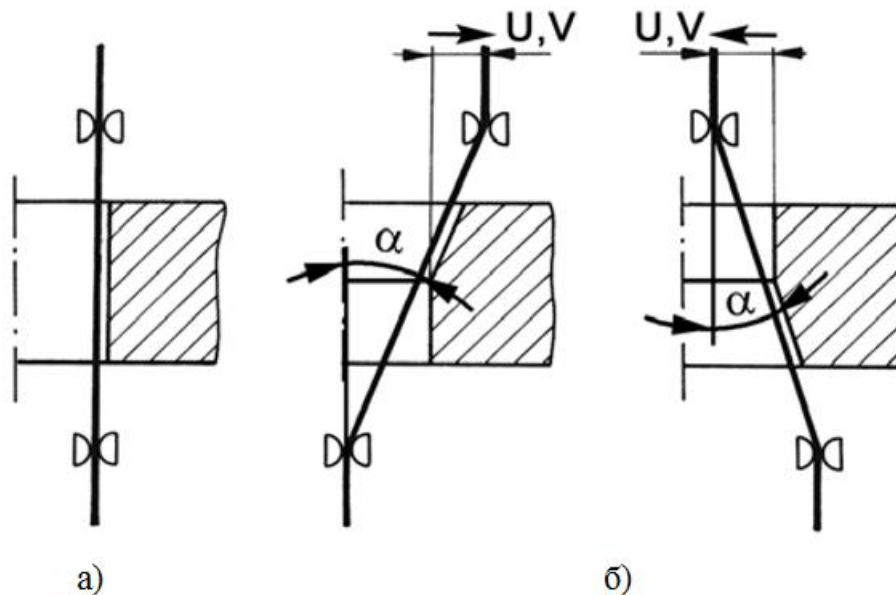
Слика 2.4 Шема електроерозионог сечења помоћу жице: 1-електрода-жица, 2- радни сто са укрштеним X-Y клизачем, 3- вођице од синтетичког рубина, 4-дизне од титана за довод диелектрикума, 5- вертикални носач вођице са укрштеним U-V и Z клизачем

Као што је већ речено, класичну электроду замењује покретна жица 1, која по Z-оси има тачно вођење са две вођице 3. Обрадак овде обично није потопљен у диелектрикум, као код раније разматраних машина, већ се само жица налази у струји диелектрикума који се доводи кроз две симетрично постављене дизне 4. Обрадак и жичана електрода су прикључени на одговарајући генератор електричних импулса па се тако, при одређеном растојању између њих, остварује процес електричних пражњења. Померање обратка у правцу X,Y- осе врши се помоћу укрштеног клизача, за шта се углавном примењују системи нумеричког CNC-управљања помоћу рачунара.

На овим машинама се могу остварити цилиндрични резови, кад се доња и горња вођица жице поклапају са Z-осом (слика 2.5-а), или конични који се остварују извођењем горње вођице из вертикалног положаја у правцу Y или V-осе за одређену вредност (слика 2.5-б).

На овај начин могу се остварити отворени или затворени конуси са углом $\alpha = \pm 5^\circ$, па и знатно више. Ово је нарочито важно код израде алата за пробијање и просецање, који захтевају овакве нагибе ради смањења трења између жига и матрице.

Померање вертикалног носача вођице са укрштеним клизачем (позиција 5 на слици 2.4) по Z– оси остварује се зависно од висине (дебљине) плоче која се обрађује, с обзиром да вођице жице морају увек стајати на одређеном растојању од површине обратка.



Слика 2.5 Исецање контуре на EDM машинама са жицом а)цилиндрично б)конично

За разлику од других операција EDM–обrade, код EDM–сечења са жицом постоји врло мали број параметара обраде који су променљиви и углавном се они свode на врсту материјала обратка и његову дебљину. Због тога технолошки параметри имају мање више устаљене вредности које варирају у уским границама. Подаци о томе налазе се меморисани у управљачкој јединици на самој машини при чему се аутоматски врши њихов избор и регулисање у процесу обраде. Тако код ових машина отпада потреба за израдом посебног технолошког поступка за дати случај обраде, већ се врши само програмирање кретања обратка у правцу X, Y, U, V и Z–осе. На тај начин тачност ове обраде не зависи од технолога и послужуиоца на машини, већ произилази из тачности рада машине и програма. [1]

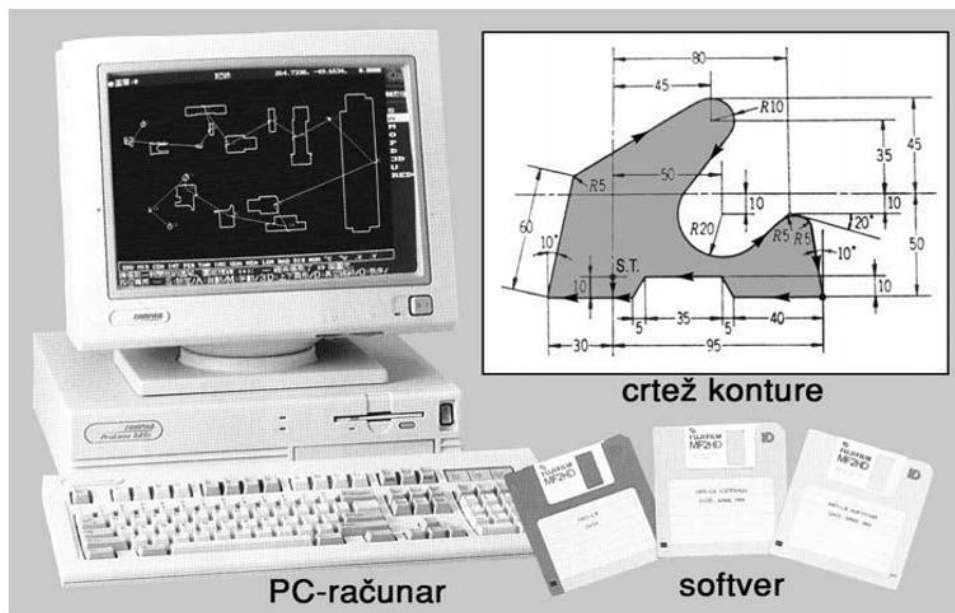
Програмирање рада на овим машинама прошло је за последњих тридесетак година више развојних фаза. Данас се за то углавном користе PS-рачунари уз одговарајући софтвер који обично развија сваки произвођач опреме. За састављање програма потребан је само цртеж контуре са нормалним или координатно датим мерама, слика 2.6.

Само програмирање се одвија у дијалогу између рачунара и програмера, који уопште не мора да познаје програмски језик, већ може бити само обучен за тај посао. У дијалошкој комуникацији са рачунаром програмира се корак по корак. Учињене грешке се одмах уочавају и отклањају, уз истовремену графичку контролу сваког програмског корака на монитору. Састављени програм се преноси на магнетну траку, дискету или неки други носилац информација, да би се у датом тренутку учитао у управљачку јединицу на машини. [1]

Пре коришћења меморисаног програма, оператер на машини има могућност, опет у дијалогу са рачунаром на самој машини, да изврши одређене корекције у програму:

- заокрене контуре за одређени угао,
- преслика је у огледалу,
- смањи или повећа, изврши равномерно проширивање или сужавање програмиране контуре за одређену вредност,
- задат угао при коничном еродирању и др.

На тај начин се исти програм, уз ситне корекције, користи више пута, што је нарочито чест случај код израде алата за просецање (штанци) или електрода (за грубу, средњу или фину обраду).



Слика 2.6 Програмирање рада на EDM-машинама са жичаном електродом

Машине за електроерозиону обраду се по својој намени граде као универзалне и специјалне. Специјалне машине су намењене за серијску производњу истих или сличних делова. Обично су снабдеване посебним уређајима који омогућују ефикасно обављање дате операције, а многе од њих имају и аутоматски циклус обраде.

У циљу постизања што веће продуктивности и тачности електроерозионе обраде, тежи се што већој аутоматизацији управљања овим машинама. То се данас најефикасније постиже применом CNC–управљања којим се, на основу релативно простог програмирања, остварује аутоматско:

- позиционирање радног стола (правац X,Y осе);
- позиционирање стуба (правац Z,C осе);
- планетно кретање електроде (правац све четири осе);
- испирање радног простора;
- измена електроде и
- подешавање параметара електричних импулса којим се остварује оптимизација процеса, односно максимална производност, а минимално трошење електроде.

Тако се добија потпуно аутоматско електроерозионо постројење које може да ради без надзора свих 24 часа, за време празника или у дане викенда. На слици 2.7 дат је пример једног таквог обрадног центра.



Слика 2.7 EDM- обрадни центар ROBOCUT CNC

2.2. Агрегат за пречишћавање и циркулацију диелектрикума

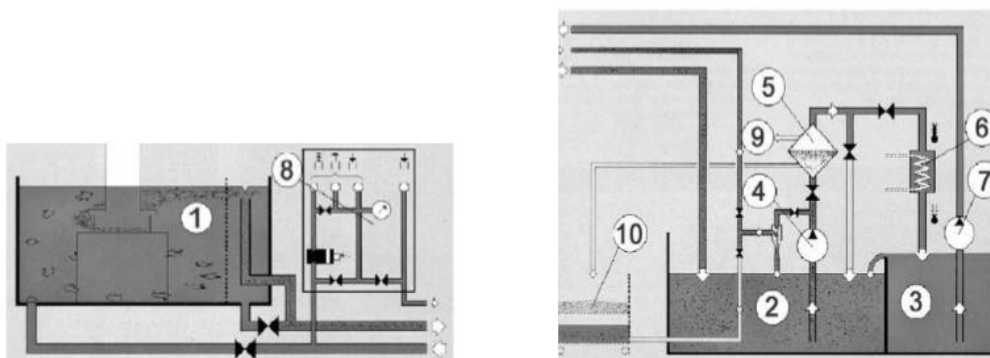
Агрегат за пречишћавање и циркулацију диелектрикума има низ веома важних функција од чијег испуњавања у великој мери зависи степен искоришћења капацитета једне EDM–машине. Најважнији захтеви који се постављају пред ово постројење су:

- обезбеђење довољне количине диелектрикума;
- пречишћавање запрљаног диелектрикума;
- обезбеђење циркулације пречишћеног диелектрикума у циљу брзог пуњења радне каде, испирање радног простора под притиском, усисавањем, или на неки други начин;
- хлађење диелектрикума и
- одстрањивање нанетог талога из филтерског уређаја.

Зависно од инсталисане снаге EDM–машине, у пракси се користе углавном две врсте ових агрегата и то:

- Агрегати са изменљивим филтерским улошцима – патронима који се користе код машина мањег капацитета,
- Агрегати са тзв. муљним филтером, који се користе код машина већег капацитета од претходно наведеног (слика 2.8).

Агрегати са изменљивим филтерским улошцима су знатно једноставнија, па према томе и јефтинија постројења. Запрљани диелектрикум се из радне каде доводи у резервоар агрегата, одакле се пумпом преводи преко филтера са улошцима–патронима и пречишћен поново враћа у каду. Филтерски улошци се праве од специјалног папира који је испресавијан, тако да се остварује велика површина филтрирања. Трајност једног оваквог улошка је приближно две недеље, после чега се исти замењује новим.[1]



- | | |
|--|--------------------------------|
| 1. радна комора | 6. комора за хлађење |
| 2. комора резервоара са запрљаним диелектрикумом | 7. пумпа |
| 3. комора резервоара са чистим диелектрикумом | 8. разводни блок |
| 4. пумпа | 9. довод компримованог ваздуха |
| 5. филтер | 10. колица за скупљање талога |

Слика 2.8 Шема агрегата за пречишћавање и циркулацију диелектрикума са муљним филтером

2.3. Систем за праћење и управљање процесом обраде

Да би се избегли поремећаји у процесу обраде, као што су кратки спојеви и електрични лук, а самим тим и оштећења на алату и обратку, код савремених постројења за EDM–обработку примењују се системи за адаптивно регулисање параметара на машини. Постоје три различита система за праћење и регулисање процеса који се базирају на:

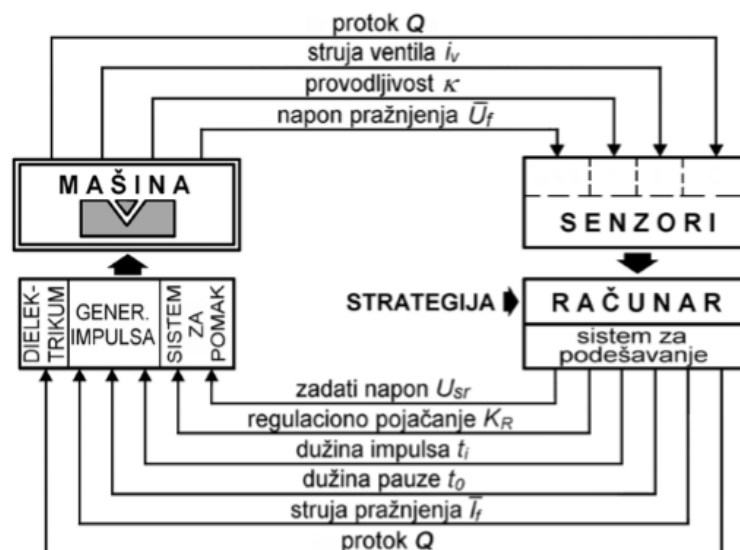
- регулисању дужине паузе;
- модулацији тока импулса и
- регулисању подешене вредности напона.

Регулисање дужине паузе остварује се на основу дужине јонизације код појединих импулса. Прекратка или предуга јонизација радног зазора представља поуздан сигнал да су наступили поремећаји у одвијању текућег процеса, па се сходно томе продужавају или скраћују паузе између импулса. Финоћа регулисања дужине паузе (степен промене) може се претходно одабрати. [1]

Други систем праћења процеса, тзв. модулацијом тока импулса, остварује се тако што се стално прати и анализира задња серија електричних импулса. У случају да се појави опасност која би могла довести до аномалија у процесу обраде, врши се искључивање наредних импулса. Време овог искључивања се регулише зависно од процеса.

Код трећег система, где се регулише подешена вредност напона, прати се број празних импулса, тзв. LIB тј. број празних импулса у односу на укупан број импулса, и то тако што се поставља најнижи и највиши ниво вредности за LIB. Кад вредност LIB-а достигне најнижи ниво, онда је то знак да је радни зазор премали и да врло лако могу настати поремећаји у процесу обраде. Због тога се подешена вредност напона између електроде и обратка повећава, чиме се повећава и радни зазор, па се тако поново успоставља повољно стање процеса. Кад вредност LIB-а достигне највиши ниво, тј. број празних импулса достигне ниво који се не може толерисати, подешена вредност напона се смањује и тај процес се непрекидно понавља. Код овог система регулације постоји и додатно подизање и спуштање електроде, ако се претходним регулисањем задатог напона не могу отклонити поремећаји у процесу. Ово покретање електроде ствара хидрауличне таласе који интензивирају испирање радног простора, тако да се нагомилани продукти обраде лакше одстрањују из радног зазора, с обзиром да они најчешће и доводе до поремећаја у процесу обраде. [1]

Даљи развој система граничне регулације, довео је до развоја система за оптимизацију код кога се регулише више параметара на машини зависно од тока одвијања процеса обраде. Међузависности параметара који се регулишу дате су у оквиру стратегије оптимизације. На слици 2.9 приказан је један такав модел који користи високу флексибилност процесног рачунара при подешавању и тестирању стратегије оптимизације.



Слика 2.9 Шема модела за оптималну регулацију код EDM машина са пуном електродом

Код овог модела сензори прате актуелно стање одвијања процеса обраде и информације о томе прослеђују процесном рачунару који их обрађује сагласно задатој стратегији, која узима у обзир различите циљне функције, као нпр. минимално време обраде, минимално хабање електроде и др. У случају поремећаја процеса, систем за подешавање регулише одређене параметре агрегата за диелектрикум, генератора електричних импулса и система за помак.

Предност овог модела огледа се у томе што се поремећаји процеса сигурно избегавају, а процес одржава на оптималном нивоу захваљујући сталном праћењу рада на машини. Многе фирме су развиле овакве системе и већ их уграђују у своја постројења. Они омогућују добијање апсолутно константног радног зазора, као и чеоног и бочног квалитета обрађене површине уз максималну производност и минимално трошење електроде.

