

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Производне технологије

Број индекса: 115/2010

Љубиша С. Поповић

Плазма поступак сечења материјала

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да размотри проблематику обраде плазмом, изврши теоријску анализу поступака обраде сечењем. Кандидат треба да опише производну опрему којом располаже предузеће „Аtenic commerce“ и да изврши експериментална испитивања.

Препоручена литература:

- [1] М. Лазић, Неконвенционални поступци обраде, Научна књига, Београд, 1990.
- [2] Д. Миликић, Неконвенционални поступци обраде, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2002.
- [3] Трајковски С., Дудески Љ., Неконвенционални методи на обработка, Машински факултет, Скопје, 1999.

Крагујевац, датум

ментор:

Проф. др Богдан Недић

Резиме

Плазма луком се могу сећи било који материјали велике дебљине, уз формирање резараличитих конфигурација, а све то прати висока производност која не зависи од механичких особина материјала.

Плазма поступком постоји могућност сечења материјала дебљине 250÷300мм. Процес сечења се заснива на локалном топљењу метала у зони резања и уклањању растопљеног материјала струјом плазме. Међутим интеграцијом технологије сечења плазмом и CNC технологије добија се далеко софистициранији технички систем, потпуно контролисан информационим технологијама и стандардним CAD/CAM софтверима.

У раду је описан принцип рада сечења плазмом, поступак програмирања CNC машине за сечење плазмом као и сам поступак сечења. Извршен је и експеримент сечења са различитим радним параметрима.

Кључне речи: плазма сечење, CNC технологија, радни параметри, плазма гас

ABSTRACT

Plasma arc is able to cut any high thickness material, by forming incision of any configuration and with high productivity, which does not depend of mechanical characteristic of material. Plasma cutting has ability to cut materials which are thick 250 mm to 300 mm.

Base of cutting process is local melting of metal in cutting zone, and removing melted material, by plasma stream.

By integration of CNC technology and plasma cutting technology, sophisticated technical system has been made. It has been controlled by information technology, and by standard CAD/CAM softwares.

The work contains description of plasma cutting method, procedure of CNC plasma cutting machine programming, and procedure of cutting operation. There are also described experiments of cutting by different work parameters.

Key words: plasma cutting, CNC technologies, different work parameters, plasma gas

Садржај

Резиме	3
ABSTRACT	3
1. УВОД	5
2. ПЛАЗМА ПОСТУПАК ОБРАДЕ	10
2.1. Историјски развој.....	10
2.1.1. Конвенционално сечење плазмом	11
2.1.2. Сечење плазмом два гаса	13
2.1.3 Сечење плазмом са ваздухом	13
2.1.4. Сечење плазмом са воденом заштитом	14
2.1.6. Подводно плазма сечење	16
2.1.7. Сечење плазмом уз помоћ кисеоника.....	17
2.1.8. Сечење плазмом велике густине	18
2.2 Теоријска анализа плазма процеса обраде	18
2.2.1. Основе процеса.....	18
2.2.2. Суштина процеса добијања плазме	20
3. " HYPERTHERM 260A" CNC МАШИНА ЗА СЕЧЕЊЕ ПЛАЗМОМ.....	24
3.1. Опис техничког система	25
3.2. Програмирање CNC машине за обраду плазмом.....	32
3.3. Операција сечења.....	42
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА	55
4.1. Стандард EN ISO 9013	55
4.2.План испитивања	56
4.2.1. Експеримент променљивих брзина сечења, при константној јачини струје 130 А и висини сечења	60
4.2.2. Експеримент променљивих висина сечења, при константној јачини струје и брзине сечења	65
4.2.3. Експеримент променљивих нивоа похабаности дизне, при константним осталим параметрима	68
4.2.4. Експеримент променљивих брзина сечења, при константној јачини струје 260 А и висини сечења	73
5. ЗАКЉУЧАК	80
ЛИТЕРАТУРА	82

1. УВОД

Веома брз техничко-технолошки развитаk авионске, ракетне и нуклеарне индустрије непосредно после другог светског рата , наметнуо је потребу коришћења нових материјала специфичних особина. Произведен је низ нових легура, знатно бољих механичких и триболошких карактеристика, велике затезне чврстоће и тврдоће, високе отпорности на повишеним температурама, као и високе отпорности на хабање и сл.

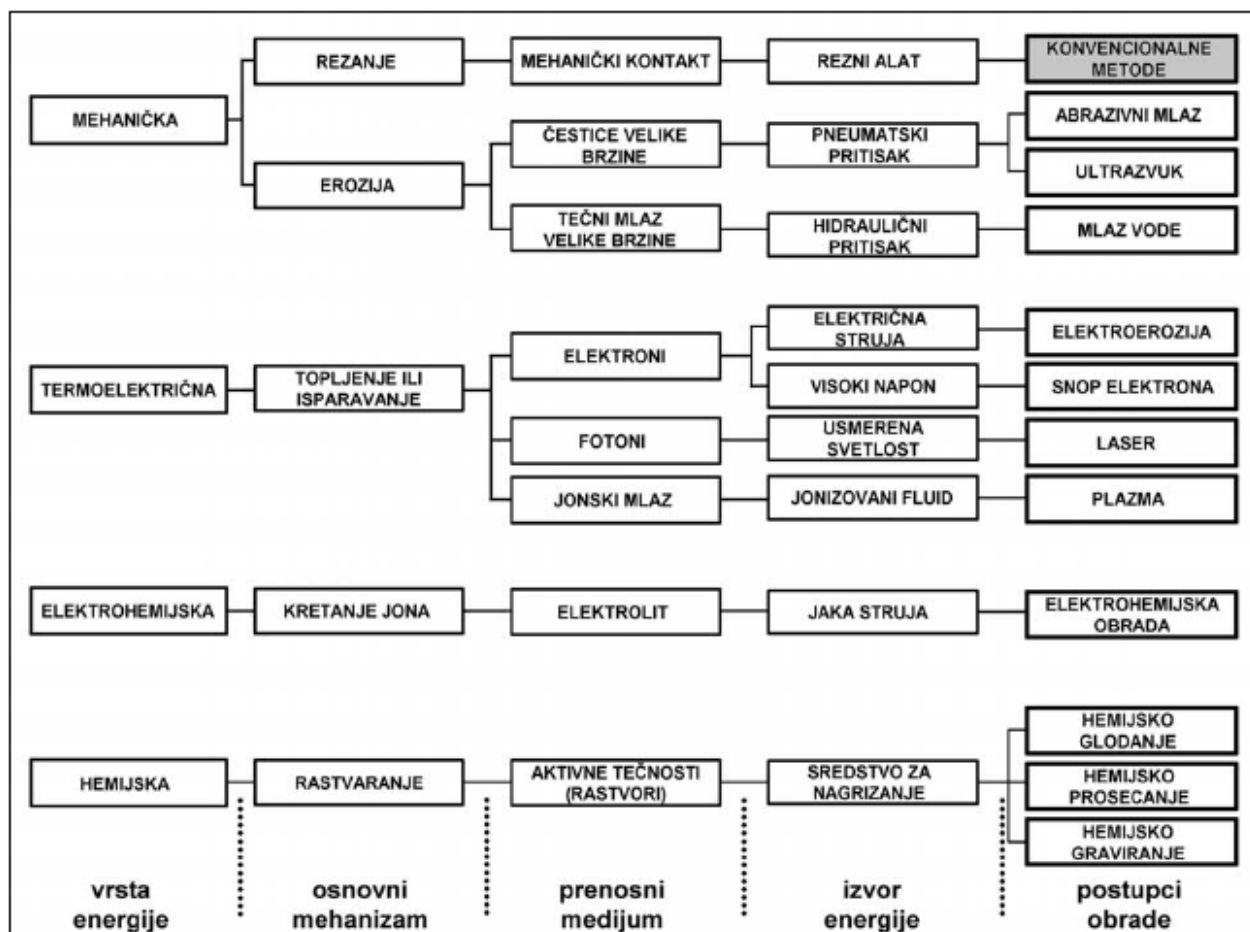
Обрада делова од оваквих материјала конвенционалним поступцима обраде је веома тешка, па чак и немогућа. Из тог разлога се развијају, усавршавају и уводе нови прогресивни поступци обраде веће продуктивности и економичности обраде метала.

Код ових поступака обраде, скидање материјала обратка се остварује на сасвим другим принципима у односу на Конвенционалне поступке обраде, па су исти добили назив "Неконвенционални поступци обраде".

Оправданост примене Неконвенционалних поступака обраде огледа се при обради тешко обрадљивих материјала, при обради делова сложених геометријских облика, а све то због знатно једноставније технологије и кинематике алата за обраду.

Основна подела неконвенционалних поступака обраде се може извршити према следећим критеријумима:

- Врсти енергије коју користе
- Механизму којим се остварује скидање материјала са обратка
- Врсти медијума којим се преноси потребна енергија за скидање материјала



Слика 1- Шематски приказ класификације поступака обраде скидањем материјала применом претходно наведених критеријума [2]

За разлику од конвенционалних поступака обраде резањем, већина неконвенционалних поступака обраде је касније развијена и уведена у производну праксу. Данас многи неконвенционални поступци обраде су достигли висок степен развоја, који чак не заостаје ни за најразвијенијим конвенционалним поступцима обраде резањем, док у неким случајевима их и надмашују. Слободно се може рећи да неконвенционални поступци обраде све више потискују конвенционалне поступке обраде резањем, због тога што су економичнији и што дају много боље резултате саме обраде у погледу тачности и квалитета.

Убрзани развој и све шира примена неконвенционалних поступака обраде су последица следећих захтева:

- Пораст конструкцијских захтева машинских делова ка повећању удела тешко обрадљивих материјала за њихову израду.

- Повећани захтеви ка сложености облика алата за различите намене: алати за обраду обликовањем (пластична деформација и ливење под притиском), алати за прераду стакла, пластичних маса, гуме и сл.
- Повећани захтеви ка сложености резних алата од брзорезног челика и тврдог метала.
- Повећани захтеви за комплексношћу израде алата за обраду обликовањем, проузроковане потпуно новим конструктивним схватањем производа.
- Повећани захтеви при изради минијатурних делова повећане тачности.
- Повећани захтеви у погледу продуктивности и стварања претпоставке за увођење аутоматизације и аутоматизованих производних система у горе наведене специфичне области производње.
- Претпоставке за врло добру интеграцију ових производних метода са NU-управљањем и системима CAD/CAM и CIM.

Најпознатији неконвенционални поступци обраде су:

❖ **Механички- ерозија**

- Обрада абразивним млазом- AJM (Abrasive Jet Machining)
- Обрада ултразвуком- USM (Ultrasonic Machining)
- Обрада млазом воде- WJM (Water Jet Machining)

❖ **Termoelektrični- rastapanje i sagorevanje**

- Електроерозивна обрада- EDM (Electric Discharge Machining)
- Обрада снопом електрона- EBM (Electron Beam Machining)
- Обрада јонским снопом- IBM (Ion Beam Machining)
- Обрада ласером- LBM- (Laser Beam Machining)
- Обрада плазмом- PAM-(Plasma Arc Machining)

❖ **Електрохемијска и хемијска**

- Електрохемијска- ECM (Electrochemical Machining)
- Хемијска- CHM (Chemical Machining)

-Обрада плазмом

Обрада плазмом (Plasma Arc Machining), спада у релативно новије поступке обраде материјала. Плазма технологије представљају технолошке поступке који се одвијају при вештачки створеним условима, који се не могу јавити спонтано на нашој планети. Оне сваки дан све више проналазе своје место у савременим производним поступцима.

Код плазма поступка обраде, термин плазма означава стање такозване гасне плазме, односно радну атмосферу чија је концентрација довољна да знатно утиче на особине гаса. Прави назив за ову врсту гасне средине у технолошким процесима је *јонизован гас* или *електрично пражњење у гасовима*, али је одомаћен назив *плазма технологије*.

Конвенционални поступци или класични поступци обраде материјала засновани су на коришћењу средине у чврстом, течном и гасовитом стању. Показало се да следеће више енергетско стање (тзв. Четврто агрегатно стање)- плазма стање- омогућава подједнако успешну примену познатих технолошких поступака, али уз бројне и значајне предности.