2.4. Примена електроерозионе обраде

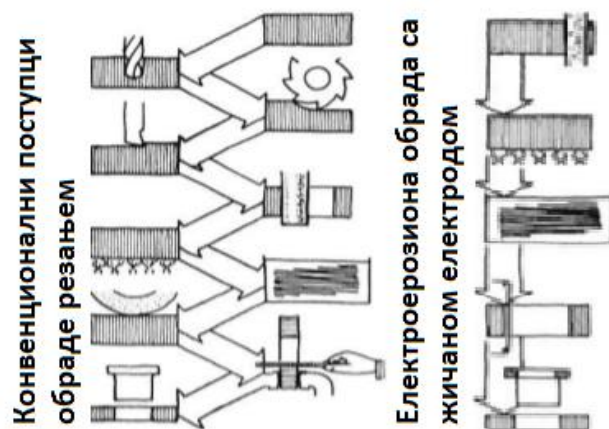
Електроерозиона обрада је данас широко заступљен и економски оправдан поступак за извођење различитих операција, не само при обради тешкообрадљивих материјала, већ и при обради делова и површина сложеног геометријског облика од иначе добро обрадљивих материјала. Због тога, поступак електроерозионе обраде пружа велике могућности примене у машиноградњи и данас се најчешће користи при изради:

- калупа за ковање и пресовање (израда и поправка истрошених или оштећених);
- кокила за ливење под притиском;
- алата за пробијање и просецање;
- делова са уским прорезима;
- делова са малим и дубоким отворима;
- делова са сложеним површинама,
- танкозидних делова и др.

2.5. Израда калупа за просецање и пробијање

Израда алата за просецање и пробијање сложенијег геометријског облика отвора, представља веома тежак и дуготрајан посао. Потешкоће се састоје у тачном слагању профила матрице и жига, од чега у великој мери зависи квалитет израђених делова и трајност самог алата. Примена конвенционалних метода обраде за израду ове врсте алата представља дуготрајан и веома скуп посао, док се применом EDM–обраде то остварује много једноставније и брже, што је илустративно приказано на слици 2.10.

Код примене конвенционалних поступака обраде резањем полази се од сировине у нормализованом стању, да би се применом појединих поступака обраде (стругања, глодања, бушења, рендисања и др.) извршила претходна обрада. Потом се врши термичка обрада каљења, а онда завршна обрада брушењем, после чега следи неизбежна ручна обрада у циљу дотеривања и напасивања матрице и жига.



Слика 2.10 Упоредни преглед израде алата за просецање и пробијање конвенционалним поступцима обраде и применом EDM обраде

Код примене електроерозивне обраде са жичаном електродом, полази се од сировине која се одмах термички кали на потребну тврдоћу, да би се потом веома тачно израдио комплетан алат (жиг и матрица), без икаквог накнадног ручног дотеривања и напасивања, коришћењем програма за CNC–управљање померањем радног стола са обратком. Одмах пада у очи да се термичка обрада код примене конвенционалних поступака обраде резањем врши на крају, а код електроерозивне обраде на почетку обраде. Због тога електроерозија овде има посебну предност јер се на тај начин избегава појава деформација или пукотина на осетљивим местима матрице, посебно оних са више отвора (мостичи између отвора), које могу настати при термичкој обради.

У принципу је израду алата за просецање и пробијање применом EDM–обраде могуће извести на следећа три начина:

- на машинама за EDM –упуштање са пуном електродом;
- на машинама за EDM –сечење помоћу жичане електроде и
- комбиновано на обе ове машине.

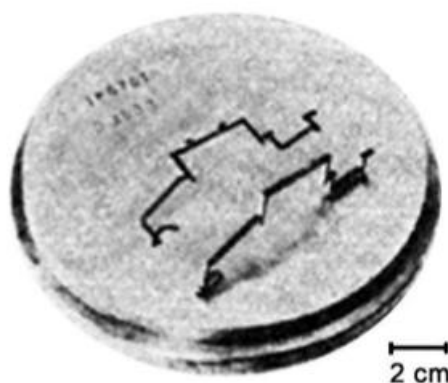
Код примене EDM–машина са пуном електродом, прво се врши израда плочасте електроде у облику матрице од бакра или графита. То се остварује применом конвенционалних метода обраде резањем, а зависно од сложености иста може бити израђена у целини или састављена из више делова. Потом се применом машина са пуном електродом, поступком обрнутог копирања, врши израда жига и електроде која се касније користи за израду матрице применом истог овог поступка.

EDM–машине са жичаном електродом се данас најчешће примењују при изради алата за просецање и пробијање. Могло би се рећи да су оне посебно намењене за овакве врсте послова. Због тога се претходни начин израде ових алата примењује само у недостатку ових машина у погонима алатнице. Сам поступак је врло једноставан с обзиром да се сви елементи алата (матрица, вођица, жиг и његов држач) израђују по истом програму, на машини са CNC–управљањем. Да би се остварили потребни зазори између појединих елемената алата, нагиби и сл., оператер има могућност да на самој машини изврши одређене корекције основног програма за управљање. Како се сви делови алата израђују по истом програму, то се у овом случају остварује њихова висока тачност облика и димензија, без накнадног дотеривања и напасивања.

Комбинована метода са обе врсте EDM–машина користи се у случају да се жиг са држачем конструктивно мора извести изједна, нпр. малих је димензија, од тврдог метала је и сл. Онда се за његову израду користи већ поменути поступак обрнутог копирања на стандардној EDM–машини помоћу плочасте електроде израђене на EDM– машини са жичаном електродом. На истој машини, по истом програму, врши се израда и матрице. Тако се комбиновањем рада на ове две врсте EDM–машина веома ефикасно израђују алати за просецање и пробијање. [1]

2.6. Израда делова са уским прорезом

Обрада уских прореза велике дубине глодањем је врло тешка, а понекад и немогућа. Поступком електроерозионе обраде могу се на стандардним машинама израђивати прави и криволинијски прорези ширине $0,4 \div 0,8$ mm дубине до 20 mm, а ширине $2,5 \div 10$ mm и до дубине од $80 \div 100$ mm. Применом EDM–машина са уређајем за планетно еродирање могу се веома економично израђивати врло сложени облици матрица применом простих електрода кружног облика. Израда ове врсте делова или алата на EDM–машинама са жичаном електродом остаје и даље најтачнији и најекономичнији поступак (илустрација дата на слици 2.11).



Слика 2.11 Алат за EDM машину

2.7. Израда танкозидних делова

Обрада танкозидних делова конвенционалним поступцима обраде резањем представља сложену операцију због тога што, под дејством сила резања, може доћи до деформација које изазивају грешке при обради. EDM –поступком се могу и у овим деловима врло лако бушити отвори и обављати друге операције без икакве опасности од деформације, односно грешака обраде ове врсте.

На слици 2.12. дат је пример жига висине 100 mm, облика попречног пресека који је веома осетљив на евентуалне деформације при обради. Због тога је жиг израђен на високо прецизној EDM–машини са жичаном електродом, при чему су постигнути следећи резултати: одступање мера, које су контролисане на 24 назначене позиције, било је у оквиру 0,007 mm, а храпавост обрађене површине $R_z = 4$ μ m. Овакав резултат засад није могуће остварити ни једном другом обрадом.



Слика 2.12 Облик жига

2.8. Технолошке карактеристике процеса

Као и код других поступака обраде и овде су најважније технолошке карактеристике: производност, тачност израде и квалитет обрађене површине. Важност ових карактеристика је различита и зависи од услова обраде и намене обрађених делова. Тако је производност процеса најважнија технолошка карактеристика са економског аспекта. Тачност израде и квалитет обрађене површине су важне карактеристике са аспекта функције обрађеног дела, односно његове намене.

Неке од технолошких карактеристика су противуречне једна другој. Тако нпр. повећањем производности добија се лошији квалитет обрађене површине и мања тачност. Због тога је избор оптималних технолошких карактеристика, за сваки конкретан случај обраде, једно од најважнијих питања при свим врстама обраде па и при електроерозионој, о чему ће у наставку бити говора. [1]

2.8.1. Производност електроерозионе обраде

Производност или количина скинутог материјала при електроерозионој обради се обично изражава у (mm/min) и углавном зависи од следећих фактора: материјала обрадња, параметара електричних импулса, површине електроде-алата, врсте диелектрикума, интензитета испирања радног простора, материјала електроде и др.

2.8.2. Утицај материјала обратка

Електроерозијом се могу обрађивати само материјали који проводе електричну струју, а то значи само метали и њихове легуре, укључујући ту и карбидну, односно металну керамику. Сви метали се, међутим, не обрађују подједнако ефикасно, па сваки од њих има своју карактеристичну обрадљивост електроерозијом. Као показатељ те обрадљивости могу се узети различити критеријуми, као што су: производност, квалитет обрађене површине, трошење електроде – алата, специфични утрошак енергије по јединици скинутог материјала и др. Најчешће се обрадљивост при електроерозиционој обради цени на основу количине скинутог материјала у јединици времена, односно производности. Обрадљивост неког материјала, по овом критеријуму, а за одређене услове обраде, је обрнуто пропорционална коефицијенту Палаткина, који гласи:

$$K_p = C \cdot T_{\text{топ}}^2 \cdot \rho \cdot \lambda \quad (1.1)$$

где је: C (J/kgK) – специфична топлота, ρ (kg/m³) – специфична маса – густина, λ (N/mK) – коефицијент топлотне проводљивости, $T_{\text{топ}}$ (K) – температура топљења. Коефицијент Палаткина показује који ће се од два упоређивана материјала, при једнаким условима загревања, брже загрејати до тачке топљења. Оном материјалу код кога је коефицијент K већи треба више времена да се загреје до тачке топљења, односно за њега се каже да му је обрадљивост електроерозијом лошија. На основу једначине (1.1) може се закључити да на обрадљивост неког материјала електроерозијом утиче само хемијски састав, јер од њега зависе величине c , ρ , λ и $T_{\text{топ}}$, док тврдоћа и друга механичка својства практично немају никаквог утицаја. Овај закључак је веома важан јер показује да се, нпр. челици могу једнако ефикасно обрађивати пре и после каљења. То је утолико важније ако се зна да се при каљењу неког сложенијег алата, које се врши после механичке обраде, могу појавити такве деформације које битно умањују његову тачност и обично се не могу отклонити при брушењу као последњој производној операцији. [1]

Материјал обратка	Релативна обрадљивост
С 0445	1,00
Угљенични челици (челици за цементацију и алатни нискоугљенични челици са великом прокаљивошћу)	1,00-1,10
Сиви лив	0,6-1
Ватросталне легуре на бази Ni	1,4-1,6
Нерђајући челици	1,2-1,3
Алуминијум	1,5-1,7
Al-легуре	1,30-1,35
Магнетне легуре са великом садржином Ni, Cr I Al	1,3-1,6
ТМ групе Р	0,09-0,10
ТМ групе К	0,14-0,30

Таблица 2.1 Приказ материјала који се обрађује са релативном обрадљивошћу [7]

3. Ерозимати са жицом

Електроерозиона обрада је данас широко заступљен и економски оправдан поступак за извођење различитих операција, не само при обради тешкообрадљивих материјала, већ и при обради делова и површина сложеног геометријског облика од иначе добро обрадљивих материјала. Због тога, поступак електроерозионе обраде пружа велике могућности примене у машиноградњи и данас се најчешће користи при изради:

- калупа за ковање и пресовање (израда и поправка истрошених или оштећених);
- кокила за ливење под притиском;
- алата за пробијање и просецање;
- делова са уским прорезима;
- делова са малим и дубоким отворима;
- делова са сложеним површинама,
- танкозидних делова и др.



Слика 3.1 EDM сечење жицом Excetek V850G
Ерозимат на којем је рађен експеримент

Један танак ланац жице, обично месинг, додаје се преко радног предмета, уроњен у резервоар од диелектричне течности, обично дејонизована вода. Жица EDM се обично користи за сечење плоча дебљине и до 300mm и обраду тешких метала који су тешко обрадљиви на машинама са другим методама. Жица, која се стално креће од осовине је одржана између горњих и доњих дијамант водича. Водичи, обично CNC контролисани, крећу се у Ks-I равни. На већини машина, горњи водич се може такође кретати самостално у Z - U- V оси, што доводи до могућности да се смањи, сужава и до преласка облика (круг на дну, квадрат на врху или два круга који нису у истој оси на пример).

Горњи водич може контролисати покрете осе у Ks-I - u - v - i- j - k- l. Ово омогућава EDM–жици да буде програмирана тако да смањи веома компликоване и деликатне облике. Горњи и доњи дијамантни водичи су обично тачни до 0.004 mm. Разлог да је ширина сечења већа од ширине жице је појава варничења између радног комада и жице. Овај процес "опсецања" је неопходно, за многе примене адекватно предвидети. [6]

Котур жице је тежак 8 kg а калем од 0,25 mm жице је тек нешто више од 19 километара дужине. Пречници жице могу бити мали као 20 микрометара и геометрија прецизности није далеко од ± 1 микрометра. Процес жица - рез користи воду као своју диелектричну течност, контролисање отпорности и других електричних својстава са филтерима и дејонизатор јединица. Вода испира резне остатке далеко од зоне резања. Испирање је важан фактор у одређивању максималне стопе додавања жице за дату дебљину материјала. Уз чвршће толеранције, мулти - оса EDM жице за сечење, на обрадни центар се додају карактеристике као што су мулти- главе за сечење два дела у исто време, контроле за спречавање жице лома и програмабилних машинских стратегија које оптимизирају рад.

Сечење EDM се обично користи када се желе ниски заостали напони, јер не захтева високе снаге за уклањање материјала. Ако енергија / снага по импулсу је релативно ниска, мало промена у механичким својствима материјала очекује се због ових ниских заосталих напона. Радни комад може претрпети значајан топлотни циклус, његова озбиљност зависи од технолошких параметара који се користе. Такви термални циклуси могу изазвати формирање слоја на делу и заосталих затезних напона на радном комаду. Ако се машински обрађује после термичке обраде, тачност димензија неће бити погоршана.

Неке од предности EDM укључују обраду :

Сложени облици које би иначе било тешко произвести са конвенционалним алатима за сечење. Изузетно тешко за веома блиске толеранције. Веома мали обрадак, где конвенционални алат за сечење може оштетити део од вишка притиска сечења алата. Не постоји директан контакт између алата и радног комада. Зато деликатне површине и слаби материјали могу се добити машински без икаквих изобличења. Добија се добра површина и могу се добити веома fine рупе. [3]

Неки од недостатака EDM укључују :

Потенцијални пожар у вези са употребом запаљивих заснован нафте диелектрика . Додатно време и трошкове користи за креирање електроде. Репродукују се оштри углови услед хабања електроде. Специфична потрошња енергије је веома висока. Прекомерно хабање алата се јавља током обраде. Материјали који су нископроводљиви могу се обрађивати само са специфичним set-up процесом. Електро непроводљиви материјали се не могу обрађивати.

У фирми Gorenje MDM из Крагујевца у којој је вршено испитивање и сечење делова који ће бити представљени у наставку рада, постоје и два модела ерозимата слика 3.2 и слика 3.3 који се разликују од предходног слика 3.1. Разлика је у постављању комада који се потапа у електролит и који имају посуду са одређеном количином запремине електролита (ерозимат са слике 3.1) за разлику од представљених на сликама 3.2 и 3.3 који су као што се види са слике затворени када раде јер се поред жице креће течност у виду млаза. [6]



Слика 3.2 EDM сечење жицом ROBOFIL 690



Слика 3.3 EDM машина CHARMILLES ROBOFIL 850

4. Врсте пресерских алата и њихове карактеристике

4.1. Обрада метала деформисањем

Алати у обради метала деформисањем или пресерски алати имају улогу обраде метала деформацијом, или обраде без скидања струготине при којима се метал даје жељени облик пластичном деформацијом и одвајањем. Алат који се прикључује на машину (пресу) има функцију обликовања радног производа.

Сила се са машине преко алата преноси на радни комад. Према томе, динамику прераде деформацијом остварује машина, а геометрију радног комада обезбеђује алат. Методе обраде метала деформацијом су многобројне и оне налазе најширу примену у металним индустријама (моторној, авионској, индустрији полуфабриката, прецизној механици, индустрији производа друштвеног стандарда и сл.) [2]

Циљ овог начина прераде је да се са најмање могућим отпадом материјала и са најмањим бројем радних операција добију комади у коначном облику, тако да се исти уз понекад минималну обраду са скидањем струготине или без ње, могу непосредно употребити или уградити у одговарајући склоп, као саставни елемент истог.

На основу овога следи да је за правилан избор технолошког процеса прераде деформацијом потребно извршити:

1. Анализом процеса из равнотежних услова и услова пластичног течења за дотични начин прераде прорачунавају се напонско-деформациони односи, на основу којих се добијају потребне силе и рад за извршење деформације. На даље се студирају услови под којима се постиже оптимални процес прераде, односно највећи степен деформације и најмањи могући број радних операција.
Даљи задатак ове анализе је налажење најприкладнијих димензија и конфигурације почетног материјала и коначно прерађеног комада. При томе је потребно установити функционални утицај пластичне деформације на механичка и остала физичко хемијска својства метала, којима се обезбеђује квалитет финалног производа.
2. Алат по својој конструкцији мора задовољити захтеве техничко-економског рентабилитета. То значи да алат по свом облику треба да буде што је могуће једноставнији и да се састоји из максимално могућег броја стандардизованих елемената. На тај начин се постиже нижа цена алата.
Међутим, тежња за једноставношћу не сме да доведе до погоршања функционалности алата, смањења тачности рада и скраћења његовог века трајања.
3. Машине за обраду се одређују према врсти радне операције, потребној сили, снази, ходу и осталим параметрима процеса обраде. Универзалне машине за обраду деформацијом (као: кривајне пресе, фриксione, хидрауличне пресе, ваздушне, падајући чекићи и сл.) могу се користити зависно од конструкције алата за различите процесе прераде деформацијом.