Обрада материјала у плазми је подручје у плазма технологијама које се интензивно развија задњих година. Технологије из овог подручја обухватају обраду материјала као целине (плазма сечење, плазма заваривање) и површинску обраду материјала. У површинску обраду материјала спадају поступци nanoшења слојева млазом честица високе температуре (плазма спреј поступак) и формирање површинских слојева путем напаравања (плазма депозиција).

У другом поглављу рада описан је историјски развој плазма поступка обраде, подврсте и принцип рада плазме.

-CNC машина за сечење плазмом

CNC технологије подразумевају увођење информационих технологија и примену рачунара у производњи. Преко одговарајућег софтвера, генерише се CNC код, који рачунар машине алатке препознаје, и на основу кога извршава наредбе. Овом технологијом се обезбеђује минималан утицај људског фактора, а аутоматизација подиже на највиши ниво.

CNC машина за сечење плазмом представља технички систем настао интеграцијом CNC технологије и технологије сечења плазмом. CNC машина за сечење плазмом је машина која ради у 2D координатном систему и са њом се могу сећи како обојени метали тако и разне врсте челика, прохромских лимова са великом прецизношћу, брзином и са минималном количином отпада. Сечење плазмом је веома заступљен поступак обраде у скоро сваком процесу производње где је потребно исећи материјал прецизно.

Машину одликује велика прецизност рада са минималним топлотним утицајем на материјал који се сече. Коришћењем ове машине постиже се уштеда у процесу производње, како квалитетом исеченог обратка који је спреман за даљи процес производње, тако и смањењем шкарта код сечења.

CNC машина за сечење плазмом је у потпуности управљана компјутером, па самим тим је утицај људске грешке код сечења далеко мањи, а самим тим и појава шкарта у процесу производње. Употребом CNC машине остварује се технолошки најекономичнији процес сечења метала у погледу брзине, прецизности и цене реза.

Руковање овим машинама је веома једноставно захваљујући софистицираном софтверу и управљачкој јединици, а кројне листе се увозе из свих стандардних CAD програма. Савременији модели ових машина опремљени су TNC уређајем који пружа могућност

кретања по Z-оси, и на тај начин обезбеђије аутоматску калибрацију висине горионика приликом сечења чиме се елиминише проблем неравних табли.

У трећем поглављу рада описан је поступак програмирања и сечења CNC- плазма машином.

-Експеримент

У четвртом поглављу рада обухваћен је експеримент који се заснива на испитивањима квалитета реза добијеног сечењем на плазми. Први део експеримента се односи на испитивање узорака који су сечени константним јачинама струје и осталим параметрима, а променљивом брзином. Док други део експеримента се односи на испитивање узорака сечених различитим растојањима главе од материјала. И трећи део експеримента се односи на испитивање узорака који су сечени дизнама раличитих нивоа похабаности.

У петом поглављу су приказани закључци и резултати испитивања.

2. ПЛАЗМА ПОСТУПАК ОБРАДЕ

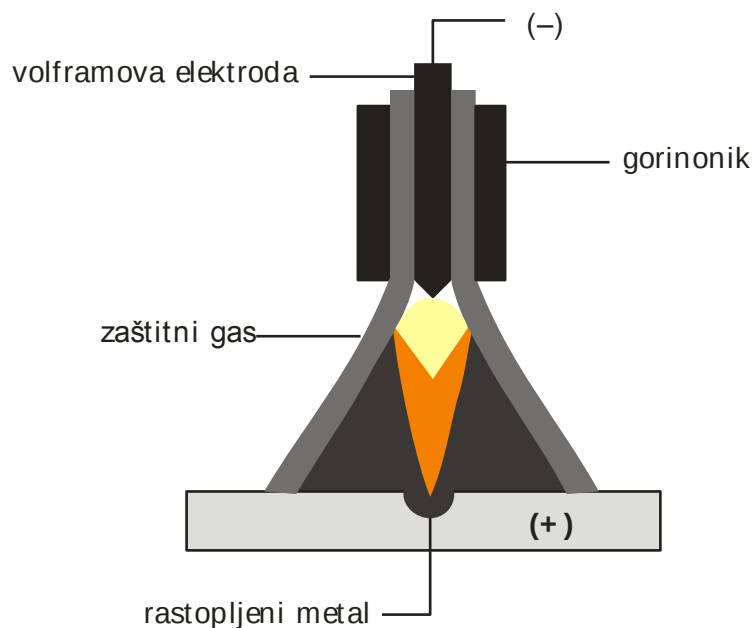


Слика 2- Неконвенционални поступак обраде сечење плазмом

2.1. Историјски развој

-Тиг поступак-

У Сједињеним Америчким Државама 1941 год. Настаје нови поступак спајања лаких метала. Користи се у производњи авиона. Електрични лук обезбеђује топљење метала, док инертни гас обезбеђује заштиту самог лука. Резервоар растопљеног метала спречава оксидацију растопљеног метала. Нови поступак је добија име ТИГ (Тунгстен Инерт Гас/Тунгстен-Волфрам) поступак.

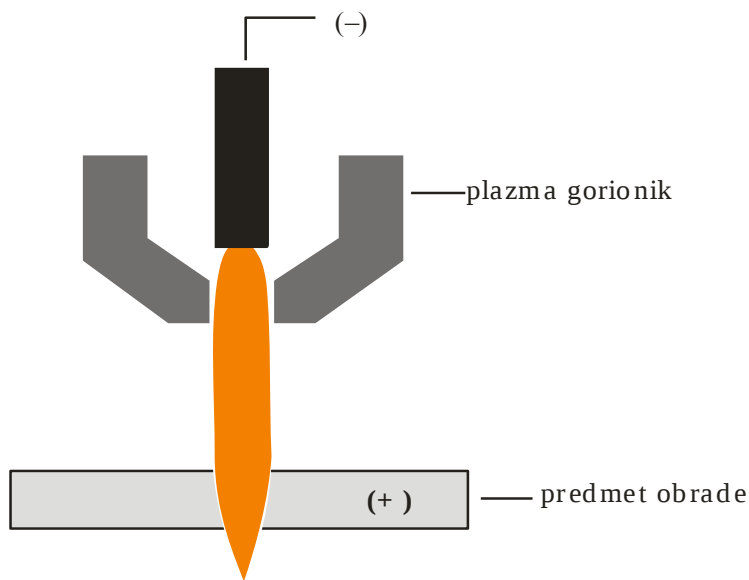


Слика 3 - Лук ТИГ заваривања [8]

Средином прошлог века ТИГ поступак се усталио као нови високо квалитетни метод заваривања. Међутим развојем ТИГ поступка у лабораторијама америчке компаније "Union Carbide's Linde Division" научници су приметили да се редуковањем млазнице, уз излагање предмета обраде (анодe) директном дејству инертног гаса из ТИГ горионика, својства лука битно мењају. Редукована млазница доводи до сужења и концентрације лука и гаса и повећања њихове брзине. Температура лука и напон расту драматично, што доводи до јонизације и померања металног праха ка области већих брзина. Уместо заваривања, метал је пресечен луком плазме.

2.1.1. Конвенционално сечење плазмом

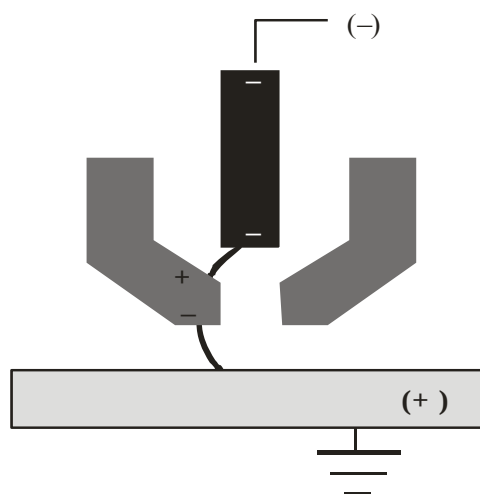
1957. године представљена је техника којом се лук плазме генерише помоћу конвенционалног "сувог" сужавања лука. Овом техником се може сећи било који метал, при релативно великим брзинама сечења, како танке металне плоче, тако и плоче дебљине до 250 мм од челика и алуминијума (слика 4).



Слика 4 – Конвенционално сечење плазмом [8]

У опсегу дебљине 50÷250 мм конвенционални плазма резови су коси и заобљени на врху. Резултат оваквог реза доводи до расипања топлотне енергије у току померања лука кроз рез. Проблем је решен приближавањем горионика предмету обраде и образовањем лука на принципу сужења.

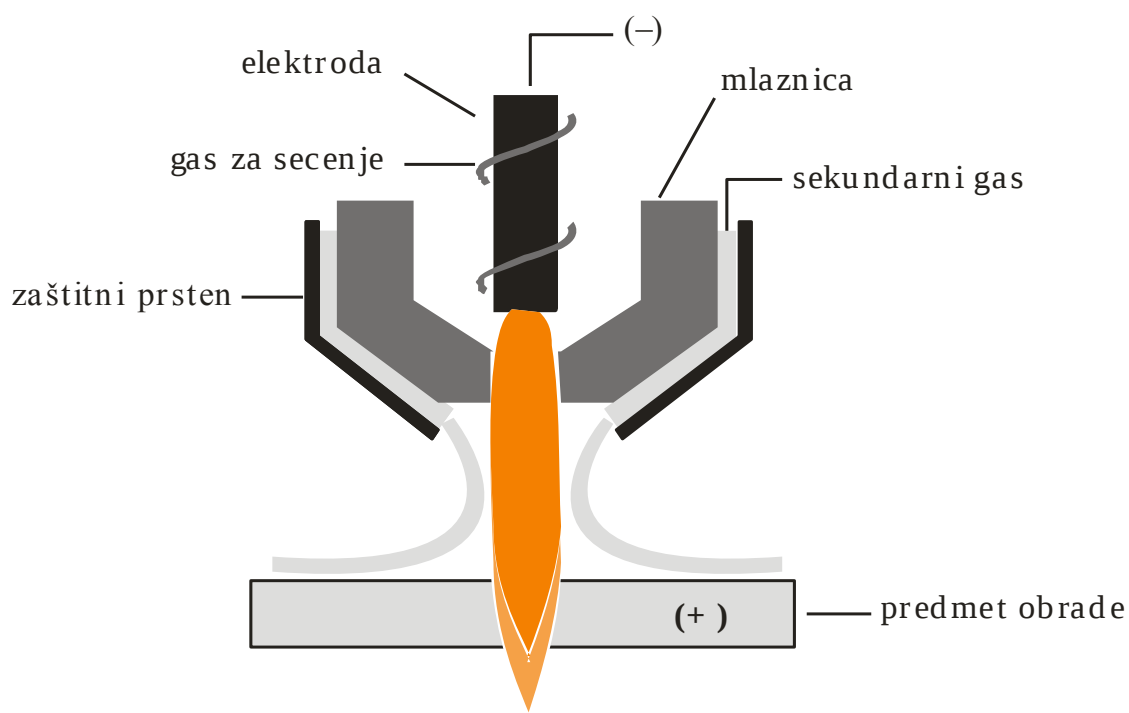
Сужавање конвенционалне млазнице је ограничено због настанка и развоја два везана лука, једног између електроде и млазнице, и другог између млазнице и предмета обраде. Ова појава је позната као "дупли лук" (слика 5) и исти доводи до оштећења електроде и млазнице. Зато су педесетих година чињени напори да се ова појава елиминише. Конвенционално сечење плазмом је најзаступљеније од 1957. до 1970. Међутим, поступак изискује веома скупе мешавине аргона и водоника.



Слика 5 – Дупли лук[8]

2.1.2. Сечење плазмом два гаса

Поменута техника је развијена 1963. (слика 6). Од конвенционалног сечења плазмом се разликује у томе што је додат заштитни гас. Као плазма гас се користи азот, а заштитни гас је биран зависно од врсте материјала који се сече. Главна предност овакво прилаза је у томе што млазница се може сместити унутар керамичког прстена, тако да нема кратког споја са предметом обраде. Заштитни гас покрива зону сечења, побољшавајући квалитет и брзину сечења уз истовремено хлађење млазнице. Такође, мања је могућност настанка дуплог лука.

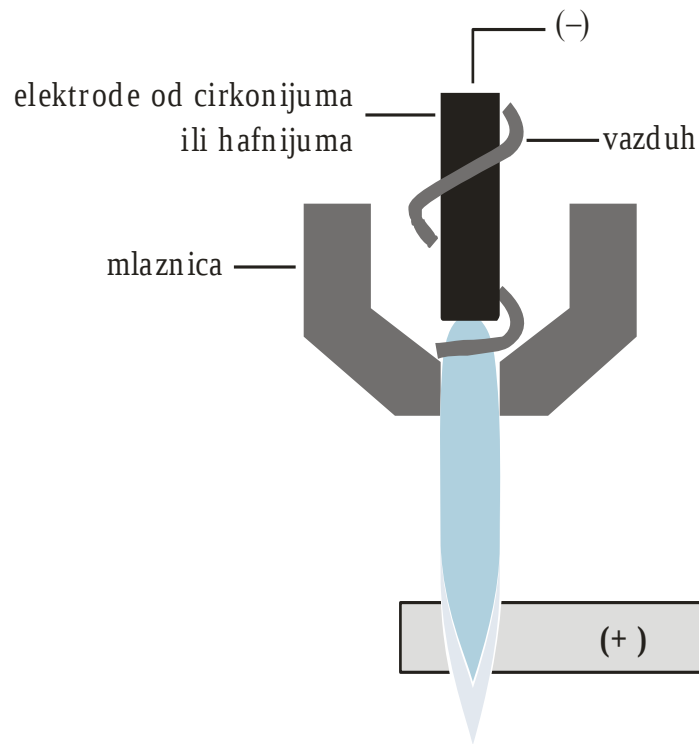


Слика 6 – Сечење плазмом два гаса [8]

2.1.3 Сечење плазмом са ваздухом

Сечење плазмом са ваздухом (слика 7) као врста обраде заживела је шездесетих година и служила је за сечење меког челика. Кисеоник из ваздуха обезбеђује додатну енергију на рачун егзотермне реакције са растопљеним челиком. Додатна енергија повећава брзину сечења за око 25 % у односу на сечење плазмом са азотом. Иако се овај поступак користи за сечење нерђајућих челика и алуминијума, површина резне ивице доста оксидира, што је неприхватљиво за даљу примену.

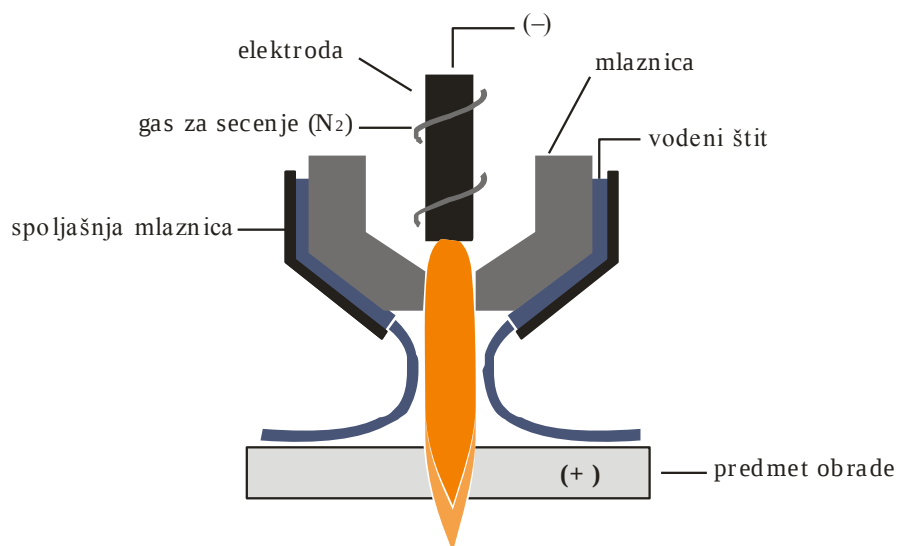
Један од главних проблема са ваздушним сечењем је велика ерозија електроде плазма горионика. Зато су неопходне специјалне електроде од цирконијума, хафнијума и легура хафнијума, пошто електроде од волфрама буквално нестају у секунди, ако гас за сечење садржи кисеоник. Чак и са специјалним материјалима животи век електроде при ваздушном сечењу је доста мањи од века електроде код конвенционалног сечења плазмом.



Слика 7 – Плазма сечење са ваздухом [8]

2.1.4. Сечење плазмом са воденом заштитом

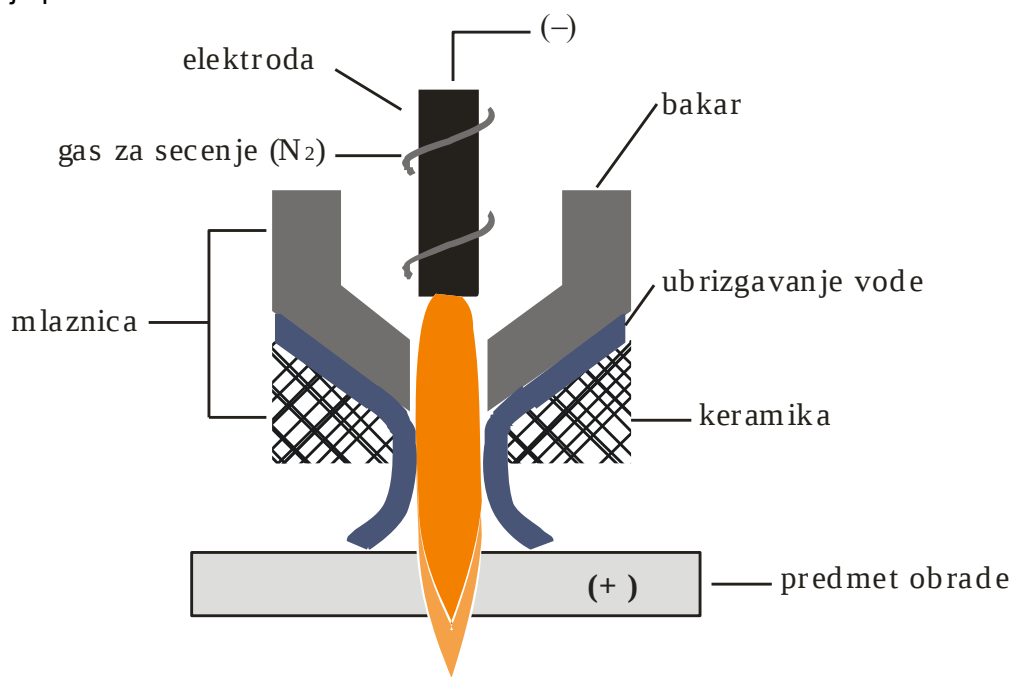
Процес је настао 1965. и представља варијанту процеса са два гаса, где вода замењује заштитни гас (Слика 8). На овај начин добијена је боља млазница и побољшано хлађење предмета обраде. Пошто вода не обезбеђује додатно сужавање лука, брзина резања није повећана у односу на сечење плазмом са два гаса.



Слика 8 – Сечење плазмом са воденом заштитом [8]

2.1.5. Сечење плазмом са воденим млазом

Поступак је развијен 1968. Вода је ињектована у лук (Слика 9). Радијални судар воде са луком обезбеђује већи степен сужења лука уз помоћ млазнице од бакра. Температуре лука су и до 50 000K, што је за више од два пута већа температура него код конвенционалног сечења. Поступком је повећана и побољшана брзина сечења и геометрија реза.



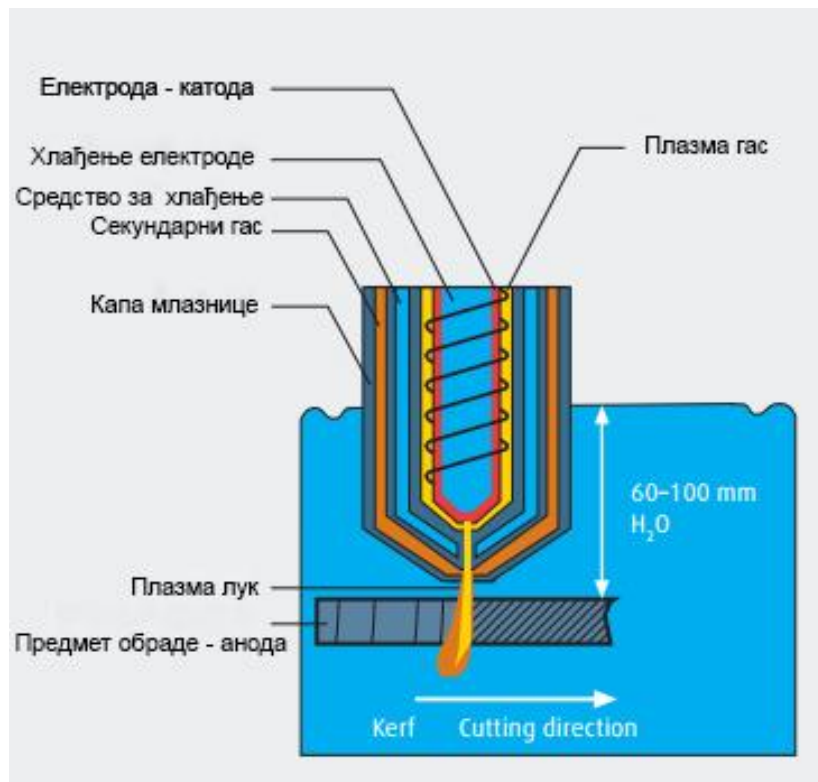
Слика 9 – Плазма сечење са воденим млазом [8]

2.1.6. Подводно плазма сечење

У сврху смањења нивоа буке лука плазме и елиминације дима при раду довели су до подводног сечења (Слика 10). Метод је развијен 1972. и постао веома популаран. За подводно сечење плазмом предмет обраде је уроњен 50÷75мм у воду. Обрада је на овај начин лишена у великој мери буке и дима.

Међутим негативна страна овакве обраде је немогућност надгледања процеса (предмет обраде се не види) и редукована брзина сечења за 10 ÷ 20%. Такође, оператер не може закључити на основу звука лука плазме, да ли се процес одвија коректно и да ли се обрадом добија добар квалитет реза.

Код подводног плазма сечења може доћи до ослобађања кисеоника који са истопљеним металом ствара метални оксид у току обраде и оставља слободни водоник у води. Када се водоник накупи, у џеповима испод предмета обраде долази до малих експлозија које иритирају лук плазме.

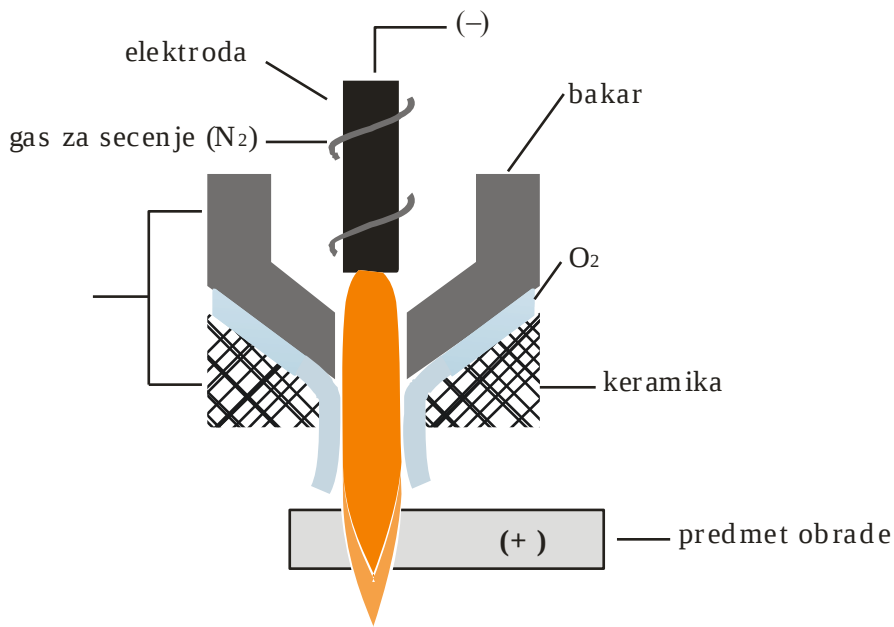


Слика 10 – Подводно плазма сечење [9]

2.1.7. Сечење плазмом уз помоћ кисеоника

Код овога поступка се први пут користи као плазма гас киосеоник. Поступак је развијен 1983.(Слика 11). Брзина сечења је повећана за око 30% при раду са нижим вредностима јачине електричне струје. Добијају се при сечењу fine ивице предмета обраде, тако да је олакшано заваривање и савијање.