Подручје обраде метала може се са становишта деформације поделити на два дела, и то:

- деформација до разарања материјала,
- пластична деформација.

Разарање метала се изводи у циљу раздвајања комада на делове. С обзиром на облик почетног материјала, пластична деформација обухвата:

- Прераду лимова (табле лимова, траке, комади-платине)
- Прераду компактних тела (вучени, ваљани и ковани профили разних облика попречног пресека, дебеле плоче..и сл.)

Лимови се пластичном деформацијом прерађују процесима:

- савијање
- дубоко извлачење
- разним пластичним обликовањима

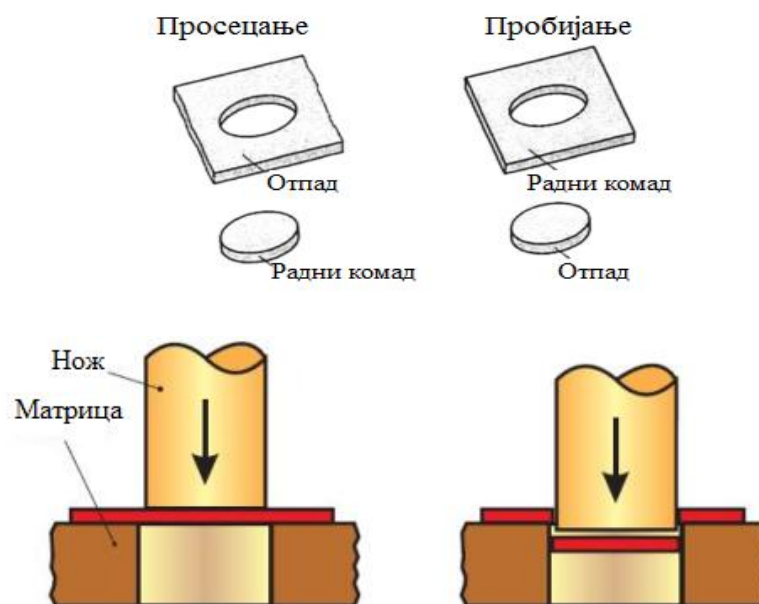
Компактна тела се прерађују процесима:

- пресовања
- истискивања
- ковања.

Технологија прераде метала деформацијом је модерни вид прераде метала који се примењују у готово свим савременим фирмама. Овај начин прераде у односу на остале има низ техно-економских предности. Због тога се данас у свету и показује стална тенденција процентуалног пораста овог начина прераде заједно са обрадом скидања струготине. [2]

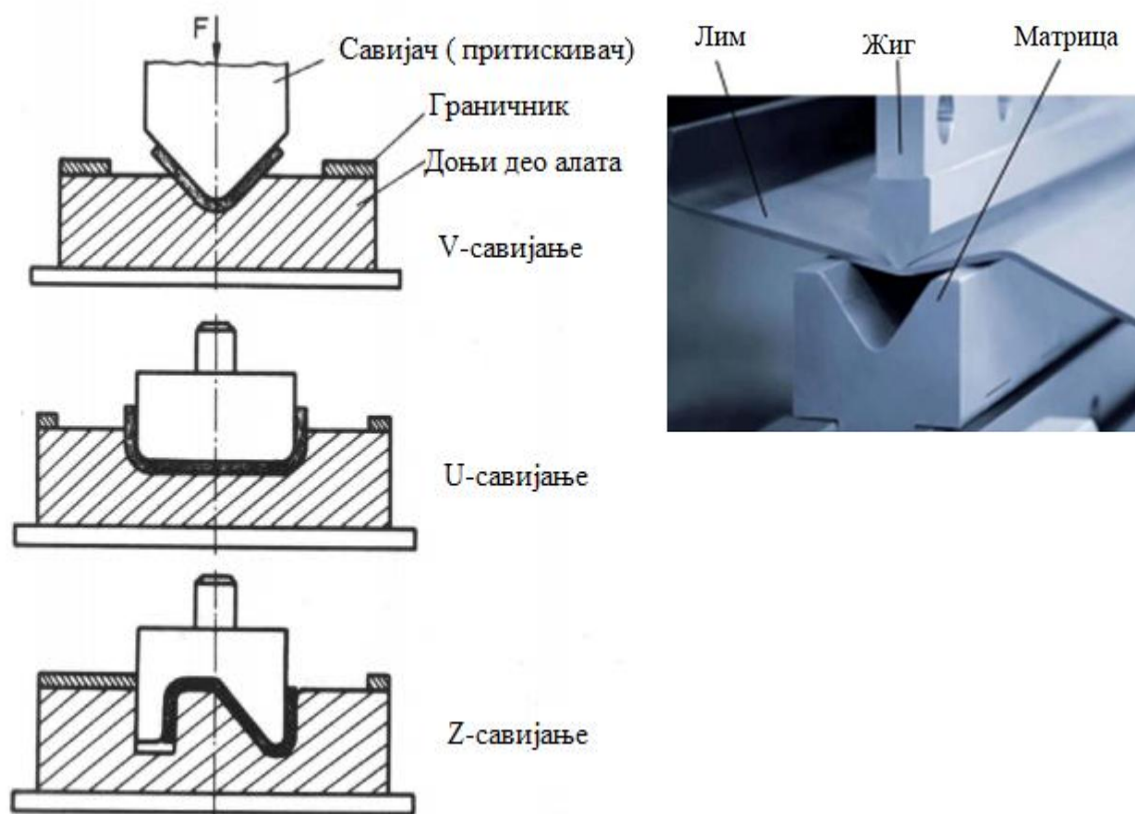
На следећим сликама (слика 4.1, слика 4.2, слика 4.3) приказано је неколико основних операција у оквиру технологије обраде метала деформацијом:

1. Просецање и пробијање

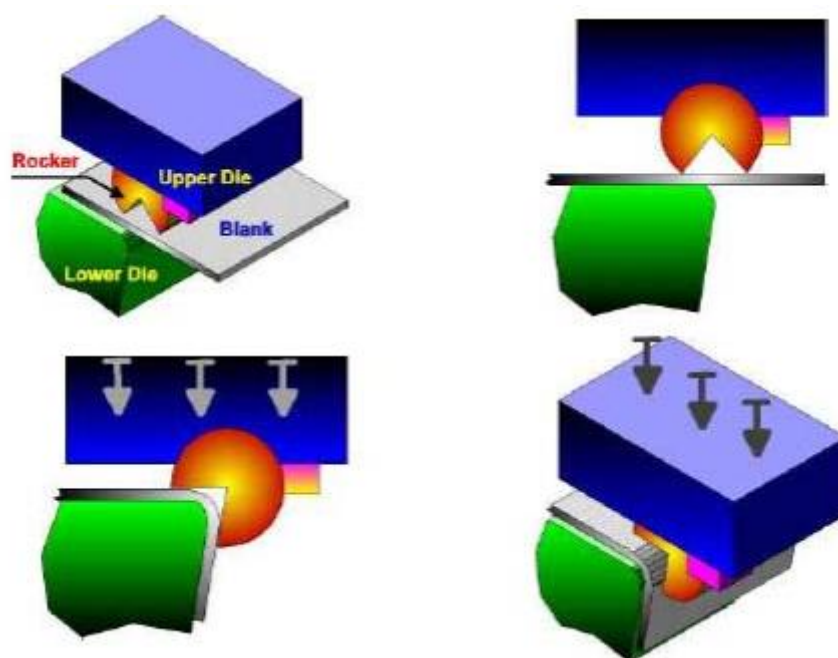


Слика 4.1 Операције у оквиру пробијања и просецања

2. Савијање



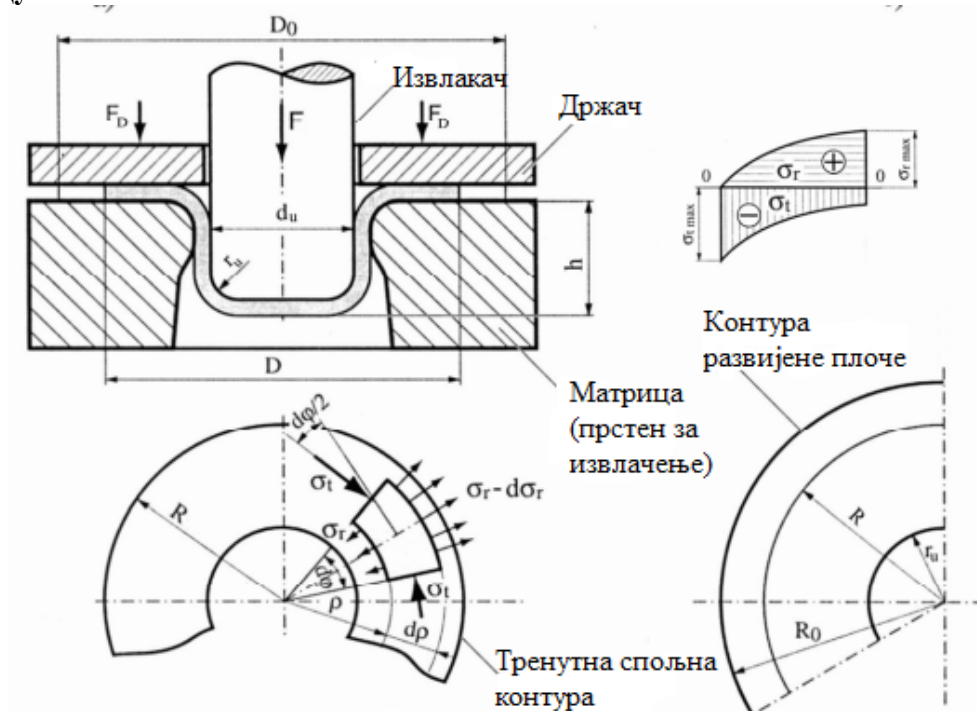
А)



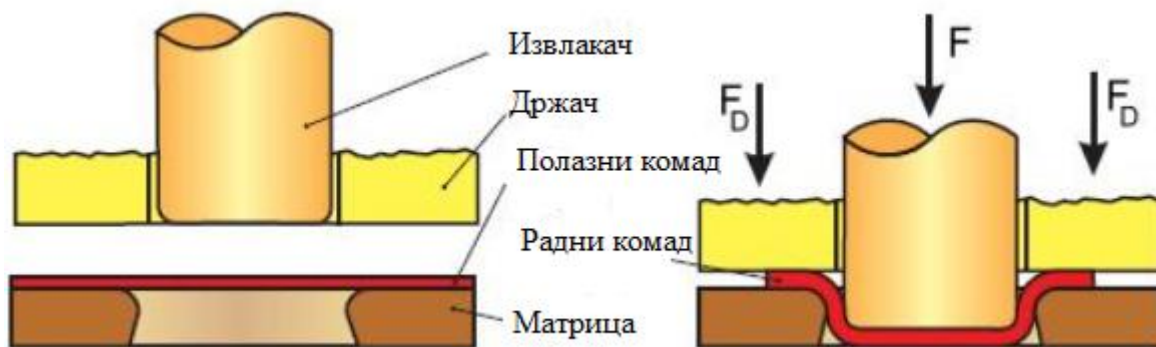
Б)

Слика 4.2 Операције у обради савијањем А) примери профила савијања Б) позиције алата током савијања комада [10]

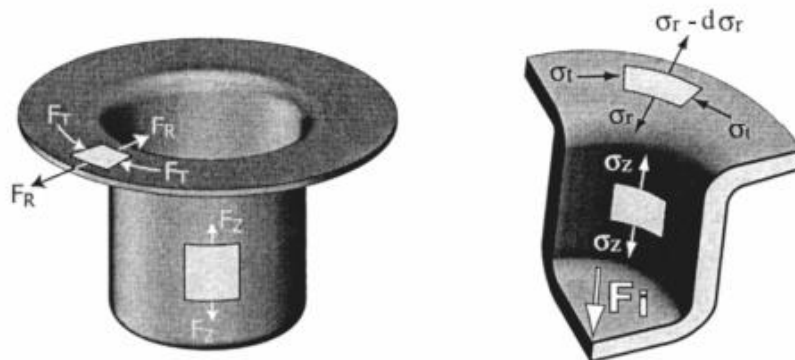
3. Дубоко извлачење



А)



Б)



В)

Слика 4.3 А) Цртеж, оптерећења и силе које се јављају приликом извлачења, Б) 3D модел и силе које се јављају на појединим местима, В) Операције у обради извлачењем [11]

4.2. Алат за просецање и пробијање

Подела се може вршити на разне начине. Једна од могућих класификација алата је следећа:

1. По конструктивним карактеристикама,
2. По технолошким карактеристикама,
3. По експлоатацијским карактеристикама.

4.2.1. Типови алата према конструктивним карактеристикама

Основна подела је на алате са вођењем и алате без вођења.

А) Алати мале тачности

- а) отворени тип алата без вођења за пробијање и просецање великих или грубих делова из дебелог материјала у малосеријској производњи
- б) отворени са непокретним скидачем за пробијање и просецање мањих делова из дебелог материјала у малосеријској производњи
- в) отворени са еластичним скидачем за пробијање или просецање танких материјала

Б) Алати средње тачности

- г) са плочастим вођењем за просецање и пробијање малих делова у серијској производњи

В) Алати високе тачности

- д) са стубним вођењем за просецање и пробијање, савијање и извлачење тачних делова у серијској и високосеријској производњи
 - ђ) директно вођење просекача по већем пречнику
- Најчешће се примењује стубно вођење са цилиндричним површинама.

Подела алата по технолошким карактеристикама

- а) једноставни алати за просецање,
- б) једносечни и вишесечни алати за пробијање,
- в) комбиновани алати за узастопне операције сечења,
- г) комбиновани алати за обједињене операције.

Могуће је и обједињавање разнородних операција, комбиновање раздвајања и обликовања. [2]

Делови технолошке намене директно учествују у извођењу технолошких операција и долазе у контакт са материјалом. Ови делови се могу поделити у три групе:

- а) радни елементи (пробојци, просекачи, матрице и сл.)
- б) делови за локацију (граничници, бочни ножеви, вођице и сл.)
- в) делови за држање и уклањање комада (држачи, скидачи, избацивачи)

Делови конструкционог карактера држе све елементе у једној целини. То су:

- а) ослонци и држачи (плоче, рукавци, граничници)
- б) делови за вођење (стубови, чауре, плоче за вођење)
- в) стезни и остали делови (завртњаци, чивије, опруге)

Помоћна група делова претвара вертикално у хоризонтално кретање, посебни механизми са клином и стрмом равни (шибери).

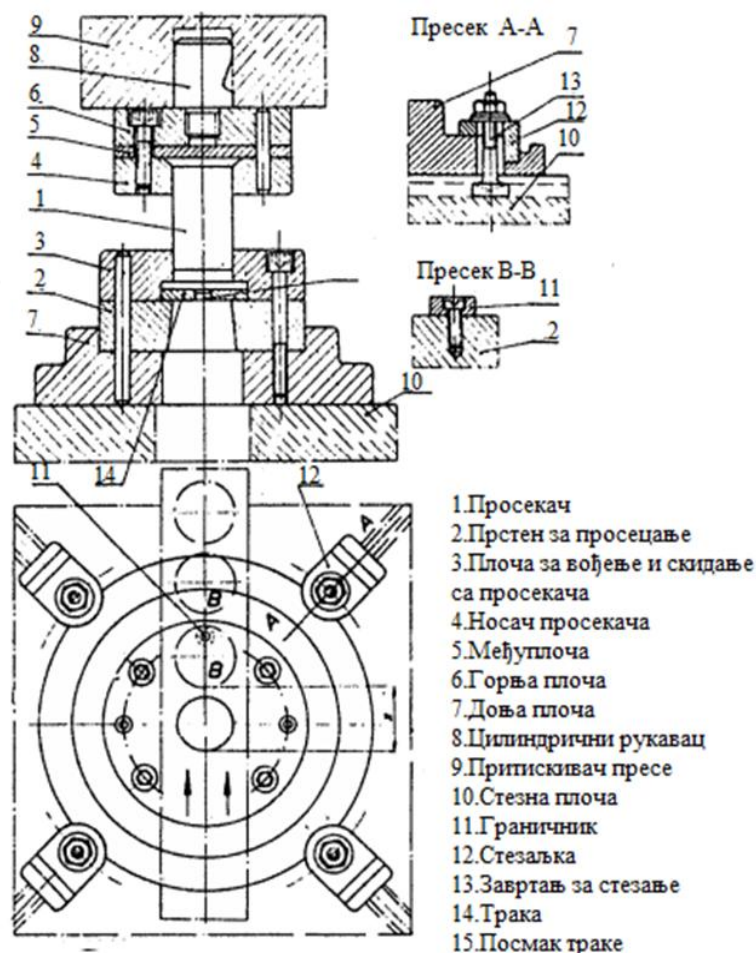
Типичне операције раздвајањем материјала помоћу алата на пресама су, свакако **просецање и пробијање**. Код ових операција се материјал раздваја по затвореној контури. Код просецања је просечено језгро радни комад, а остатак траке је отпадак, код пробијања је пробијено језгро отпадак.