Главни недостатак обраде је век трајања електроде, која се брзо топи па и када је израђена од хафнијума. То је делимично отклоњено повећањем брзине резања. Квалитет и цена сечења су упркос кратком времену трајања електроде, прихватљиви. Међутим проблем века трајања електроде је решен на тај начин што се као плазма гас користи азот. Кисеоник се убацује низ струју на излазу из млазнице.



Слика 11 – Сечење плазмом са ињектованим кисеоником [8]

Недостатци овог поступка су кратак век трајања млазнице, неуниверзалност процеса, као и могућност сечења само меких челика у др.

Међутим за потребе нуклеране индустрије, 1990. Године развијен је поступак подводног сечења на већим дубинама. Компанија "Hypertherm" је развила систем PAC 500 за сечење челика дебљине 114 мм на дубини 4.56м. Исте године су и развијени системи MAX 100 и MAX 200 истог произвођача на дубинама 7.62м.

2.1.8. Сечење плазмом велике густине

Крајем 80- тих и почетком 90-тих година прошлог века плазма процеси су добили велику конкуренцију у ласерској технологији, тако да су произвођачи плазма опреме почели да раде на побољшању своје опреме- првенствено на повећању густине плазме. Тиме се повећава квалитет сечења. Тако је и настала прва високо квалитетна плазма инсталација која ради са електричном струјом јачине 40÷90 А. У тим условима добија се бољи квалитет сечења и мања ширина реза, уз повећање брзине сечења.

Очекивања су да ће сечење плазмом по квалитету бити приближно резању ласером, а имајући у виду да је опрема за сечење плазмом прилично јефтинија од ласерске технологије, све говори да ће на светском тржишту плазма постати главни текмац сечењу ласером.

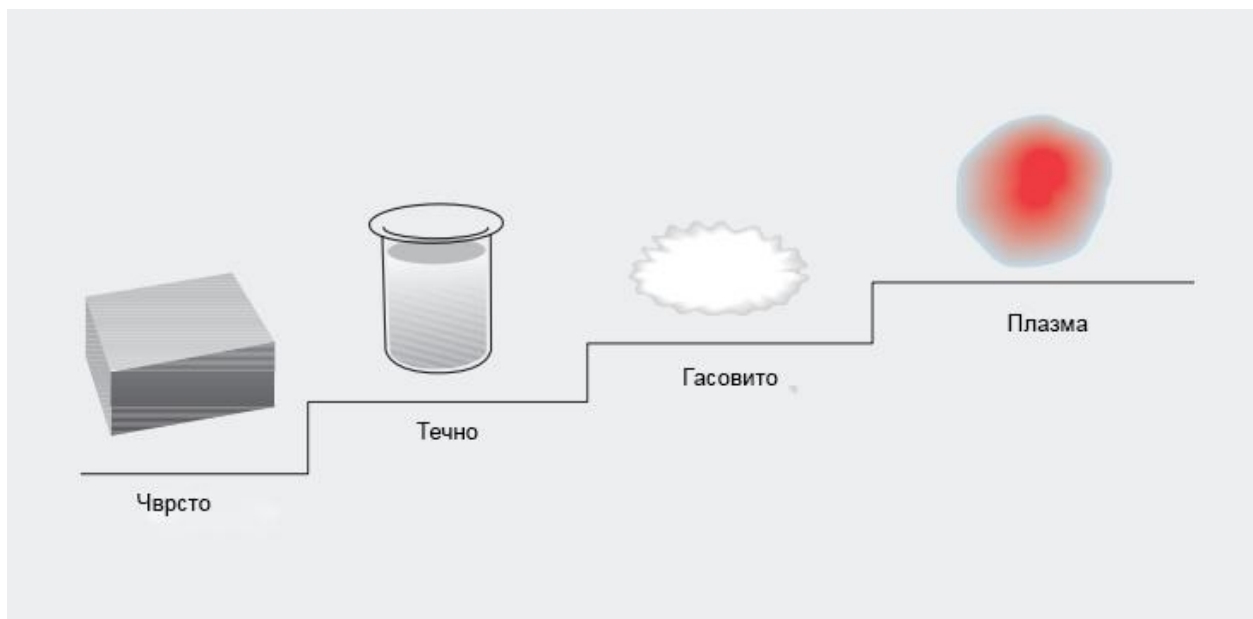
Како је сечење плазмом уз помоћ ваздуха и кисеоника постало веома популарно, главни проблем је кратак век трајања делова инсталације. Произвођачи раде на овом проблему и очекује се да ће у скорој будућности радни век електрода бити значајно повећан, да ће се смањити цена апаратуре за сечење плазмом и да ће се ова технологија више примењивати за сечење челика. Својом технологијом компанија "Hypertherm" је понудила тржишту неколико модела са знатно већим веком трајања делова инсталације.

2.2 Теоријска анализа плазма процеса обраде

2.2.1. Основе процеса

Обрада плазмом носи скраћени назив PJM (Plasma jet Machining). У производњи се користи за реализацију операција које захтевају високу концентрацију топлотне енергије. Ова врста обраде може да се користи за процесе заваривања, топљења, резања метала и неметала, затим за наношење тврдих превлака на металне и неметалне површине, за ливење, обликовање и др.

Плазма се најчешће описује као четврто агрегатно стање. Код супстанце која се најчешће користи у разним процесима, а то је вода, три основна агрегатна стања (чврсто, течност и гасовито) су лед, вода и водена пара. Ако се загрева лед он се претвара у воду, а додатним загревањем вода се претвара у пару. Када се знатна количина топлоте преда гасу он се претвори у плазму, четврто стање материје (слика 12).

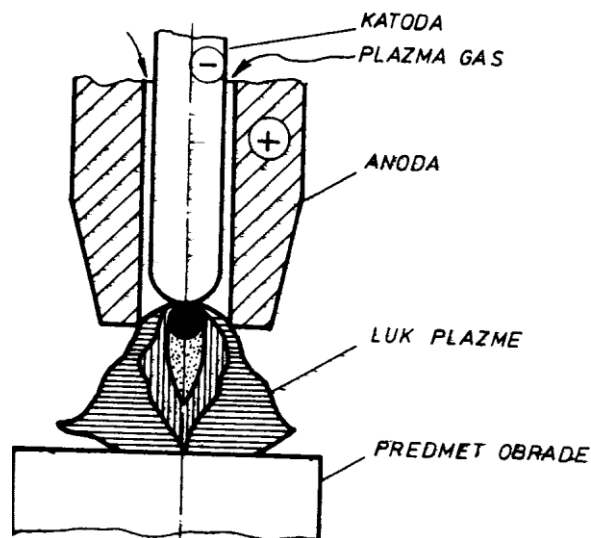


Слика 12 – Плазма четврто агрегатно стање [9]

Плазмом се може назвати свака материја загрејана на температури довољно високој да се претвори у јонизовано гасно стање (четврто гасно стање). Основне карактеристике плазме су:

- веома висока температура појединих зона
- енергетска нестабилност
- електропроводљивост
- врло велика брзина кретања честица које чине плазму

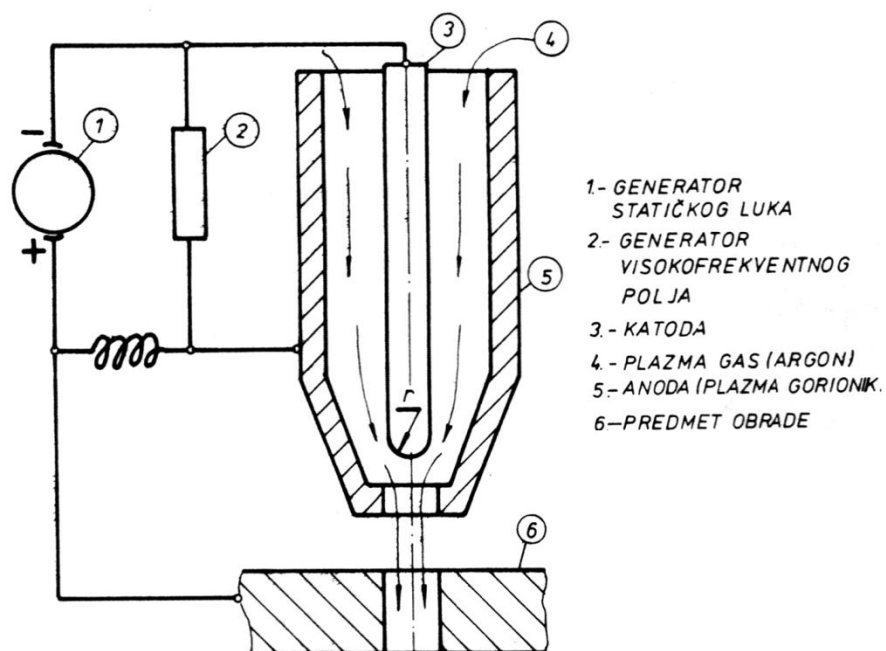
За обраду метала се користе "ниско-температурне" плазме са температуром појединих зона $1000\div 100000\text{K}$ (Слика 13). То су плазме које представљају делимично јонизовани гас.



Слика 13 – Шематски приказ лука плазме [2]

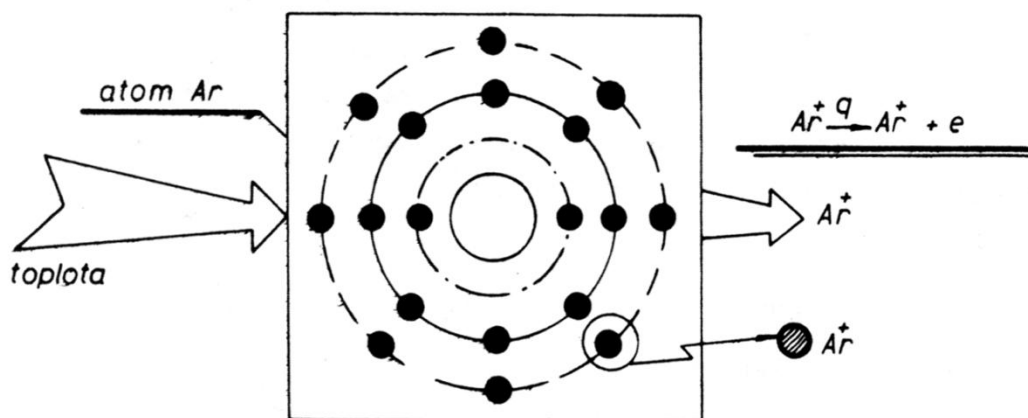
2.2.2. Суштина процеса добијања плазме

Плазма се састоји од позитивно и негативно наелектрисаних честица, јона и анјона. Пропуштањем плазма гасова преко електричног лука (Слика 14), који је формиран између катоде и аноде, формира се пламен. Радни гасови плазме су најчешће водоник, аргон, хелијум, угљендиоксид и др. или њихове смеше. Овако формирана материја садржи молекуле, атоме, јоне, електроне и кванте светлости.



Слика 14 – Шематски приказ процеса формирања плазме [2]

Кубни центиметар плазме садржи $10^9 \div 10^{10}$ наелектрисаних честица. Јонизација настаје губитком једног или више електрона из спољашње љуске гасова (Слика 15). Овај губитак настаје услед дејства спољашњих сила изазваних високом температуром или јаким електричним пољем. Плазма може бити лучна (термичка) или високо-фреквентна, а за прераду метала значајнија је лучна плазма.



Слика 15 – Процес јонизације аргона као плазма гаса [2]

У току формирања плазма лука могу се уочити неке карактеристичне појаве. Због великог загревања катодe долази до емисије електрона и јонизације плазма гаса. Тако се између електрода стварају честице јона и електрона различитих наелектрисања. Усмереним кретањем долази до судара и повећања степена јонизације.

Брзина кретања јонизованих честица у струји плазме се рачуна по обрасцу:

$$V = \frac{0.8 \cdot I \cdot \sqrt{\rho}}{r}, \text{ m/s}$$

где је:

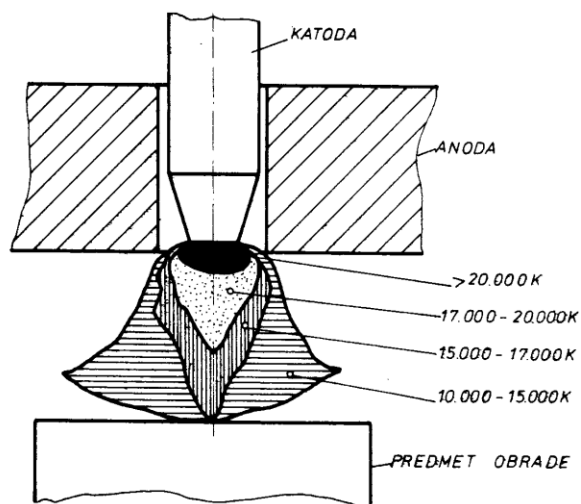
I , А- јачине електричне струје

ρ , број атома / cm^3 – густина плазма гаса и

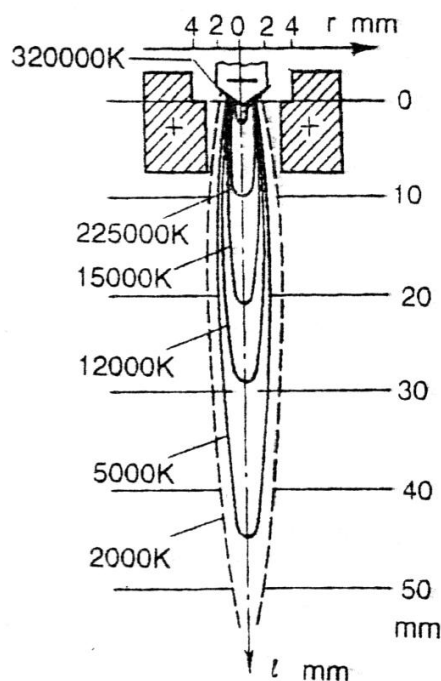
r , cm - полупречник активне површине катодe.

Брзина достиже велику вредност и за јачину електричне струје $400 \div 500$ А и притисак плазма гасова $200 \div 300$ МПа износи 1500 m/s.

До сада наведено доводи до стварања нове материје, коју карактерише постојање високих температура појединих зона (Слика 16), нови састав и особине, које подсећају на особине гасова и течности.

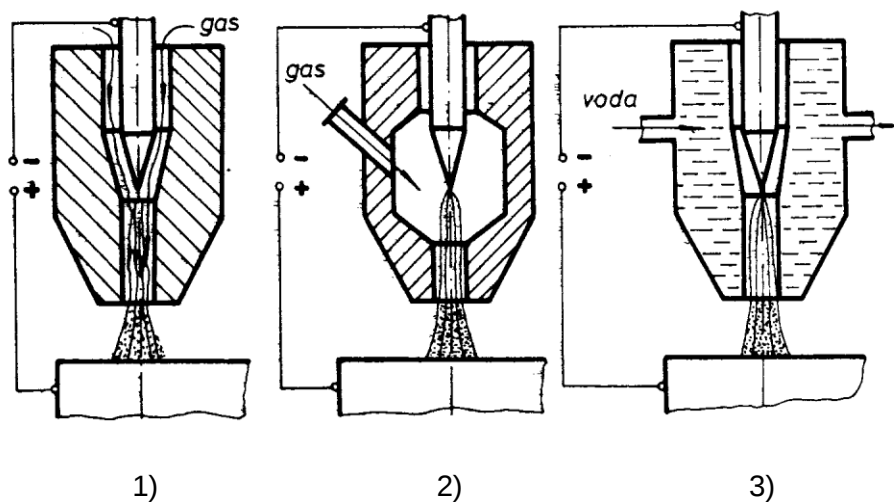


Слика 16 – Температурно поље лука плазме [2]



Слика 17 – Расподела температуре у струји плазме (r-радијус, l- дужина) [2]

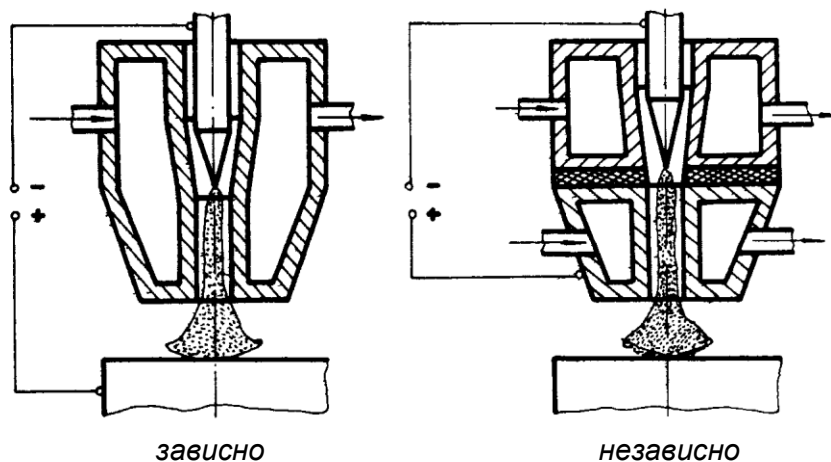
Сноп лука плазме у млазници се смањује услед тоplotног ефекта (тзв. "pinch" ефекат). Сабијањем плазма гаса у млазници сноп плазме се одваја од зидова, чиме се смањују тоplotни губици и постиже гасна стабилизација плазме (Слика 18). Самим тим се и сам процес обраде плазмом стабилизује.



Слика 18 – Стабилизација лука плазме

(1- аксијални ток плазма гаса, 2-тангенцијални ток, 3- хлађење зидова горионика) [2]

Лучно пражњење може бити зависно и независно (Слика 19). Код зависног пражњења електрични лук настаје између електроде и предмета обраде, а код независног унутар горионика између аноде и катодe. Знатно већа количина топлоте предаје се код зависног пражњења и та чињеница се користи код операција које захтевају загревање предмета обраде. Независни лук обезбеђује за 30% веће температуре лука плазме, али је интезитет тоplotног флукса нижи и до 70%.



Слика 19 – Врсте лучног-термичког пражњења [2]

3. "HYPERTHERM 260A" CNC МАШИНА ЗА СЕЧЕЊЕ ПЛАЗМОМ

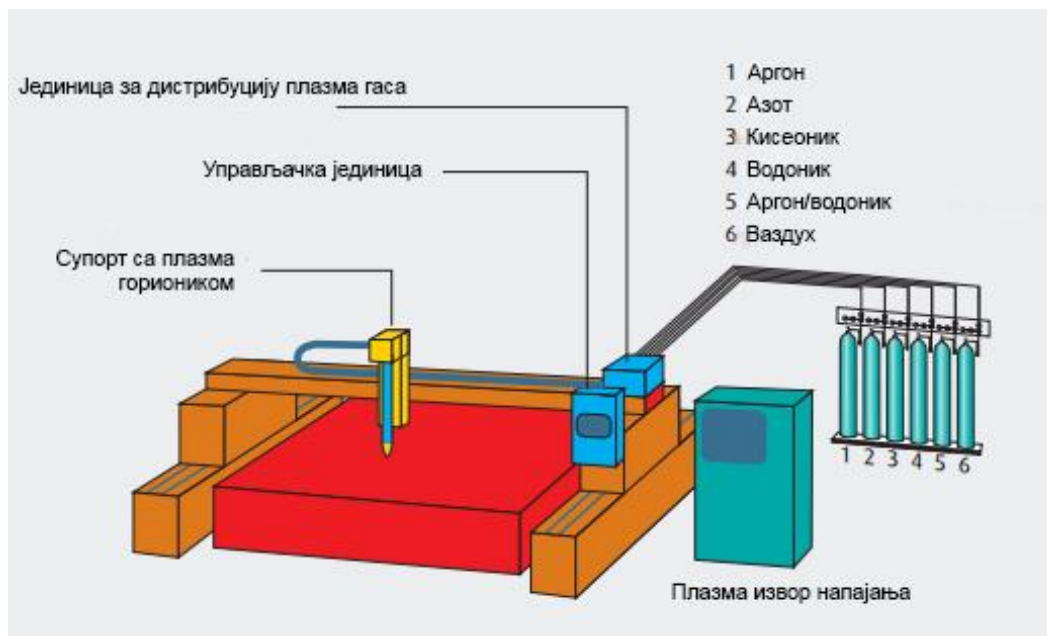
Технички систем "Hypertherm 260A" CNC машина за сечење плазмом (Слика 20)



Слика 20 – "Hypertherm 260A" CNC машина за сечење плазмом

Познатији произвођачи оваквих техничких система у свету су: Сименс, Варстрој, Раптор, Шопер Павер, Контакт, Вендо и др. Од свих ових произвођача по прецизности, брзини и квалитету као и поузданости и квалитету израде система , издвајају се Сименс и Варстрој као водећи.

3.1. Опис техничког система



Слика 21- Структура техничког система за плазма сечење [9]

Основни подсклопови приказане машине алатке:

- радни сто (2000х6000 мм)- Слика 22
- двостране шине за кретање по Х оси- Слика 22
- попречне шине за кретање по Y оси- Слика 23
- Управљачка јединица са ТНС уређајем- Слика 24
- Горионик
- Напајање



Слика 22 – Радни сто са двостраним шинама за кретање по Х оси

Радни сто машине (2000x6000мм) је лимено корито који се састоји од четири сегмента. Кроз радни сто пролази вентилациона цев, она има улогу да одведе гасове који настају као продукти сечења у облику троске, дима и прашине. На постољу су монтирана попречна ребра тзв. ростови који имају носећу улогу предмета обраде.

Носећу структуру машине представљају двострано постављена два "I" профила, на којима се налази зупчаста летва спрегнута са зупчаником погоњеним АС мотором. На тај начин се омогућује кретање по Х оси попречног моста заједно са комадном таблом и гориоником. На попречном мосту налази се зупчаста летва са зупчаником, и на тај начин омогућено је кретање горионика дуж Y осе (Слика 23).



Слика 23 – Попречна шина за кретање по Y оси

Управљачка јединица -командна табла (Слика 24) садржи сигурносни прекидач, велики екран осетљив на додир, тастере за дефинисање одређених функција, прекидаче, потенциометар за промену брзине резања, као и USB-порт и прикључке каблова. Тастатура се састоји из дела сектора Старт-Стоп команде за покретање и заустављање програма, тастатуре за ручно позиционирање, дела тастатуре за укључивање-искључивање плазма лука, тастатуре за подешавање плазма гасова, и дела тастатуре за управљање опцијом маркирања.

Помоћу командне табле може се извршити читавање, верификација, визуелни приказ програма, подешавање параметара обраде, контрола програма, као и само програмирање једноставнијих облика за сечење.



Слика 24 – Управљачка јединица-командна табла

ТНС уређај (Слика 25) служи за контролу Z-осе и свих параметара који зависе од ње. У литератури ова машина се дефинише као 2.5D машина. Међутим, њен ефективан рад се одвија само у XY равни. Машина је покретна и по Z осе, али то је само помоћно кретање, које служи за подизање горионика до сигурносне равни пре ступања у празан ход. ТНС садржи механизам за подизање и спуштање горионика и има ход од 110мм. Уређај садржи дисплеј и тастатуру који се налазе изнад командне табле, и служе за подешавање параметара који зависе од Z осе, као на пример висина горионика у току пробијања, висина горионика у току сечења и др.

Поред ТНС уређаја налази се контролна кутија за управљање маркером за гравирање. На њему се налазе тастери за подизање и спуштање маркера, као и за његово укључивање и искључивање.