Међутим, зависно од облика радног комада и конструкције алата, постоји још низ операција раздвајања од којих су неке систематизоване. Алат за просецање и пробијање ради на истом принципу као и маказе, с тим што се у овом случају материјал раздваја по затвореној кривуљи, према облику комада.

Просекач (1) који се нормално ради од легираног алатног челика учвршћен је на носачу просекача (4), на тај начин што му је врх раскован. Да би се повећала површина која преноси силу просецања и смањио површински притисак, каљени просекач се не наслања директно на горњу плочу (6) израђену од конструкционог челика, него на каљену међуплочу (5).

Цео горњи склоп алата се најчешће повезује завртњима и осигурава цилиндричним стубовима. Горњи део алата је преко цилиндричног рукавца (8) спојен са притискивачем пресе (9).

Једну од варијанти таквог споја приказује позиција алата и пресе на слици 4.4. Плоча за стезање је завртњима (13) везана са притискивачем пресе (9). Испадање цилиндричног рукавца (8) се спречава завртњима (13).



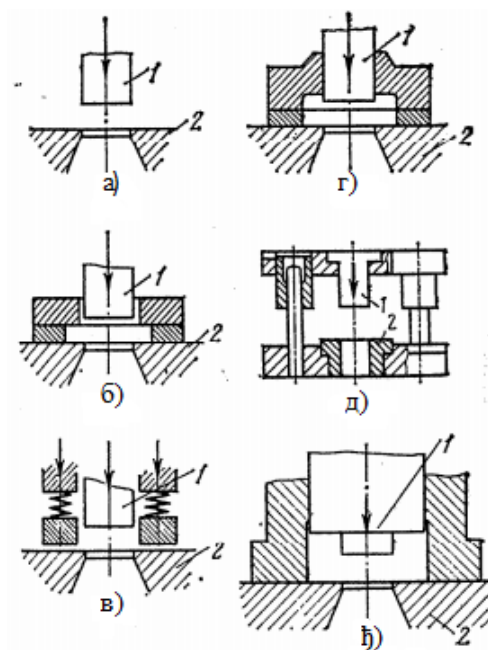
Слика 4.4 Алат за просецање и пробијање

Доњи склоп алата се састоји од: прстена за просецање (2), плоче за вођење (3), граничника (11) и доње плоче (7). Овај склоп се такође везује завртњима и цилиндричним осигурачима.

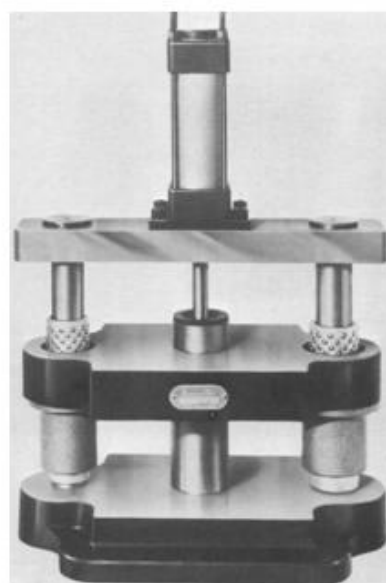
Плоча за вођење (3) врши разне функције као што су:

- вођење просекача (1), односно усмеравање горњег у односу на доњи део алата,
- вођење траке лима,
- скидање отпатка са просекача након завршене операције просецања.

На следећој слици 4.5 приказани су типови вођења алата за пробијање и просецање као и модел једноставнијег алата из праксе (слика 4.6). Систем за вођење алата има задатак да центрира и обезбеди паралелност хода покретног и непокретног дела алата. [3]



Слика 4.5 Типови вођења алата за савијање



Слика 4.6 Алат за пробијање, посецање

4.3. Алати за савијање

Обрада савијањем, која спада у подручје прераде метала пластичном деформацијом, веома је заступљена као грана технологије у металној индустрији.

Како у малосеријској, тако и у великосеријској производњи, технологија савијања упоредо са прогресивним развојем технологије заваривања, у последње време све више истискује друге начине обраде у тешкој машиноградњи.

Као полупроизводи за даљу обраду савијањем се најчешће користе лимови и траке, али се не искључује могућност прераде и других полупроизвода. У тешкој машиноградњи данас операције савијања, комбиноване са заваривањем, често замењују технологију ливење и ковања тешких делова.

Технологија израде делова савијањем нуди низ предности. Конструкције израђене технологијом савијања су лакше од ливених, а производни процес је једноставнији што се, свакако, одражава кроз економске ефекте. Осим тога, већа је и отпорност конструкција и то нарочито на ударна оптерећења.

Процес савијања се може комбиновати и са осталим процесима обраде деформацијом, пробијањем, извлачењем и разним другим обликовањима. Ова технологија заузима видно место у изради делова за лака и тешка возила, тракторе, шинска возила, пољопривредне машине, апаратуру. [3]

У зависности од димензија облика комада, профила полупроизвода и самог карактера производње, процес савијања се обавља:

1. Алатима на пресама (кривајним, коленастим, ексцентар, фрикционим, хидрауличним и специјалним пресама).
2. Ваљцима на ротационим машинама за савијање.
3. Посебним уређајима на специјалним машинама за навијање.

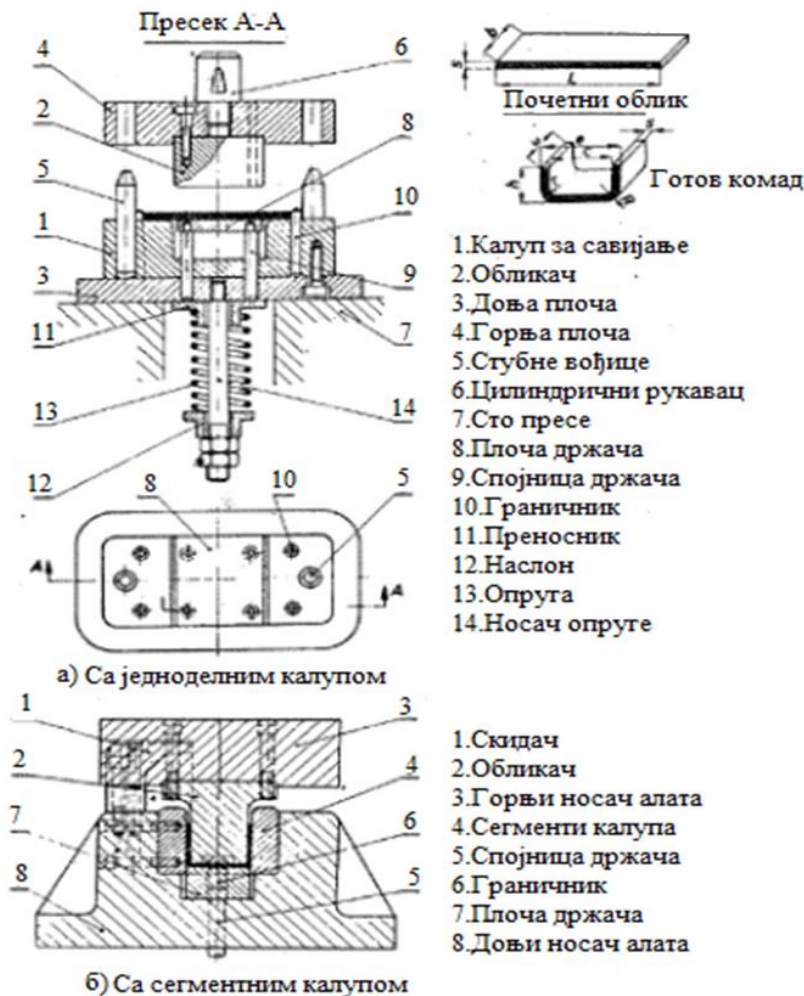
На ротационим машинама се савијају комади преко великог радијуса (котурови, цилиндри, резервоари и сл.).

За савијање посебних облика користе се уређаји и специјалне машине за савијање (нпр. машине за савијање цеви).

Компликованији комади се савијају у неколико радних операција. Технологија може бити постављена тако да се за сваку операцију користи посебан алат, или да се неколико операција савијања врши истовремено, или поступно са комбинованим алатима.

Типични алат за савијање двоструког угаоника (U-профила) је приказан на слици 4.7. Радни комад (развијене дужине L , ширине b и дебљине s) поставља се на једноделни калуп за савијање (1) и под притиском притискача (2) (учвршћеног у горњој плочи), савија се на коначне димензије. Поред тога што је комад пре почетка савијања ограничен (са четири граничника (10)), постоји опасност једностраног клизања лима у отвор калупа.

Уколико дође до увлачења једног крака комада пре другог, тада се добија комад са несиметричним краковима (различите висине h). Због тога се радни комад у току процеса савијања придржава плочом држача лима (8), која се преко спојнице (9) наслања на опругу држача (13).



Слика 4.7 Алат за савијање двоструког угаоника

У повратном ходу пресе држач обавља функцију избацивача комада из калупа за савијање. За лакше и средње тешке радове притискивач и калуп за савијање раде се од челика за побољшавање.

Радне површине притискивача и калупа се тада термички обрађују на тај начин што се врши површинско каљење. Радне површине се загреју аутогеним пламеником и непосредно хладе млазом воде (аутогено каљење). Оваквим начином обраде се добија врло тврда кора (тврдоће 60-62–Rc) са жилавим језгром.

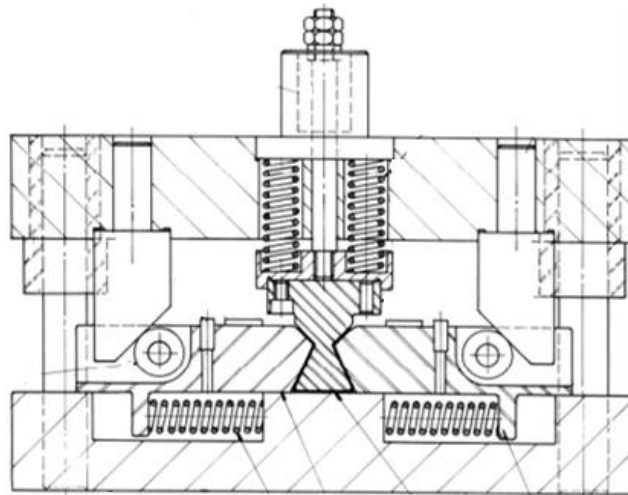
Код тежих алата калуп за савијање се изводи са сегментима, који се раде од легираног алатног челика. Предности ових у односу на једноделне калупе су исте као и код обраде просецањем.

Сегменти калупа (4) су укупани у местима доњег носача алата (8) и причвршћени завртњима.

Граничник (6) је уграђен у плочи држача (7), која је преко спојнице (5) везана са пнеуматскун уређајем за држање лима (овај се налази у столу пресе). Овакав начин ограничавања је могућ уколико је у комаду претходно пробијен отвор за ограничавање. Ако је ширина комада (b) велика, тада се мора предвидети и могућност скидања комада са притискивача.

На описаној конструкцији за ту сврху служи конзолни скидач (1), који је причвршћен на доњем носачу алата. У горњем носачу алата је укупан канал ширине и дубине која одговара димензијама скидача.

За савијање симетричних профила под разним угловима ($0 < \alpha < 180^\circ$) се примењују врло једноставни алати, који се означавају као алати за савијање V-профила у хоризонталном или вертикалном правцу (слика 4.8). Испружени комад се поставља на калуп за савијање, до граничника. Притискивач (одговарајућег профила) савија радни комад и уједно га придржава помоћу држача (везаних за уређај за држање лима). Корекција угла врха притискача се врши након пробе првог комада. [3]



Слика 4.8 Алат за савијање са V-профилом који је уједно и симетричан

4.4. Алати за извлачење

Дубоко извлачење је процес обраде метала (у хладном или, у посебним случајевима, у врућем стању), који у серијској производњи делова, у односу на остале технолошке дисциплине заузима видно место. Циљ овог начина прераде је да се из равне плоче са посебним алатом израде посуде разних облика попречног пресека.

Специфичност самог процеса омогућава да се са најмањим бројем радних операција и уз минимални отпадак добију извучени елементи коначном облику, тако да се могу непосредно употребити, или уградити у одговарајући склоп.

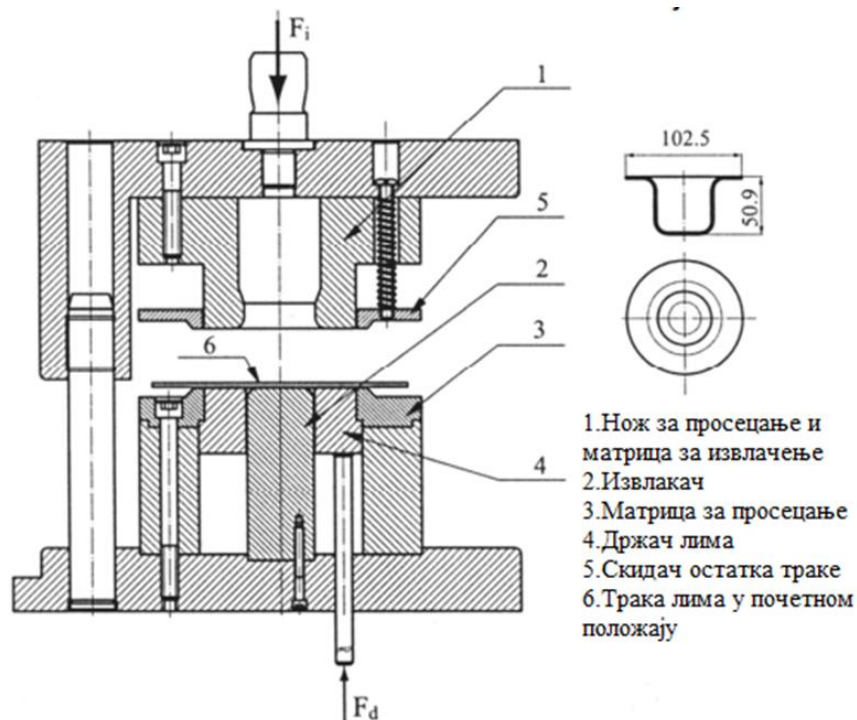
Дубоким извлачењем углавном се мисли на неке производе, као што су: делови каросерије моторних возила (блатобран, кровови, врата, резервоари, фарови, разни покривни елементи итд.), разни артикли животног стандарда (делови за хладњаке, штедњаке, грејаче, посуде, разна метална амбалажа и сл.), делови за радио и телевизијску индустрију и низ осталих.

С обзиром да се дубоким извлачењем у хладном стању побољшавају механичке особине материјала, данас се овом технологијом производе и најодговорнији елементи авиона и ракете.

Технологијом дубоког извлачења се обрађују материјали дебљине од 0,02 до 50mm са димензијама од неколико десетих делова милиметра па до неколико метара и са тежинама које варирају од грама до тоне.

Машине за дубоко извлачење су кривајне и хидрауличне пресе. Зависно од врсте и облика комада који се извлачи употребљавају се кривајне (ексцентар и коленасте) пресе простог, двоструког или троструког дејства. [3]

Почетни облик материјала за прераду је равна плоча која се означава као платина (слика 4.9). Облик ове развијене плоче платине може бити: круг, квадрат, правоугаоник, елипса или ма каква затворена контура крива, која зависи од облика извученог комада.



Слика 4.9 Алат за извлачење из равне плоче

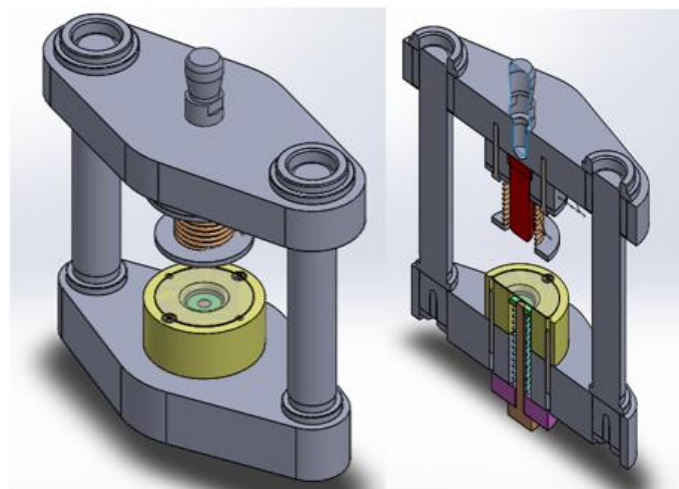
Дубоко извлачење комада се може изводити на два начина и то као:

1. Дубоко извлачење без промене дебљине материјала и
2. Дубоко извлачење са стањивањем зида односно са редукцијом дебљине материјала.