Слика 25 – TNC уређај и контролер уређаја за маркирање

На покретном делу машине попречном мосту, иза управљачке јединице налази се уређај тзв " Командна табла за подешавање гасова"(Слика 26). На њој се врши избор плазма и инертног гаса. Такође се врши засебно подешавање гасова приликом пробијања и приликом процеса сечења. У десном углу врши се подешавање јачине струје-ампеража. Поред наведеног пре процеса сечења на овоме уређају врши се инспекција исправности и могуће појаве грешке у подешавању машине.



Слика 26 – "Командна табла за подешавање гасова"

Горионик за сечење (Слика 27) налази се на крају вођица Z осе, на горњем крају је прикључак црева за плазму, док на доњем крају се налази глава за сечење (Слика 28), сачињена од следећих компоненти: електроде, керамичког прстена, дизне, капе дизне, штита и капе штита.



Слика 27 – Горионик за плазма сечење



Слика 28 – "Hypertherm 260A" глава и њене компоненте [10]

CNC машина за сечење плазмом користи у процесу сечења ваздушну плазму, док се за управљање путањом користи рачунарски систем. Од материјала је могуће сећи разне врсте метала, као што су челик, инокс, алуминијум, ватроотпорни челик. У зависности од врсте материјала и јачине плазме могуће је сећи материјале дебљине од 2 мм до 32 мм.

Уз рачунарску контролу, CNC плазма пружа велику тачност при сечењу уз минималну количину отпадног материјала. Припрема материјала врши се у AutoCad програму за 2D цртање, са жељеним димензијама и обликом.

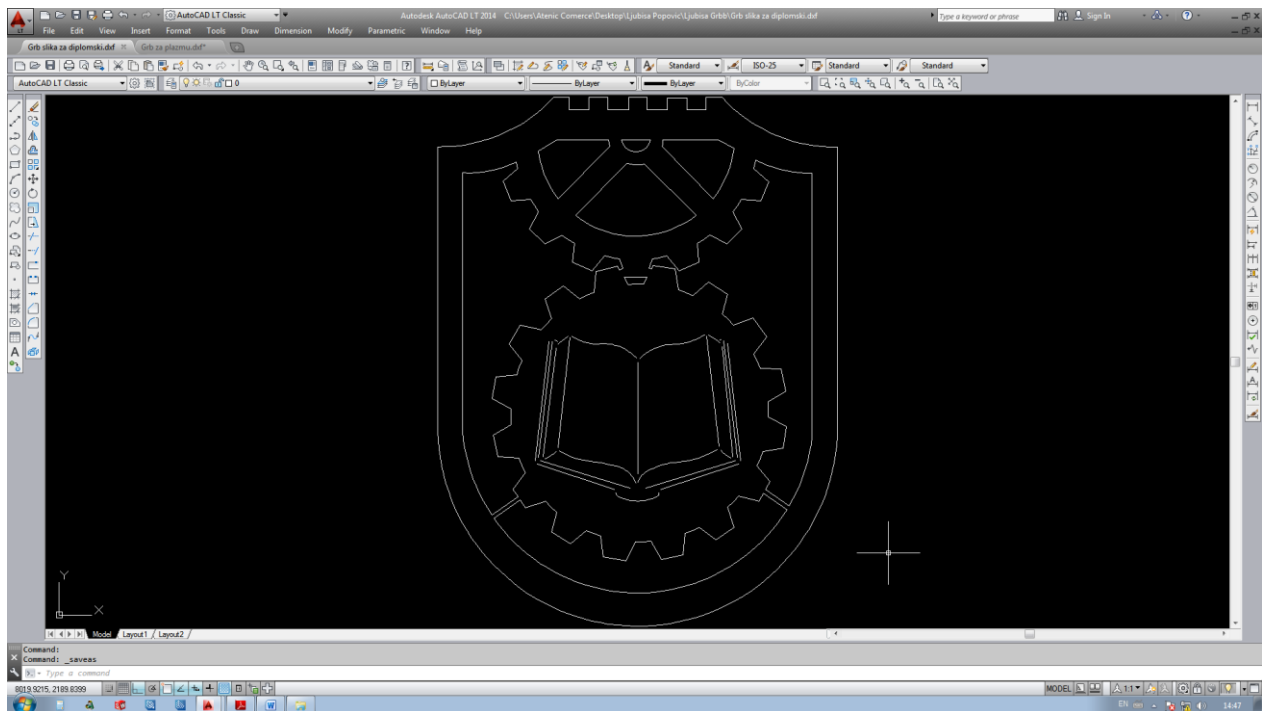
Сечење плазмом је процес који се користи за сечење челика, али и осталих метала користећи плазма пламеник. У овом процесу инертни гас (компресовани ваздух) се издувава кроз мали отвор, док истовремено електрична варница се пошаље кроз гас према површини која се сече, и тај ваздух прелази из гасног у пламено стање. Тако постаје довољно угрејан да топи материјал који се сече, а истовремено се креће великом брзином и на тај начин одувава истопљени део.

Плазма варнице су екстремно вруће и температура иде до 25 000 степени целзијуса. Некада су плазма апарати могли сећи само проводнике, мада су данас у употреби плазме које секу и материјале који не проводе струју. За CNC сечење користе се инвертоване плазме код којих се квалитет реза, већ данас може упоредити са ласерским сечењем.

Сечење плазмом је веома заступљен поступак обраде у скоро сваком процесу производње где је потребно исећи материјал прецизно. Операција сечења обрадка је далеко бржа и прецизнија него код других врста сечења. Како је сам процес сечења аутоматизован, постиже се већа продуктивност, а самим тим и појефтињује се производња због смањења људске радне снаге и појаве шкарта у процесу производње.

3.2. Програмирање CNC машине за обраду плазмом

Програмирање CNC машине за обраду плазмом састоји се из више различитих операција односно корака. Први корак у процесу програмирања састоји се у цртању комада-готовог дела у "Auto Cad" програму (Слика 29). Приликом цртања комада веома важно је обратити пажњу на растојање између суседних резова. Најмање растојање између суседног реза износи три ширине реза тзв. керф, док ширина реза зависи од дебљине материјала и дефинисана је Табелом 1 од стране произвођача машине.

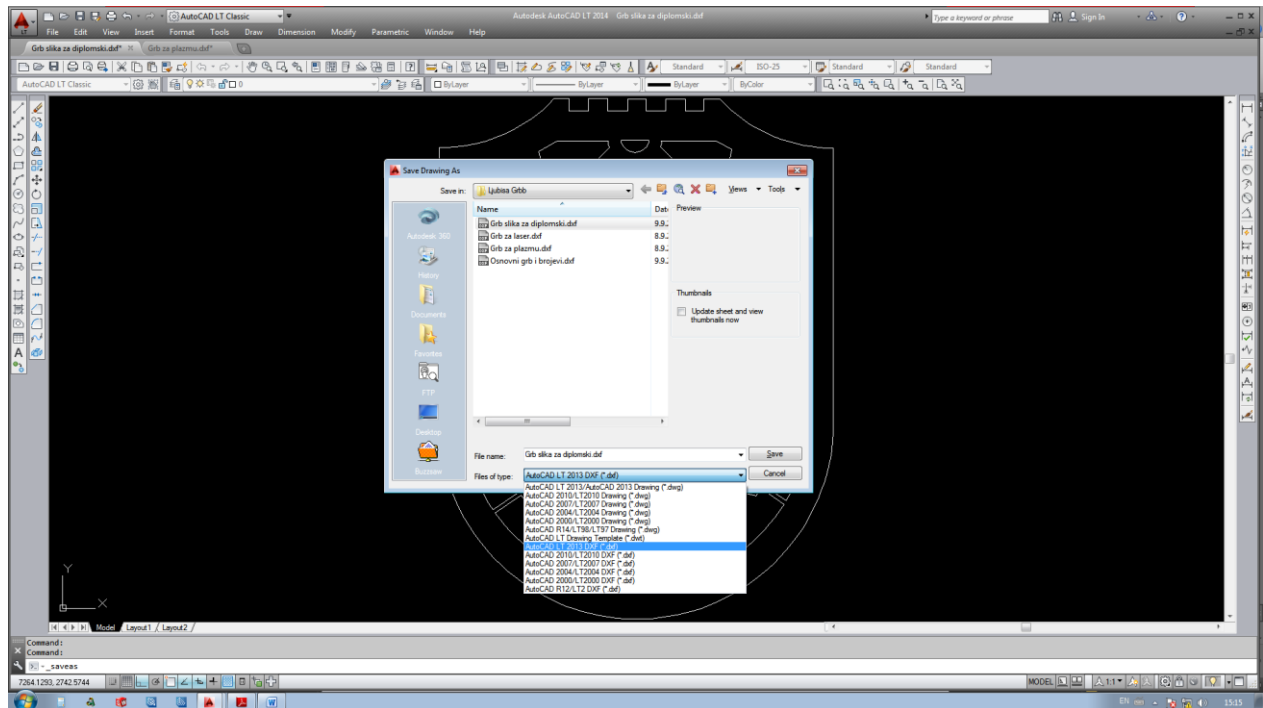


Слика 29 – Геометрија готовог комада за сечење у "Auto Cad" програму

	Thickness (mm)								
	1.5	3	6	10	12	20	25	32	38
260A O ₂ / Air				2.54	2.79	3.43	3.81	4.32	4.45
200A O ₂ / Air				2.18	2.26	2.95			
130A O ₂ / Air			1.803	2.032	2.108	2.642	3.429		
80A O ₂ / Air		1.372	1.727	1.905					

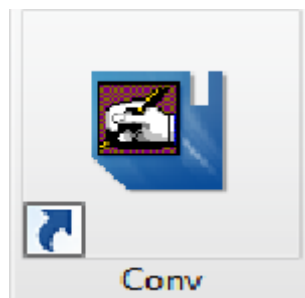
Табела 1 – Ширина реза за типичне дебљине резања и одређену амперажу

Након дефинисања геометрије радног комада, у размери 1:1, цртеж се снима у DXF формату (Слика 30).



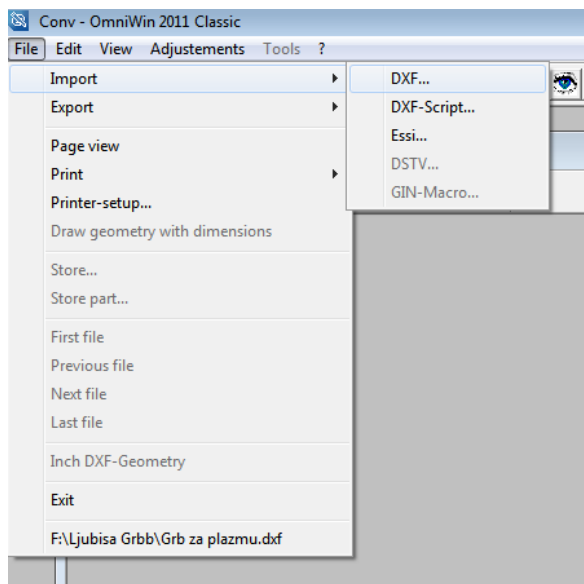
Слика 30 – Конвертовање цртежа у DXF формат

Следећи корак састоји се у отварању цртежа у DXF формату помоћу програма "Omni Conv" (Слика 31) чија је улога да конвертује DXF формат у формат "Omni Nest" програма.