Радни елементи алата за извлачење су извлакач и прстен за извлачење. Платина се поставља на прстен за извлачење и под дејством силе извлакача (сила извлачења F) увлачи у прстенасти зазор између извлакача и прстена.

Да би се спречило гужвање лима и стварање набора, платина се у току процеса извлачења придржава плочом држача лима. Резултат извлачења је цилиндрична посуда са затвореним дном која се означава као чанче.

На следећој слици (слика 4.10) је приказан 3D модел алата за дубоко извлачење, од кога се добија комад са стањивањем зида односно стањивањем дебљине материјала.

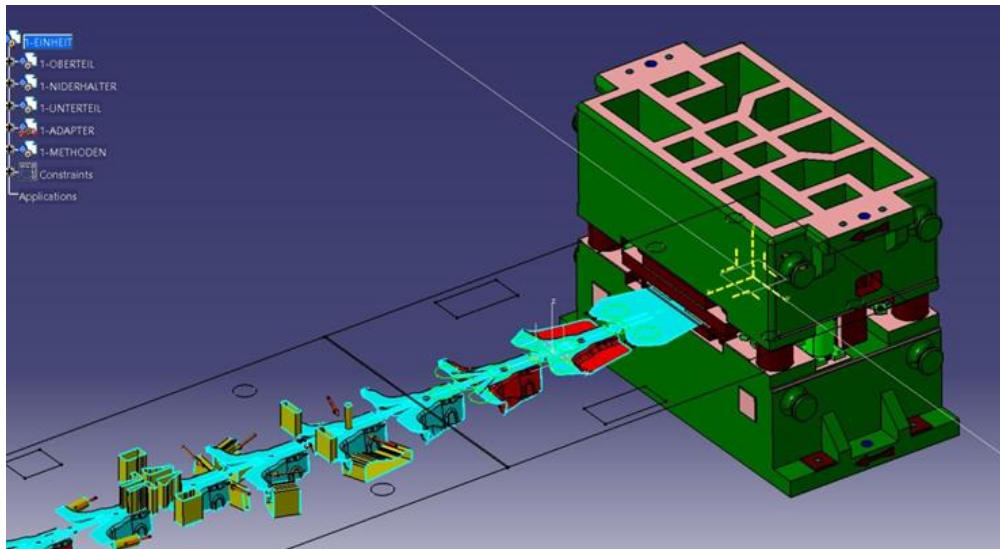


Слика 4.10 3D модел алата за дубоко извлачење [12]

5. Анализа примене ерозимата са жицом за израду делова пресерских алата

Алати у обради метала деформисањем се састоје од великог броја позиција које се обрађују на савременим CNC машинама (CNC-глодалицама, стругу, ерозимату и др.). Посебну улогу имају CNC ерозимати приликом израде резних контура на позицијама као што су матрица, нож, усадна плоча и сл. [5]

На следећим сликама представљен је пример склопа алата са методом (слика 5.1), доњи део алата (слика 5.2) и издвојено ножеви из алата (слика 5.3).

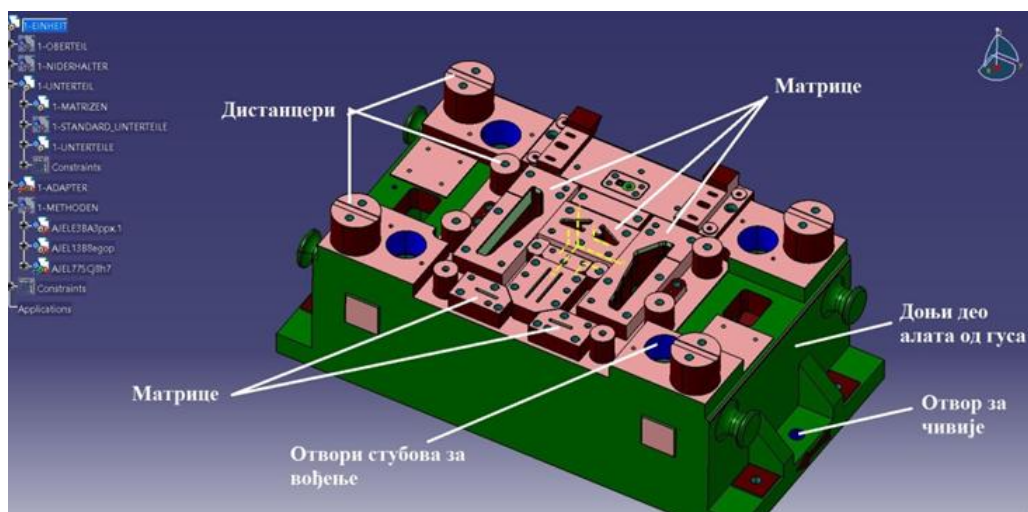


Слика 5.1 Склоп алата и пример траке од лима која се користи

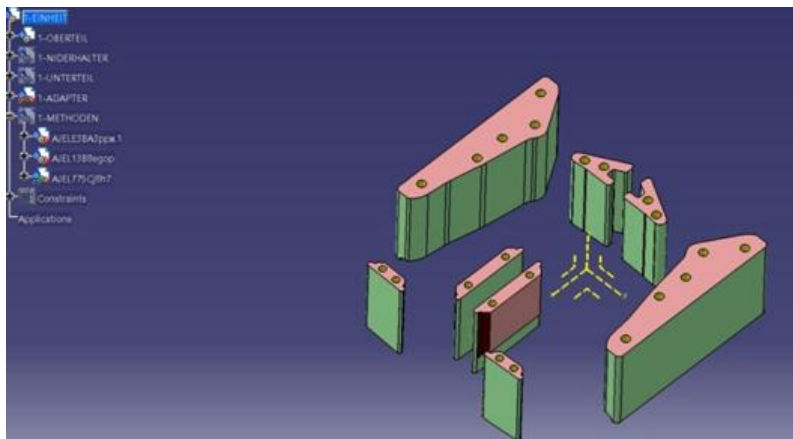
У овом кораку представљен је део пробијања и просецања у склопу алата. Дебљина траке је 2mm, од дебљине траке зависе и зазори приликом израде алата.

Склоп алата се састоји од већег броја елемената који се везују за горњи и доњи део алата или се преко међуплоча позиционирају у склопу алата.

Димензије и конструкција склопа алата директно зависи од облика, димензија, броја операција у оквиру алата, броја произведених комада, као и захтеваног степена њихове аутоматизације.



Слика 5.2 Слика доњег дела алата



Слика 5.3 Ножеви добијени сечењем на ерозимату са жицом

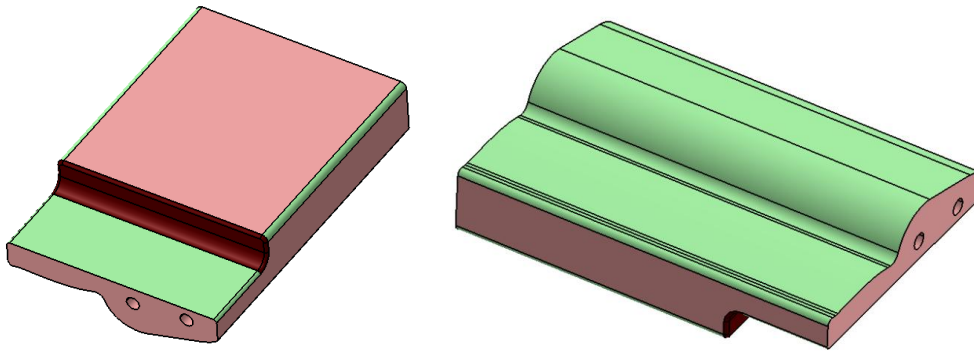
На предходној слици су представљени ножеви у алату и они се добијају израдом на CNC ероизмату (тачност ± 0.01). Велика прецизност захтева CNC технологије, брже време израде, добијање сложенијих површина и сл.

На следећим сликама је приказан положај и улога ножа који се добија сечењем на ерозимату (слика 5.4).



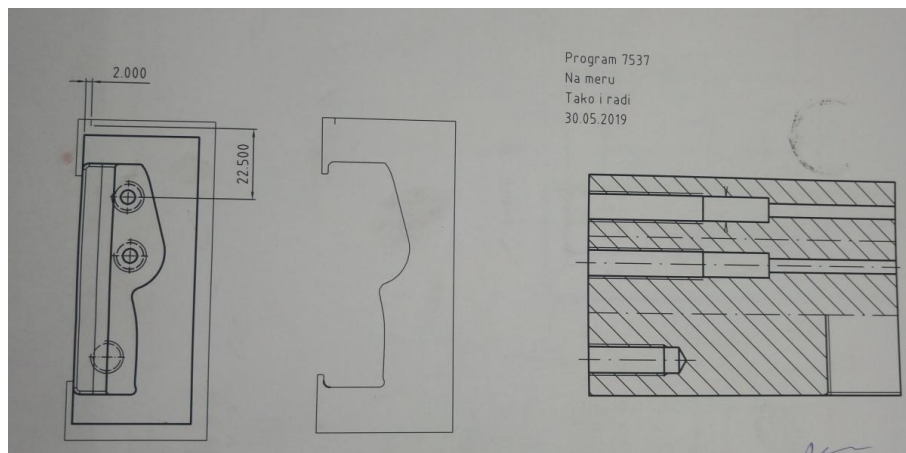
Слика 5.4 Приказан положај и улога ножа

Такође са предходних слика можемо видети да нож има улогу и просецања и пробијања тако што једна страна ножа има улогу контуре дела а друга која је брушена одсеца део који у следећим корацима иде у отпад.

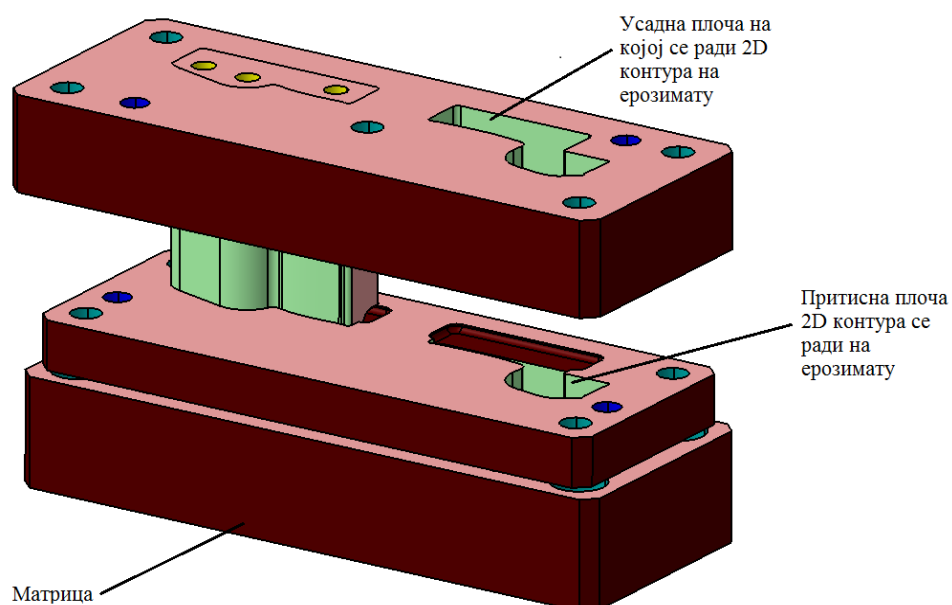


Слика 5.5 Пиказан је 3D модел ножа

Боје које су приказане на слици дају информацију о врсти машинске обраде. У овом случају розе бојом су обојене површине које су обрађене брушењем а светло зеленом бојом површине које се секу на ерозимату.



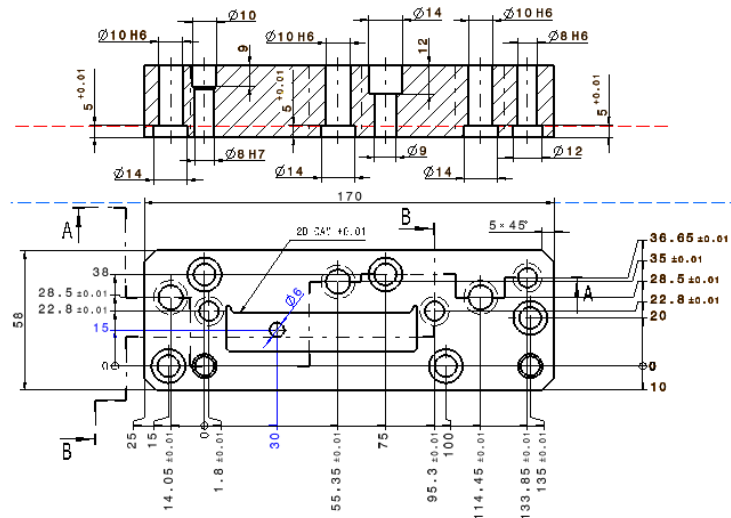
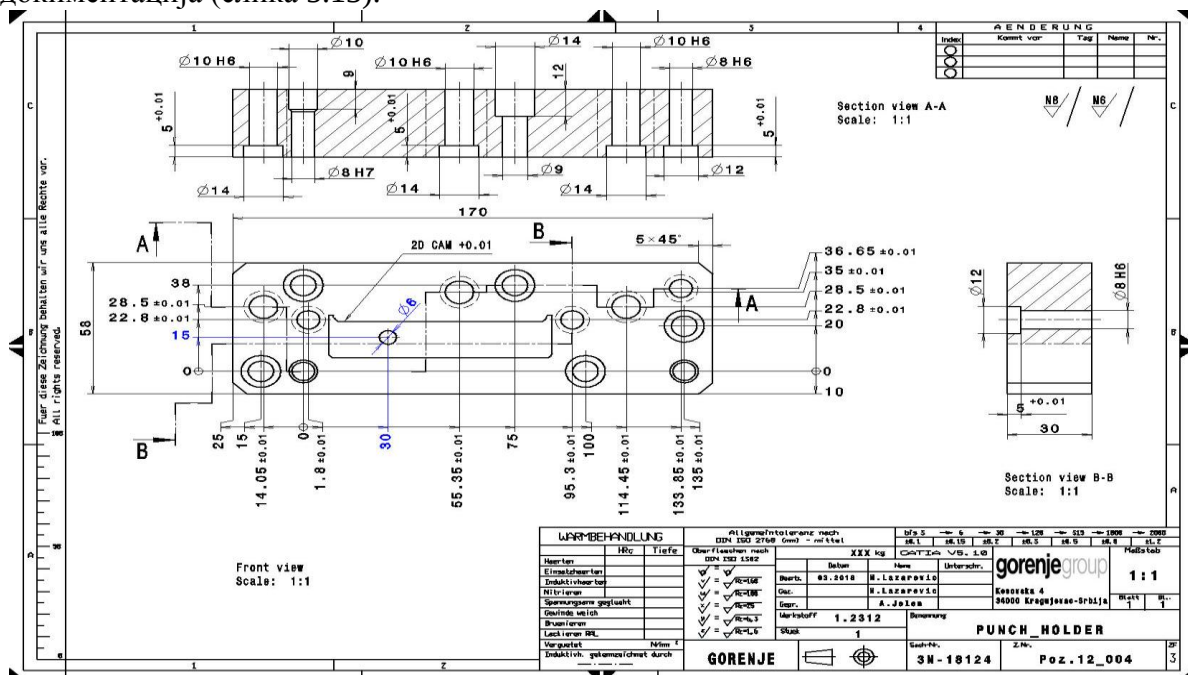
Слика 5.6 Приказана је контура ножа из припремка по којој се врши одсецање



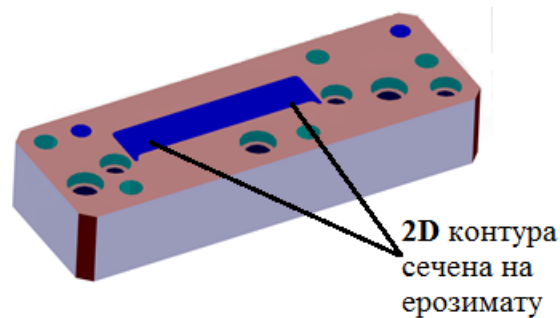
Слика 5.7 Положај делова алата који имају заједничку контуру и која се добија истим поступком сечења на EDM машини

На следећим сликама представљено је пар позиција код којих велику улогу има ерозимат са жицом и у којем делу технолошког поступка се ради сечење на ерозимату.