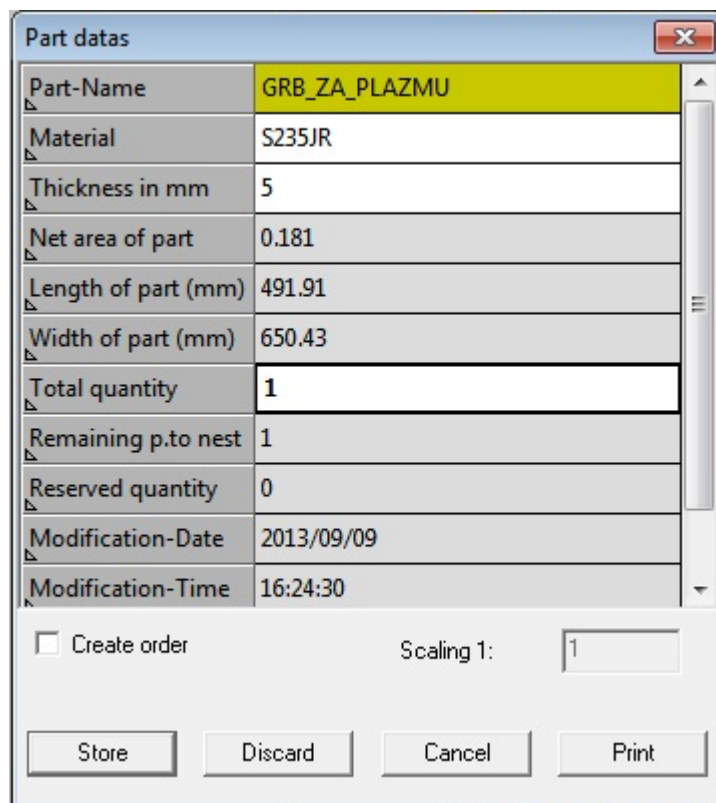


Слика 31- Иконица "Omni Conv" програма

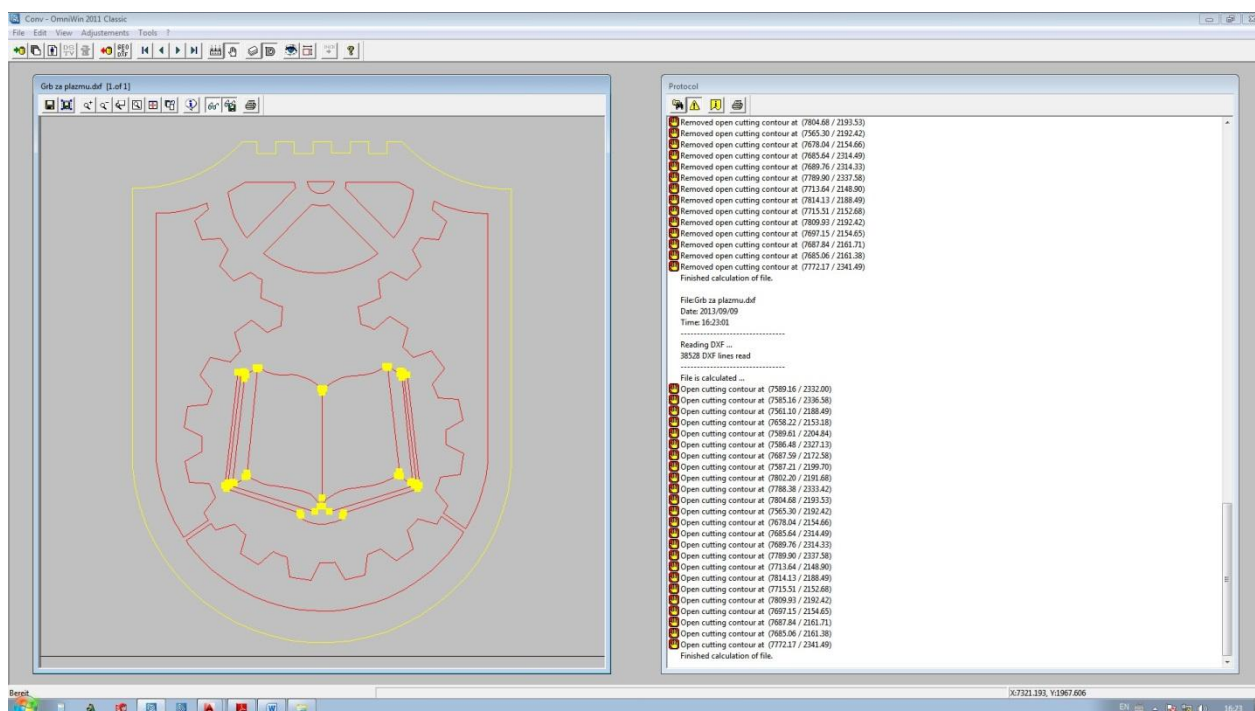
Након стартовања "Omni Conv" врши се увоз DXF цртежа (Слика 32), затим се врши провера контуре, дуплих линија, отворених контура, и на крају генерисање геометрије путање (Слика 33) и чување у базу података приликом чега се дефинише назив дела, врста материјала, дебљина материјала и број комада (Слика 34).



Слика 32 – Увоз цртежа у програм



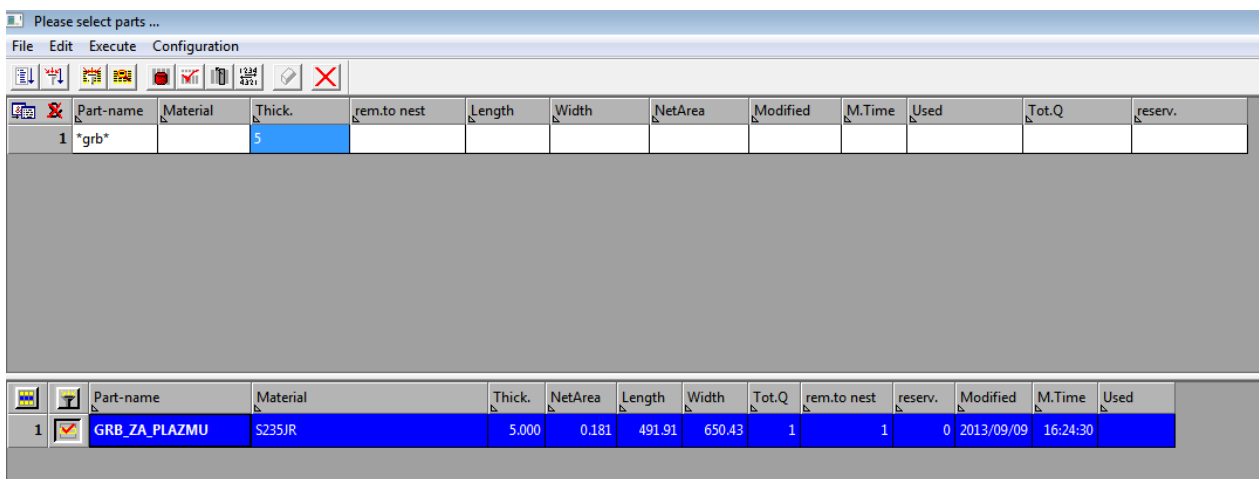
Слика 34 – Чување у базу података



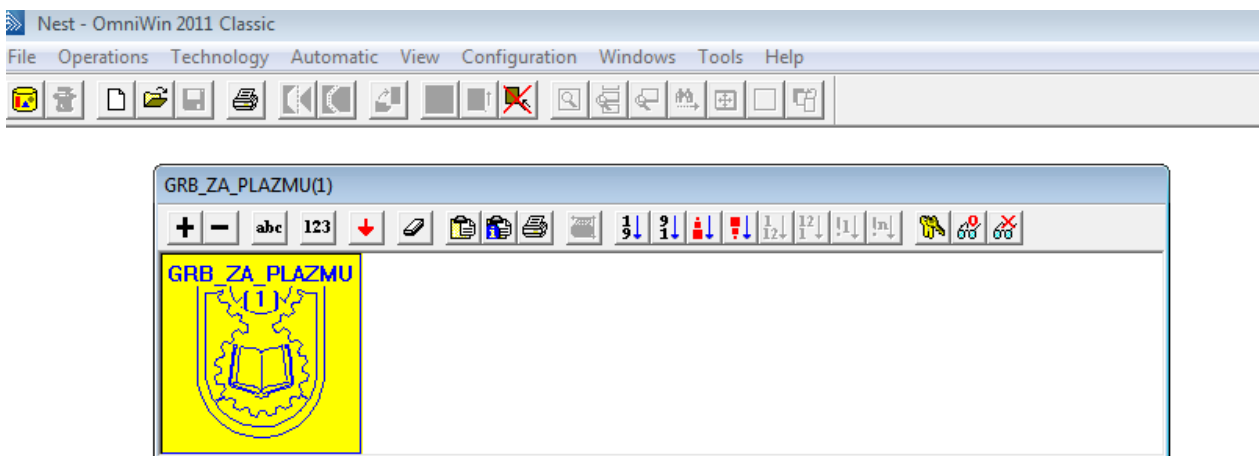
Слика 33 – Окружење "Omni Conv" програма и геометрија комада

Следећи корак се састоји у покретању "Omni Nest" програма, проналажењу дела из базе података према одређеним критеријумима као нпр. назив дела, дебљина материјала, време генерисања комада итд. и селектовања комада (Слика 35). Затим се комад увози (Слика 36) у програм и дефинише се:

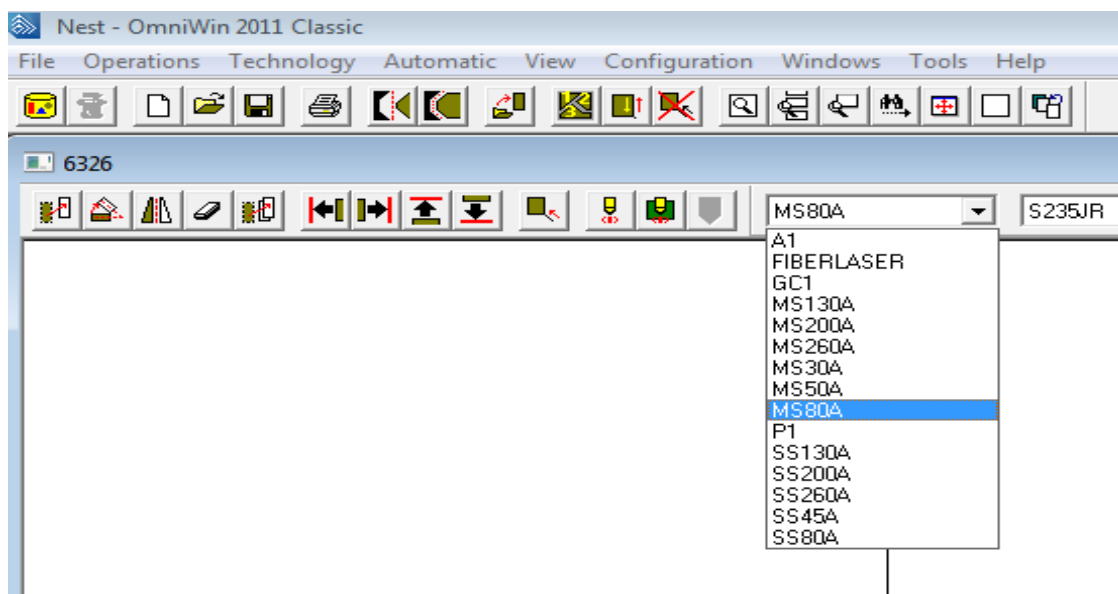
- Јачина струје плазме (ампеража) – Слика 37 у нашем случају 80А за дебљину 5мм дефинисана од стране произвођача машине.
- Димензије табле на којој се комад сече –Слика 38
- Параметара:
 - Растојање између комада, растојања између ивице табле и комада (Слика 39)
 - Облик и димензије улаза/излаза на спољашњој контури (Слика 40)
 - Облик и димензије улаза/излаза на унутрашњој контури (Слика 41)



Слика 35- Окружење "Omni Nest"-а



Слика 36- Увоз комада у програм



Слика 37- Дефинисање јачине струје плазме- ампеража

Enter Plate Data

Name :

Length [mm] :

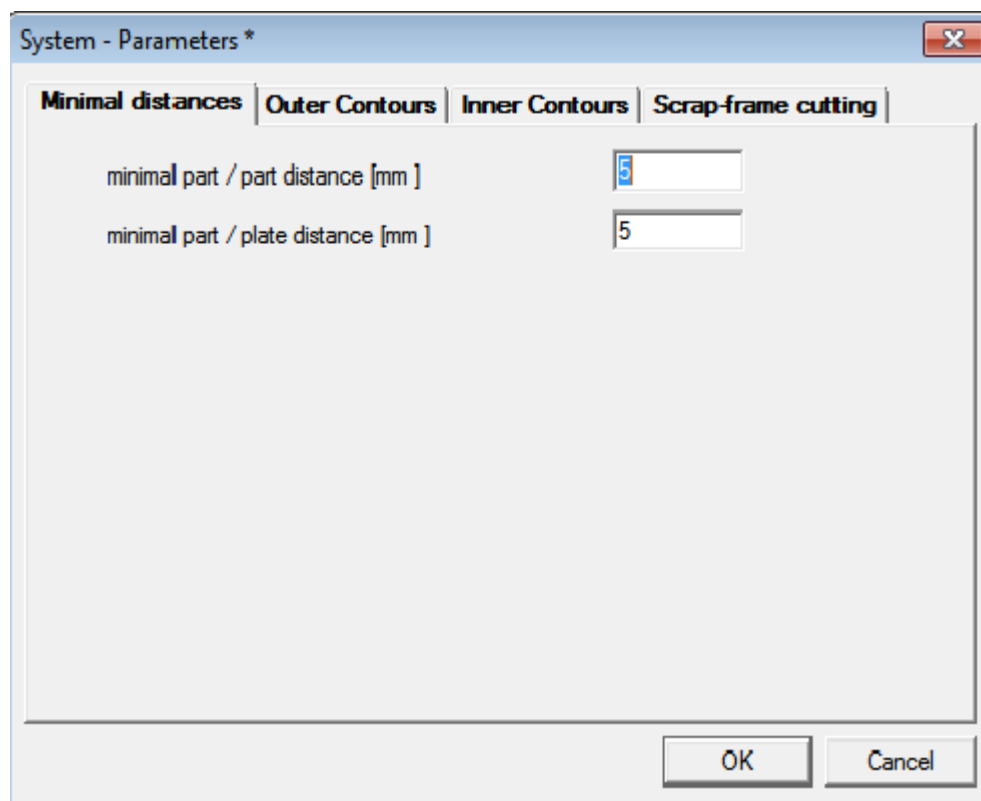
Width [mm] :

Search of smallest possible plate for the nested parts...