Усадна плоча технички цртеж (слика 5.11), 3D модел (слика 5.12) и технолошка документација (слика 5.13).



Слика 5.8 Технички цртеж усадне плоче



Слика 5.9 3D модел усадне плоче

Стан 1 од 1

Gorenje MDM d.o.o.

DELOVNI POSTOPKI DN 3N-18124

Овај је 10027363 ПОЈЕДИНАЧНИ АЛАТ ПОДНОЖНА ПЛОШЌА GE

Организација	10.04.2018	Одржао: Вилеја	Датум: Вилеја
Тимејг	10.04.2018	Одржао: Вилеја	Датум: Вилеја

ЗАЧЕТЕК:	24.01.2018
ЛАНСИРАЊЕ:	24.01.2018
ВИЗУЕЛ:	
ЗАКЉУЧЕК:	04.05.2018
СТРОЈНИ РОК:	

ПОЗИЦИЈА	НАЗИВ	БРАУП	СТЕВИКА НАЧЕТА	БТ КОД	НАЗИВ	МАТЕРИЈАЛ	СКОПОВЕ ДИМЕНЗИЈЕ
12004	12 004 PUNCH HOLDER	10028922		1	FORMAT NESTANDARDNI 1.2312	1.2312	175 X 63 X 35

ИН. ЗАП. БТ.	КАТ. КОД ПОТЕКОН	БТ. ЗАП.	П.Л. КАД.	НАЗИВ ПОСТОПКА ИЛИ ОПИС	КАД.	ДЕЛО	ОПРЕМА
POSTOPKA	ZACETEK/ZAOKLJUCEK	POTEKON	BPRA DO				

10	75381	51210	Глодање				
----	-------	-------	---------	--	--	--	--

ГЛОДАЊЕ површине са квалитетом N6 ради са додатком за брушење 0,25 mm по страни, остало ради на мету.

20	75382	54100	Брушење мери				
----	-------	-------	--------------	--	--	--	--

БРУШЕЊЕ МЕРНО само обелу по дебелини и две намене стране у 90°.

30	75383	52100	Координатно брушење				
----	-------	-------	---------------------	--	--	--	--

КООРДИНАТНО БРУШЕЊЕ на основу брушењих површина ради све на мету и задвоји даје коте.

40	75384	55100	Ерозирање жицом и пескарање				
----	-------	-------	-----------------------------	--	--	--	--

ЕРОЗИРАЊЕ ЖИЦОМ ПОСЛЕ УТВРЂИВАЊА РАЗВИЈЕНОГ СТАЊА паралелно се на брушене површине и на основу толерананних отвора ради намена детаљ на мету

PROGRAM

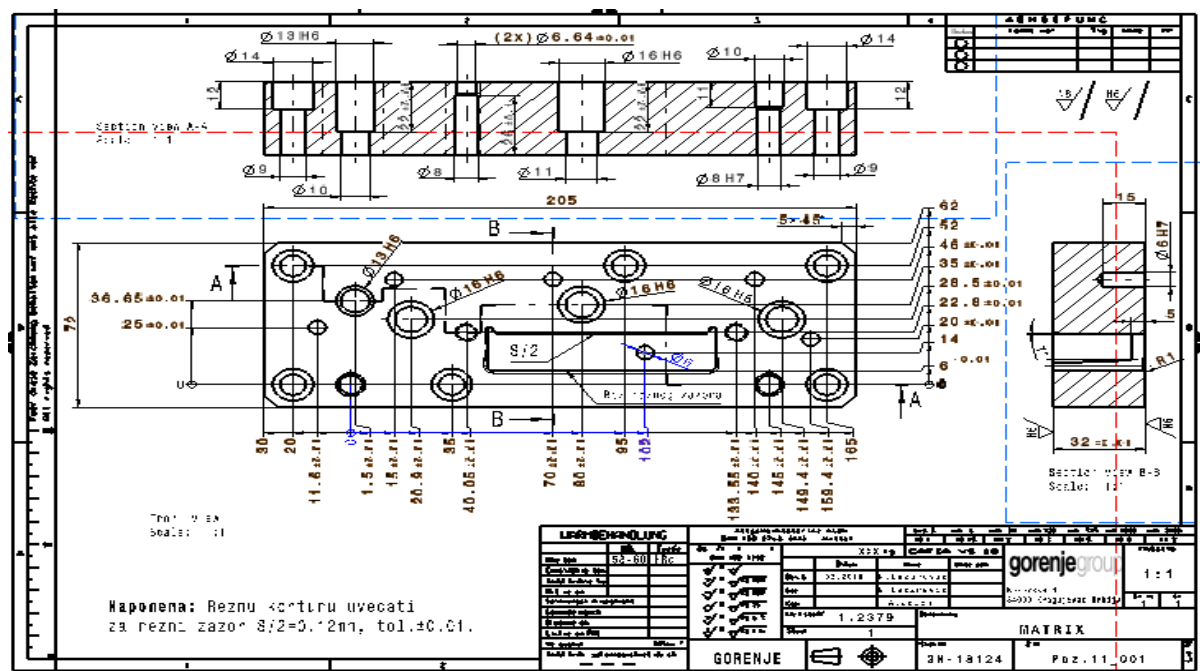
50	75385	67100	Bravar				
----	-------	-------	--------	--	--	--	--

BRVAR припреми за монтажу и обележавање.

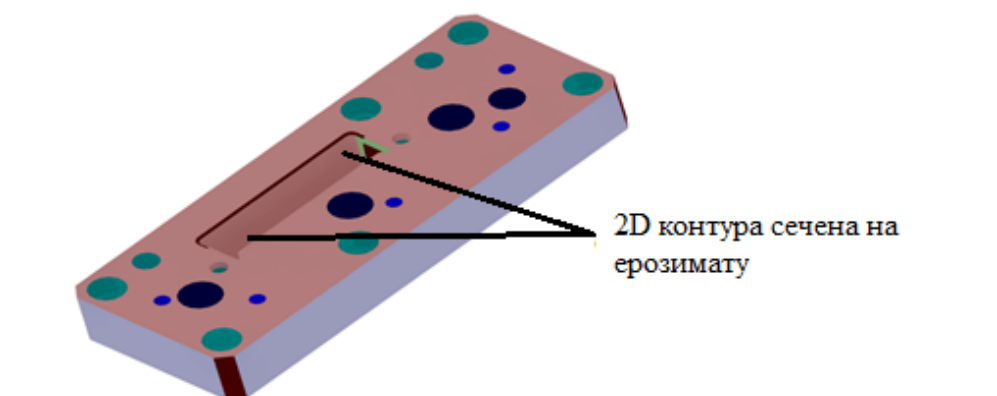
Слика 5.10 Технолошка документација

Ерозирање жицом се врши после утврђивања развијеног стања, што значи да је дефинисана контура ножева и да неће бити измена на делу који се прави и могуће је радити сечење по задатој контури.

Матрица технички цртеж (слика 5.11), 3D модел (слика 5.12) и технолошка документација (слика 5.13).



Слика 5.11 Технички цртеж матрице



Слика 5.12 3D модел матрице

Табела 5.1 Време израде матрице на ерозимату

Yf.b	Std.p.	Ime	Kr.naz.	RC	Normativ	podešavan	Vr.rada	Br.rad.:
1	10	GHU	Glodanje	GHU	51210	1	0	2
2	30	KBU	Koordinatno bušenje	KBU	52100	1	0	5
3	50	bra	Bravar	bra	67100	1	0	0,5
4	60	KOK	KOOPERACIJA - KALJENJE	KOK	98100	1	0	0,01
5	70	BRR	Brušenje merno	BRR	54100	1	0	2
6	80	KBR	KOORDINATNO BRUSITI H7	KBR	54300	1	0	4,5
7	110	EZ	Eroziranje žicom	EZ	95100	1	0	5,75
8	120	HAS	CNC_Glodanje_HASS	HAS	51910	1	0	2
9	150	bra	Bravar	bra	67100	1	0	0,5

Gorenje MDM d.o.o.

Stran 1 od 2

DELOVNI POSTOPKI DN 3N- 18124

Orodje: 10027363 POJEDINAČNI ALAT PODNOŽNA PLOŠČA GE

Oglednik:	10.04.2018	Djordjević Višnja	Djordjević Višnja	ZACETEK:	24.01.2018
Tehnolog:	10.04.2018	Djordjević Višnja	Djordjević Višnja	LANSIRAN:	24.01.2018
				VZOREC:	
				ZAKLJUČEK:	04.05.2018
				STROJNI ROK:	

POZICIJA	NAZIV MP	SIFRA MP	STEVILKA NACRTA	ST.KOS	NAZIV	MATERIAL	SUROVE DIMENZIE
11001	11 001 MATRIX	10028916		1	FORMAT NESTANDARDNI	1.2379	210 X 77 X 37
				1.2379	CAS DELA	DELO OPRAVIL	PREGLEDAL DNE
10		75568	51210		Glodanje		
GLODANJE tolerovane kote i površine sa kvalitetom N6 radi sa dodatkom za brušenje 0.3 mm po strani, ostalo radi na meru. Detalje koje radi EROZIRANJE ŽICOM ne radi.							
30		75569	52100		Koordinatno bušenje		
KOORDINATNO BUŠENJE pomeri se od naznačenog polaza (površina B i C) za 0,3 mm i radi i to: tolerovane rupe i tolerovane dubine sa dodatkom za brušenje 0,3mm po strani, na mestu tolerovanih otvora radi date otvore za žicu. Ostalo radi na meru.							
50		75570	67100		Bravar		
BRAVAR pripremi za termičku obradu i obeleži poz.							
60		75571	98100		KOOPERACIJA - KALJENJE		
KALJENJE-VAKUMSKO na 58 do 60 HRC, profil se erozira žicom.							
70		75572	54100		Brušenje merno		
BRUŠENJE MERNO brusi baznu stranu A i zadovolji kotu 26(+ - 0,1) brusi debljinu na meru i zadovolji datu kotu, vodi računa kotu 22(+ - 0,01) zadovoljava CNC glodanje, na osnovu tolerovanog otvora brusi površine B i C na meru i zadovolji kote 30 (+ - 0,01) i 62 (+ - 0,01).							
80		75573	54300		KOORDINATNO BRUSITI H7 IZVRTINE.		
KOORDINATNO BRUŠENJE na osnovu brušenih površina B i C tolerovane rupe radi na meru i zadovolji date kote.							

Gorenje MDM d.o.o.

Stran 2 od 2

DELOVNI POSTOPKI DN 3N- 18124

Orodje: 10027363 POJEDINAČNI ALAT PODNOŽNA PLOŠČA GE

Oglednik:	10.04.2018	Djordjević Višnja	Djordjević Višnja	ZACETEK:	24.01.2018
Tehnolog:	10.04.2018	Djordjević Višnja	Djordjević Višnja	LANSIRAN:	24.01.2018
				VZOREC:	
				ZAKLJUČEK:	04.05.2018
				STROJNI ROK:	

POZICIJA	NAZIV MP	SIFRA MP	STEVILKA NACRTA	ST.KOS	NAZIV	MATERIAL	SUROVE DIMENZIE
11001	11 001 MATRIX	10028916		1	FORMAT NESTANDARDNI	1.2379	210 X 77 X 37
				1.2379	CAS DELA	DELO OPRAVIL	PREGLEDAL DNE
110		75574	95100		Eroziranje žicom		
EROZIRANJE ŽICOMPOSLE UTVRĐIVANJA RAZVIJENOG STANJA na osnovu brušenih površina B i C radi tolerovane otvore na meru i na osnovu tolerovanih otvora za čivije radi naznačene detalje na meru. PROGRAM ispoštuj napomene date na crtežu.							
120		75575	51910		CNC_Glodanje_HASS		
CNC GLODANJE radi tolerovane dubine tolerovanih otvora i zadovolji kotu 22(+ - 0,01) a na osnovu tolerovanih otvora za čivije radi detalj D na meru.							
150		75576	67100		Bravar		
BRAVAR pripremi za montažu i obeleži POZ.							

Слика 5.13 Технолошка документација матрице

На следећим сликама приказан је пример дубоког извлачења и пример сечења на ерозимату.



Слика 5.14 Пример врха бојлера који се добија дубоким извлачењем



Слика 5.15 Алат за дубоко извлачење, представљен је горњи обликач

Отвори који се виде на слици 5.15 добијени су сечењем на EDM машини. Отвори се користе при пробијању отвора на комаду. У зависности од потребе и типа бојлера који је потребан у производњи у алат се постављају ножеви на места где су отвори потребни. Тако да је из једног алата могуће добити више различитих делова тј. са различитим положајем отвора на комаду.

Платина се поставља на прстен за извлачење и под дејством силе извлакача (сила извлачења F) увлачи се у прстенасти зазор између извлакача и прстена.

Да би се спречило гужвање лима и стварање набора, платина се у току процеса извлачења придржава плочом држача лима. Резултат извлачења је цилиндрична посуда.

На следећој слици (слика 5.16) је приказан алата за дубоко извлачење, од кога се добија комад са стањивањем зида односно стањивањем дебљине материјала. На слици 5.17 представљен је обликач са прорезима који се користе ако је потребно просецање отвора. Изглед ножева без скидача се може видети на слици 5.18.



Слика 5.16 Горњи обликач и нож у средини



Слика 5.17 Доњи обликач и матрице у средини

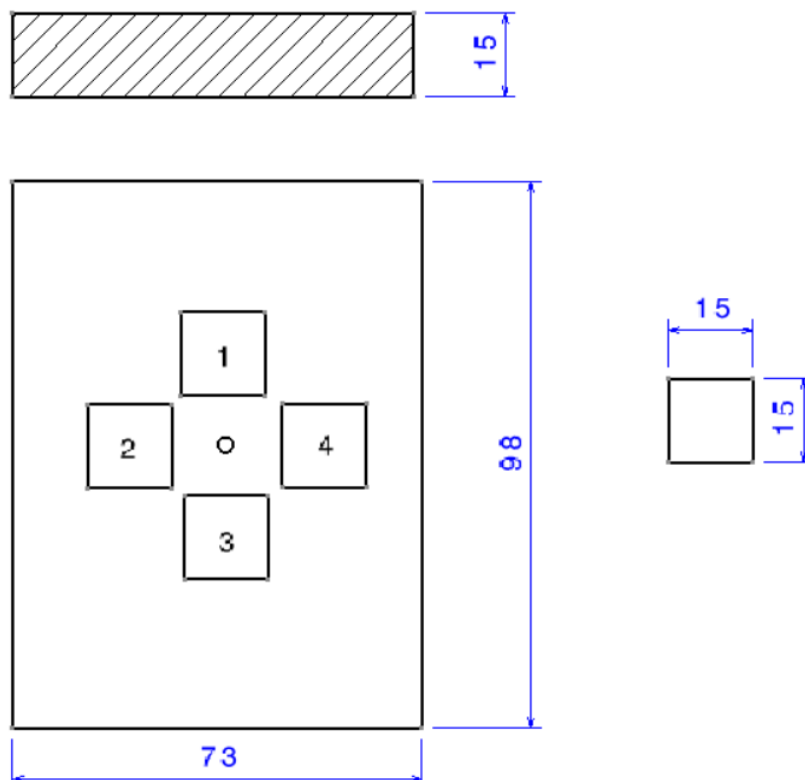


Слика 5.18 Положај обликача и ножева

6. Експериментална мерења и анализа резултата

У оквиру мастер рада извршено је и експериментално испитивање брзине резања ерозимата са жицом услед промене параметара, при истој дебљини припремка. За припремак је узета коцка димензија 98mm x 73mm x 15mm. Експеримент је имао за циљ да представи разлику и тачност сечења контуре услед промене параметара напона, јачине струје и брзине резања.

На слици 6.1 је представљена контура сечења и димензије припремка из којег су резањем на EDM машини изрезане коцкице димензија 15mm x 15mm. Четири коцкице истих димензија али са различитим параметрима резања.



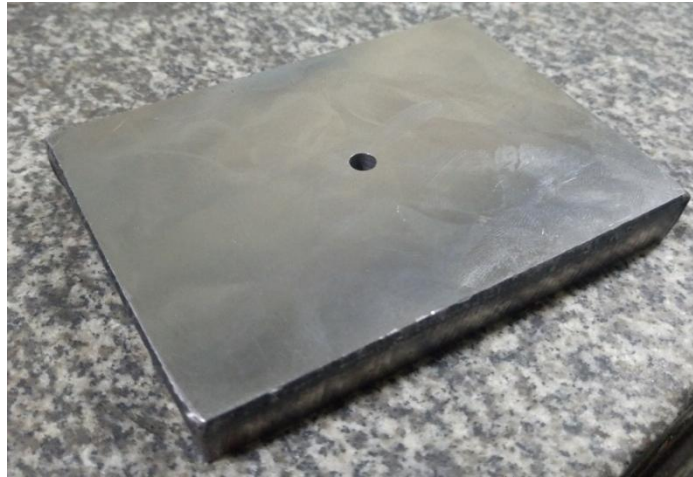
Слика 6.1 Цртеж контуре сечења

Цртеж контуре се ради у софтверу Auto CAD и на основу те контуре пише се програм за сечење на EDM машини.

Написан програм за цртеж са слике представљен је у наставку.

```

MM1-- назив програма
S1D1 -- први рез
G92 X0 Y0 -- почетна тачка
Y10 -- почетак реза до контуре
X +7,5 -- прва реченица
Y +15 -- друга реченица
X-15 -- трећа реченица
Y-15-- четврта реченица
X+8-- пета реченица
M02-- крај програма
  
```



Слика 6.2 Припремак челик Č0361

На предходној слици приказан је припремак који је предходно био на машинској обради брушење. Брушење је потребно да би на основу тих површина дефинисали полаз на машини. Полаз се дефинише помоћу две површине које су брушене и отвора.



Слика 6.3 Позиционирање на машини

У оквиру експеримента потребно је исећи 4 коцкице димензија 15mm x 15mm и положаји тих коцкица обележени су бројевима 1, 2, 3, 4 као што се може видети са слике 6.3.

Разлика приликом сечења ових коцкица је у параметрима који су коришћени приликом сечења.

Параметри сечења коцкице:

- коцкица број 1 - 40V-10A-2,2mm/min
- коцкица број 2 - 80V-15A-2,3mm/min
- коцкица број 3 - 60V-12A-2,4mm/min
- коцкица број 4 - 50V-10A-2,5mm/min

Услед различитих параметара добијамо различиту тачност добијених коцкица и отвора, а такође се појављује одступање и у тачности угла сечења.

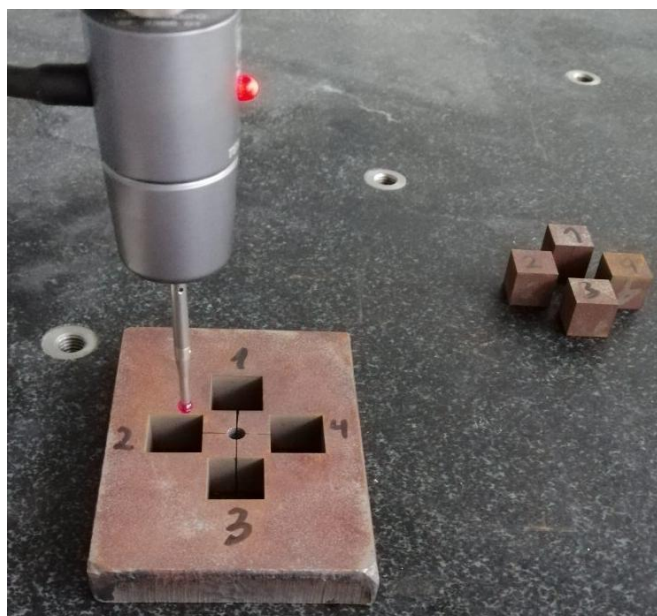
Након добијених комада сечењем на EDM-машини са жицом вршимо мерење и упоређивање тачности ерозимата при различитим параметрима обраде.



Слика 6.4 3D Машина TESA Micro-Hite 3D, уређај који се налази на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Као акредитована лабораторија за тестирања вршимо 3D мерења димензија на професионалном уређају за мерење TESA Micro-Hite 3D, стандард који се одликује великом прецизношћу мерења. Можемо мерити производе са димензијама до 460 x 510 x 420 mm.

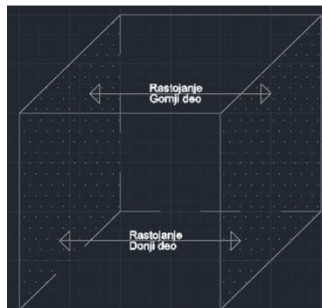
Мерење се врши одузимањем позиције додира у простору у односу на позицију калибрацијске кугле која је записана у просторној карти.



Слика 6.5 Мерење отвора и коцкица добијених сечењем на ерозимату

6.1. Резултати мерења

Мерена су растојања коцкица у доњем и горњем делу и тако за бочне површине и фронталне, на следећој слици се види поступак мерења а у табелама су представљене вредности које су измерене и њихова укупна разлика која се појављује.



Слика 6.6 Мерене површине

Слика 6.6 представља зоне мерења и положај површина које се контролишу.

Табела 6.1 Мерење површина коцкице број 1
Параметри сечења: 40V-10A-2,2mm/min

	Измерена вредност отвора			Измерена вредност коцкица		Укупна разлика
	Номинална вредност	Измерена вредност (mm)	Одступање (mm)	Измерена вредност (mm)	Одступање (mm)	
1	15.00	15.660	0.660	14.965	0.04	0.70
2	15.00	15.707	0.707	14.968	0.03	0.74
3	15.00	15.67	0.670	14.967	0.03	0.70
4	15.00	15.665	0.665	14.959	0.04	0.71

Бројевима 1,2,3,4 представљене су зоне које су мерене на 3D машини.

У табели 6.1 зеленом бојом обележено је мерење бочних површина 1- мерење растојања у горњем делу, 2- мерење растојања у доњем делу а редови 3 и 4 представљају мерење фронталних површина 3- мерење растојања у горњем делу 4- мерење растојања у доњем делу. Укупна разлика се може очитати и креће се у опсегу од 0,7 до 0,74 .

Табела 6.2 Мерење одступања угла коцкице број 1 у односу на Z осу

Измерена вредност отвора		Измерена вредност коцкица		Укупна разлика
Измерена вредност (°)	Одступање (°)	Измерена вредност (°)	Одступање (°)	
0.176	0.176	0.132	0.132	0.31
0.13	0.130	0.16	0.160	0.29
0.06	0.060	0.016	0.016	0.08
0.032	0.032	0.025	0.025	0.06

У табели 6.2 представљено је одступање угла резања у односу на Z осу. Укупна разлика се креће у опсегу од 0,06 до 0,31 степен.

Табела 6.3 Мерење површина коцкице број 2
Параметри сечења: 80V-15A-2,3 mm/min

	Измерена вредност отвора			Измерена вредност коцкица		Укупна разлика
	Номинална вредност	Измерена вредност (mm)	Одступање (mm)	Измерена вредност (mm)	Одступање (mm)	
1	15.00	15.643	0.643	15.024	-0.02	0.62
2	15.00	15.696	0.696	15.034	-0.03	0.66
3	15.00	15.597	0.597	15.024	-0.02	0.57
4	15.00	15.586	0.586	15.028	-0.03	0.56

Укупна разлика представљена табелом се креће у опсегу 0,56 до 0,66.

Табела 6.4 Мерење одступања угла коцкице број 2 у односу на Z осу

Измерена вредност отвора		Измерена вредност коцкица		Укупна разлика
Измерена вредност (°)	Одступање (°)	Измерена вредност (°)	Одступање (°)	
0.169	0.169	0.089	0.089	0.26
0.135	0.135	0.14	0.140	0.28
0.040	0.040	0.021	0.021	0.06
0.041	0.041	0.028	0.028	0.07

Одступање угла измерено на 3D машини се креће у опсегу од 0,07 до 0,28

Табела 6.5 Мерење површина коцкице број 3
Параметри сечења: 60V-12A-2,4mm/min

	Измерена вредност отвора			Измерена вредност коцкица		Укупна разлика
	Номинална вредност	Измерена вредност (mm)	Одступање (mm)	Измерена вредност (mm)	Одступање (mm)	
1	15.00	15.570	0.570	15.019	-0.02	0.55
2	15.00	15.562	0.562	14.991	0.01	0.57
3	15.00	15.587	0.587	15.011	-0.01	0.58
4	15.00	15.618	0.618	14.987	0.01	0.63

Табела 6.6 Мерење одступања угла коцкице број 3 у односу на Z осу

Измерена вредност отвора		Измерена вредност коцкица		Укупна разлика
Измерена вредност (°)	Одступање (°)	Измерена вредност (°)	Одступање (°)	
0.181	0.181	0.132	0.13	0.31
0.137	0.137	0.09	0.09	0.23
0.037	0.037	0.012	0.01	0.05
0.055	0.055	0.021	0.02	0.08

Табела 6.7 Мерење површина коцкице број 4
Параметри сечење: 50V-10A -2,5mm/min

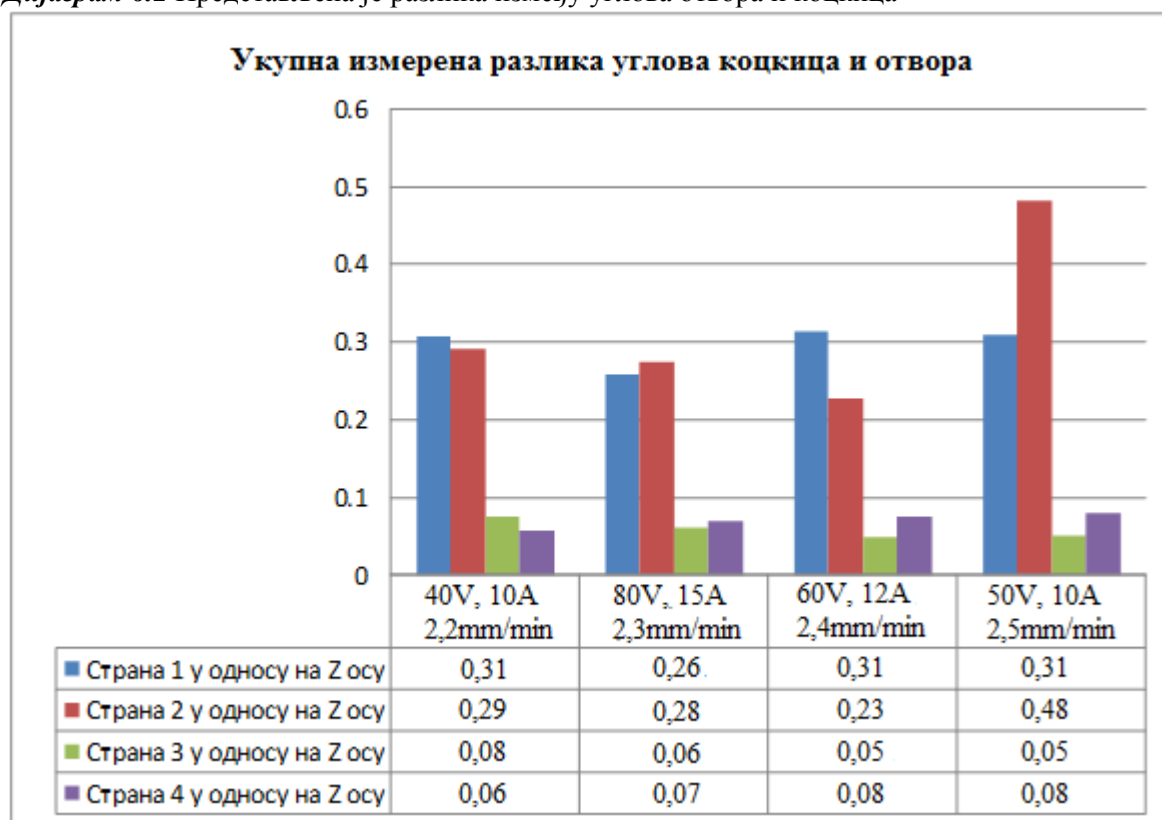
	Измерена вредност отвора			Измерена вредност коцкица		Укупна разлика
	Номинална вредност	Измерена вредност (mm)	Одступање (mm)	Измерена вредност (mm)	Одступање (mm)	
1	15.00	15.706	0.706	15.018	-0.02	0.69
2	15.00	15.706	0.706	15.001	0.00	0.71
3	15.00	15.708	0.708	15.007	-0.01	0.70
4	15.00	15.759	0.759	15.013	-0.01	0.75

Табела 6.8 Мерење одступања угла коцкице број 4 у односу на Z осу

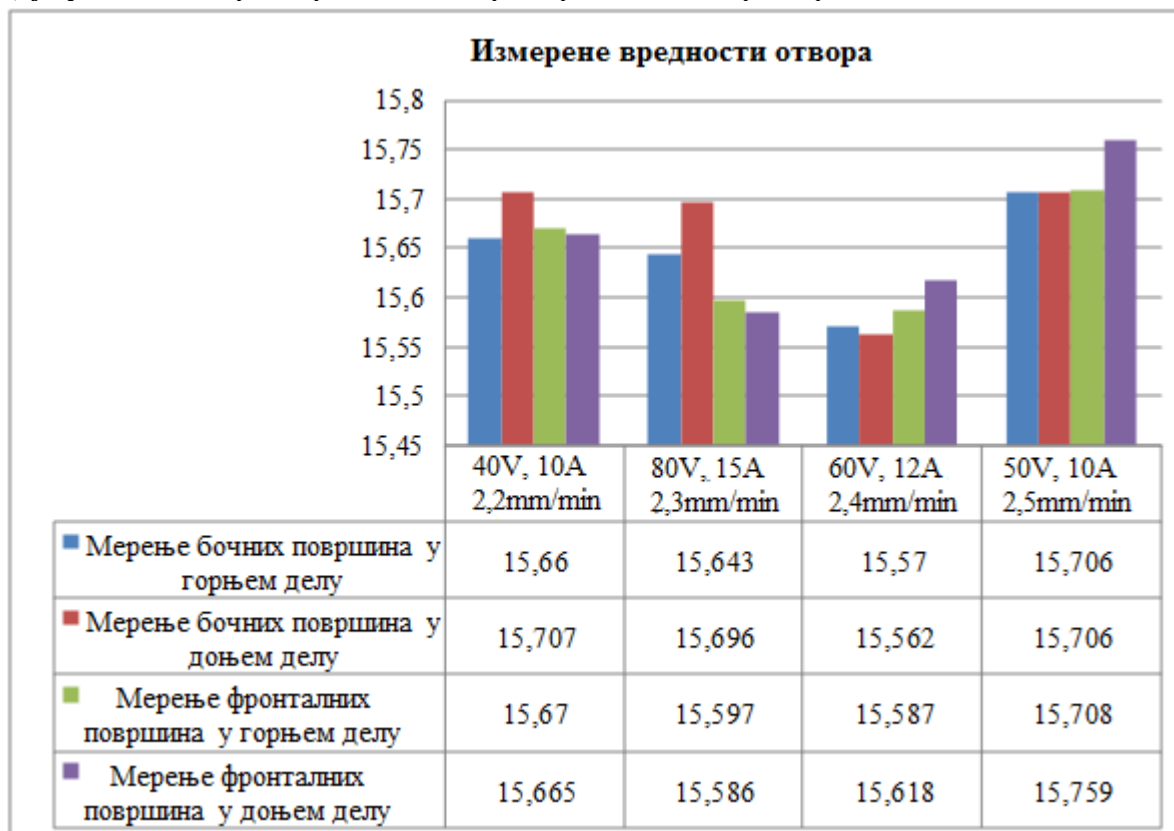
Измерена вредност отвора		Измерена вредност коцкица		Укупна разлика
Измерена вредност (°)	Одступање (°)	Измерена вредност (°)	Одступање (°)	
0.198	0.198	0.111	0.11	0.31
0.131	0.131	0.351	0.35	0.48
0.020	0.020	0.03	0.03	0.05
0.063	0.063	0.017	0.02	0.08

У представљеним табелама можемо очитати вредности отвора и вредности коцкица сечених на ерозимату и на основу мерења површина и услова утврдити одступања и укупну разлику за различите параметре обраде.

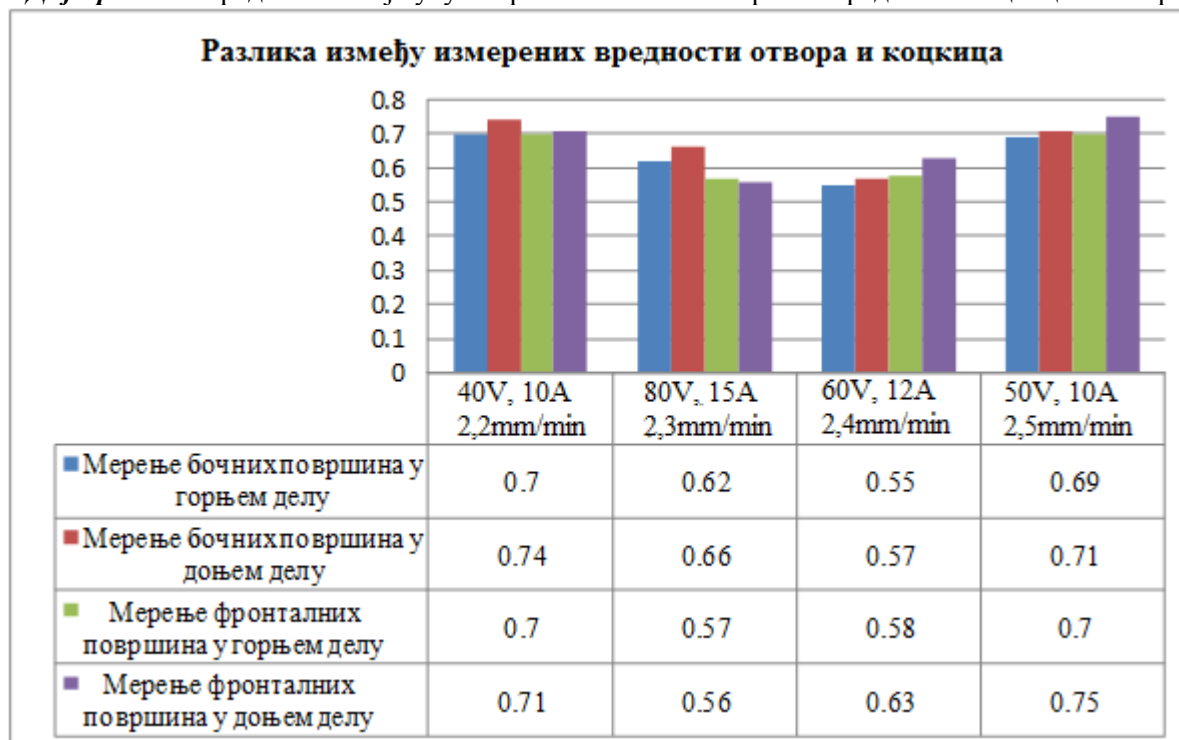
Дијаграм 6.1 Представљена је разлика између углова отвора и коцкица



Дијаграм 6.2 Измерене вредности отвора са различитим параметрима сечења

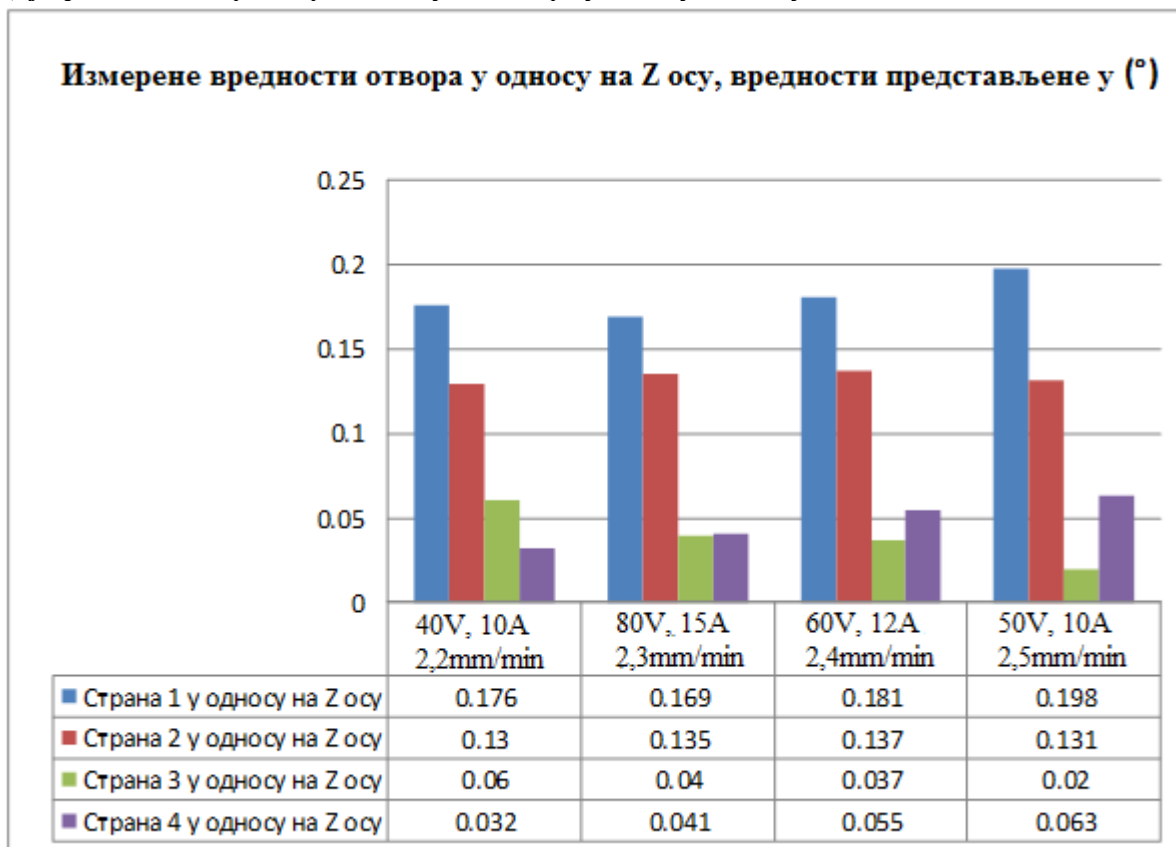


Дијаграм 6.3 Представљена је укупна разлика после измерених вредности коцкица и отвора

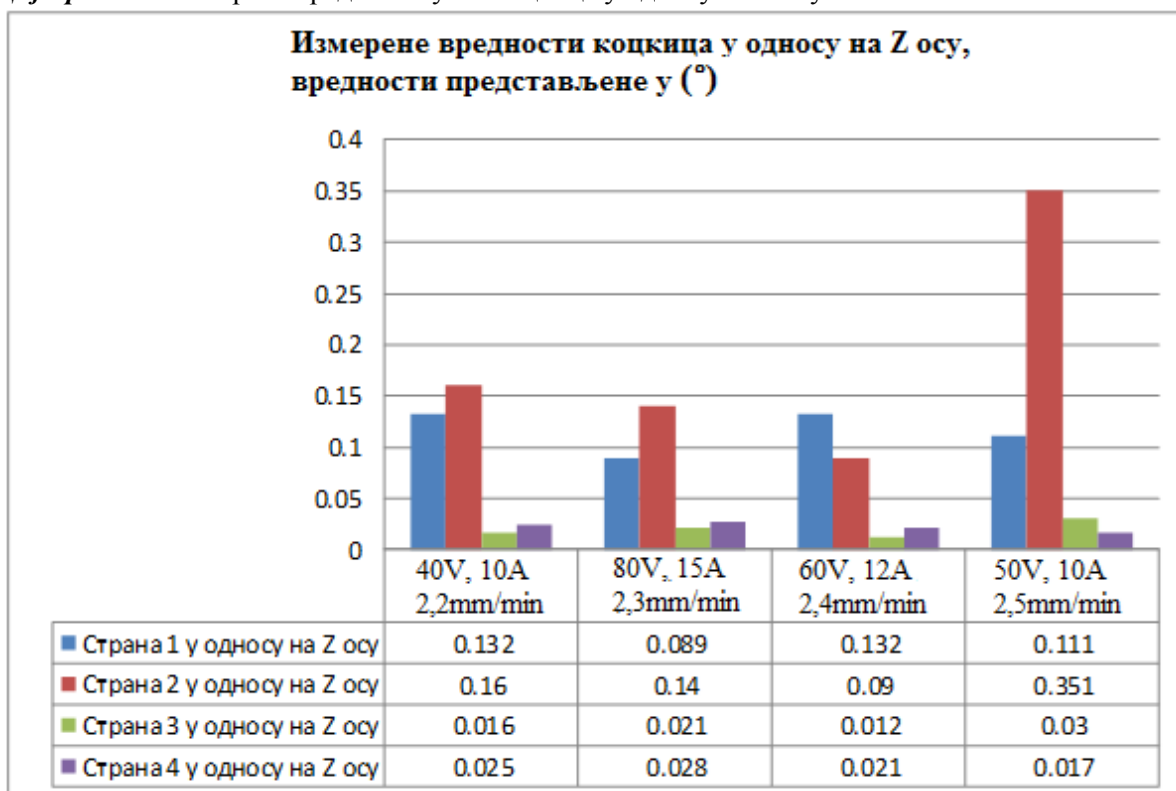


На дијаграму 6.3 представљена је укупна разлика измерених вредности сечења применом различитих параметара и њихов утицај на обрадљивост материјала. Укупна разлика представља зазор између отвора и коцкица.

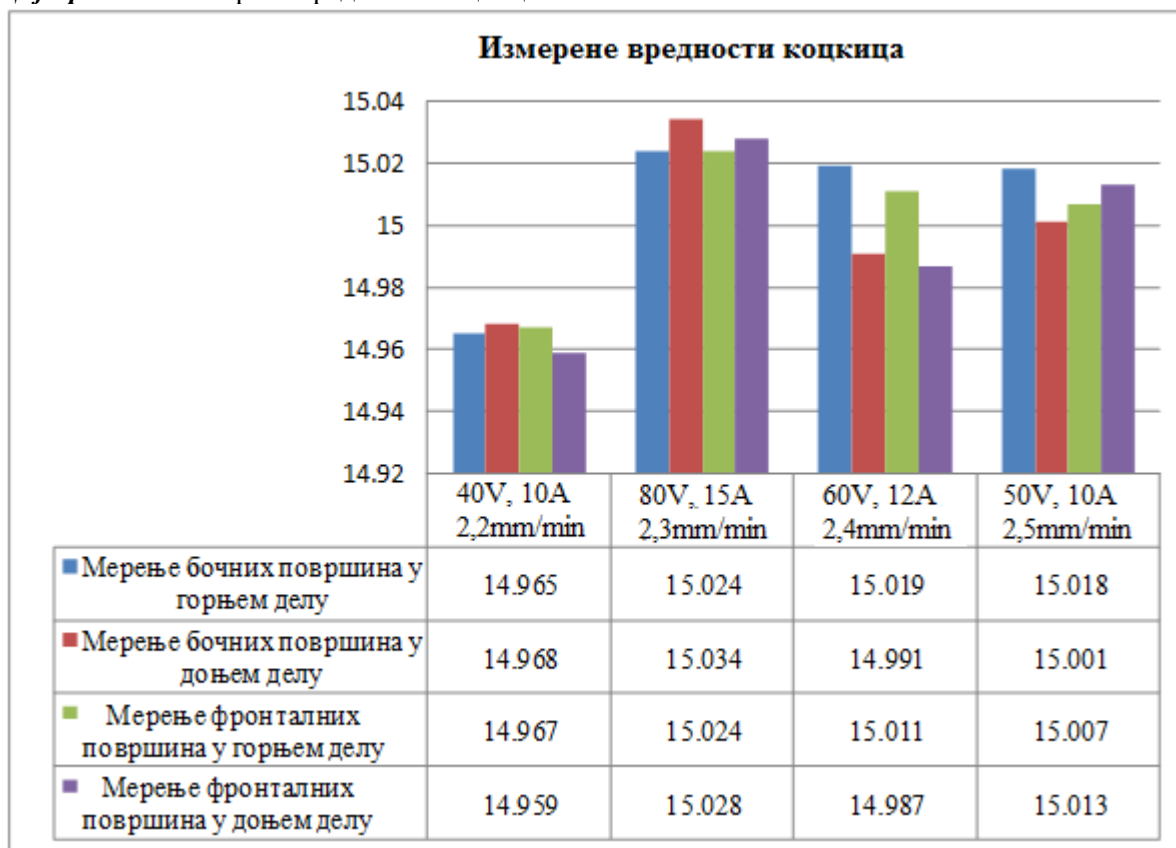
Дијаграм 6.4 Измерене вредности угла отвора у односу на Z осу



Дијаграм 6.5 Измерене вредности угла коцкица у односу на Z осу



Дијаграм 6.6 Измерене вредности коцкица



Упоредивањем представљених дијаграма може се закључити да је најбоље исечена коцкица под редним бројем 4. Са упоредног дијаграма такође видимо да је најмање одступање од номиналне вредности и у погледу одступања од паралелности и управности коцкица под редним бројем 4 са параметрима 50V-10A-2,5mm/min.

7. Закључак

Кад је реч о нековенционалним поступцима обраде, електроерозиона обрада је нашла највећу примену. Са својим предностима и манама потискује класичне поступке обраде конвенционалним путем. Основна позитивна особина овог вида обраде је елиминација употребе скупог висококвалификованог ручног рада, осим за израду електрода знатно смањење трошкова обраде сложених облика у односу на обраду резањем. Могуће је обрађивати материјале чија је обрада класичним поступцима отежана или чак немогућа. Као таква EDM обрада је нашла примену у индустрији алата, хемијској и електровакуумској индустрији, ремонтним радионицама и бродоградњи.

Изузетно ефикасно је могуће вршити бушење отвора већих пречника, различитих облика пресека, малик пречника до 0,5, криволинијских канала, уских жљебова итд. Могућа је обрада спољашњих површина сложеног облика код алата за пробијање и просецање, те шупљина код алата за ковање, пресовање и ливење чиме се смањује цена коштања. Примењује се у производњи алата од тврдог челика чиме се знатно повећава постојаност резног алата а и повишена производност обраде. Даје добре временске и новчане уштеде при поправци већ коришћених алата, зато што није потребно отпуштање и поновно каљење материјала. Врло једноставно је могуће обрађивати материјале попут, молибдена, волфрама, тантала уз висок квалитет и тачност обраде. Тада се при сечењу и исецању користи обрада жичаном електродом коју карактерише минималан шкарт, висока производност, мали трошкови израде, губици енергије и материјала.

У погледу машина, код старијих типова, са пуном електродом могуће је само праволинијско и обртно кретање електрода. Код новијих модела могуће је кретање електроде у сва три правца и обртање око осе-планетарно кретање.

Главни недостаци овог вида обраде су директна зависност између производности, храпавости и тачности, ниска производност при обради материјала мање тврдоће, појава структурних имена у површинским слојевима, хабање алата и потреба за великим бројем електрода при обради пуним електродама.

У будућим истраживањима акценат се ставља управо на смањење ових врста недостатака и њихово минимизирање у процесу EDM обраде, било пуном било жичаном електродом.

У практичном делу рада представљено је сечење на EDM машини са жичаном електродом. Сечене су 4 позиције димензија 15mm x 15mm x 15mm у фирми „Gorenje MDM“ из Крагујевца, на ерозимату EXCETEK V850G. Сечене су 4 коцкице истих димензија са различитим параметрима обраде и на основу те разлике вршено је упоређивање контуре сечења и мерење одступања димензија отвора и димензија коцкица. На основу тих одступања видели смо разлику и утицај параметара на брзину резања и тачност сечења.

Постоје две основне групе параметара који се регулишу CNC системом управљања, то су геометријски параметри везани за контролу која се обрађује и параметре процеса везани за контролу подешавања машине. Програмирањем се врши превођење геометријских података са цртежа комада у нумеричке податке. Тако се добија серија наредби за померање клизача у правцу координатних оса помоћу прецизних мотора једносмерне струје (најчешће корачни мотори).

Преносник информације од програмског радног места до управљачке јединице је програмски нумерички код. Урађени програм се може меморисати на дисковима, или учитавањем преко интерног сервера унутар фирме, тако да је његово коришћење веома лако. Будућност управљања је у примени развијеног CAD/CAM система где се из рачунара информације преносе директно на машину. На тај начин се избегава учешће послужеоца, укуцавање програма на машини и сл.

8. Литература

- [1] Драгоје Миликић, „Неконвенционални поступци обраде,, – Факултет Техничких Наука, Нови Сад, 2002
- [2] Бранислав Девечић, Пластичност и обрада метала деформисањем, Машински факултет, Крагујевац, 1992.
- [3] Бинко Мусафија, Обрада метала пластичном деформацијом, Машински факултет, Крагујевац, 1998,
- [4] Митровић Р. Пројектовање технолошких процеса, Научна књига, Београд, 1991.
- [5] Богдан Недић, CNC обрадни системи, скрипта, Факултет инжењерских наука, Крагујевац
- [6] Мр. Ненад Јањић, „Неконвенционалне обраде,, – Висока Школа Примењених Струковних Студија, Врање, 2007.
- [7] Бранко Ивковић, „Неконвенционалне поступци обраде’’, Нови Сад, 2002.
- [8] С.Шрокић, „Неконвенционални поступци обраде’’ Завод за технологију катедре за алатне стројеве, 2003.
- [9] Драгоје Миликић, „Неконвенционални поступци обраде,, – Факултет Техничких Наука, Нови Сад, 2002.
- [10] <https://www.edmnetwork.com/charmilles-edm.asp> приступљено (09.09.2019)
- [11] https://www.gindumac.com/product/charmilles-robofil-690_ES-EDM-CHA-2004-00001 приступљено (20.09.2019)
- [12] <https://en.industryarena.com/usedmachines/> приступљено (23.09.2019)