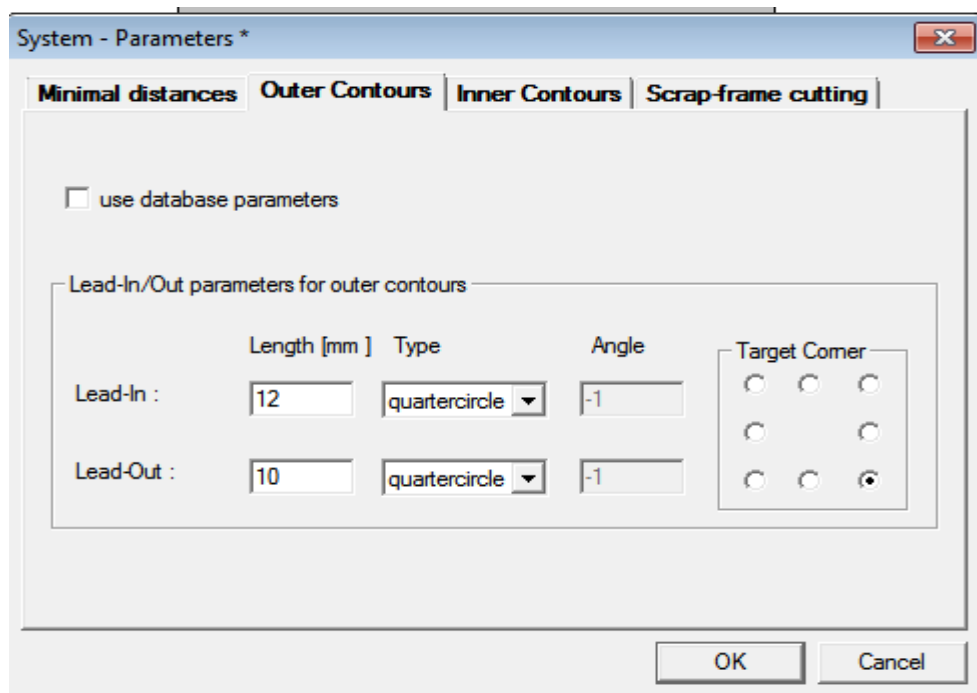
☐ only rectangular plates
☐ also "remnant plates"
☒ also "remnant plates with holes"
☐ only none rectangular plates ("remnants")

☐ Preselection of possible plates with the browser
☒ Put all good plates into list of plates
☒ Allow mirroring of plates
☐ Don't calculate parallel contours for distance check
☐ Allow only 0° and 180° rotations (rolling direction)

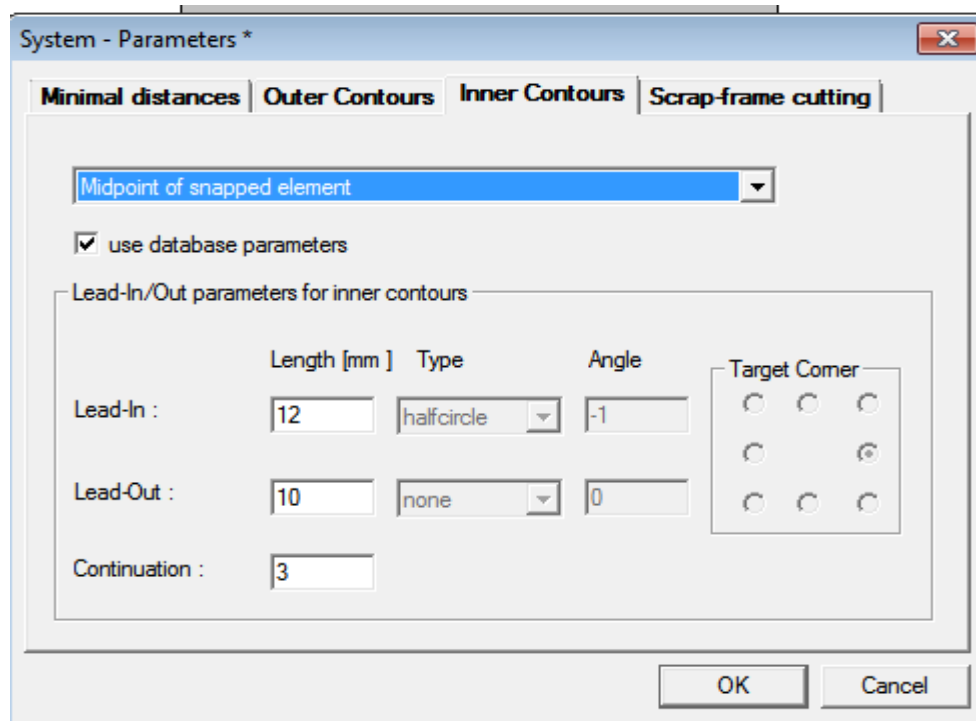
Слика 38- Уношење димензија табле



Слика 39- Дефинисање растојања између комада, као и растојања између ивице табле и комада

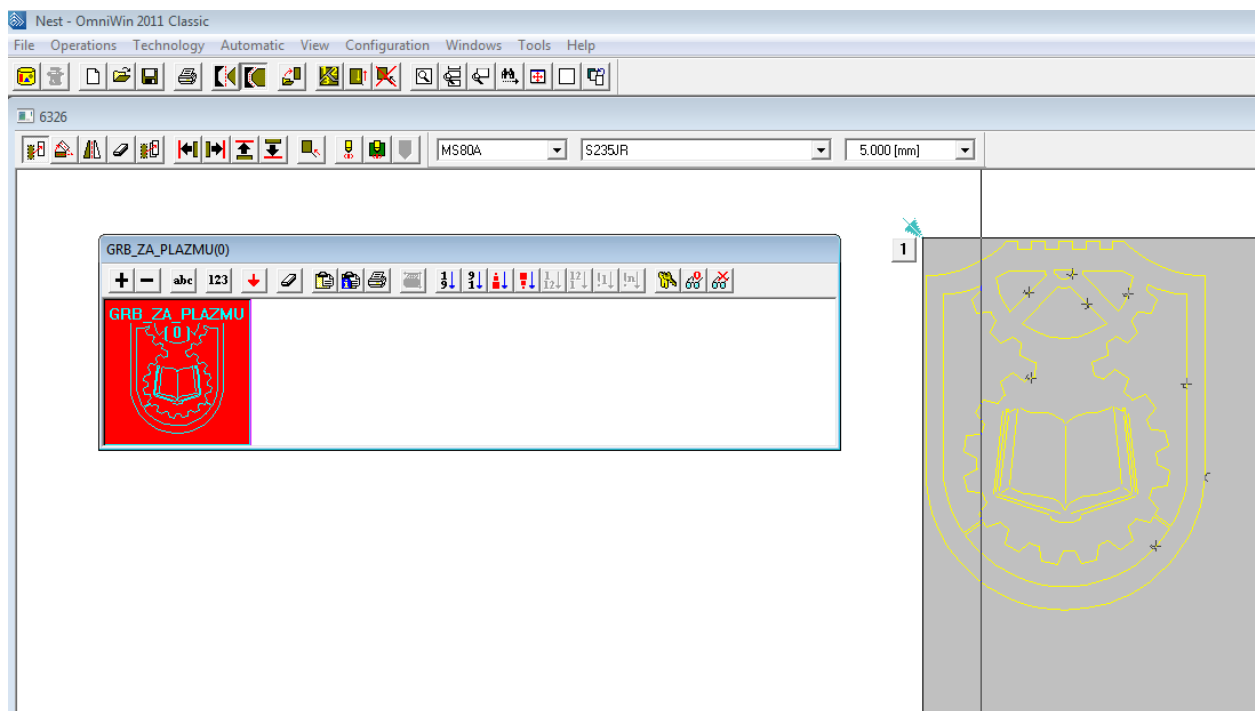


Слика 40- Дефинисање облика и димензија улаза/излаза на спољашњој контури



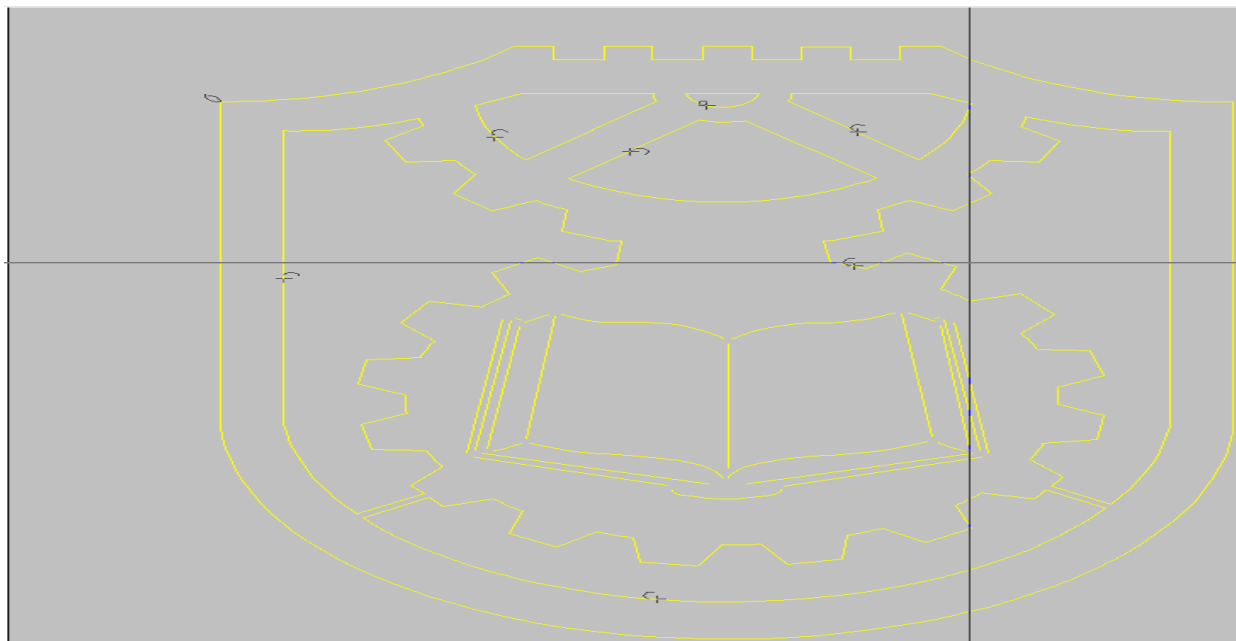
Слика 41- Дефинисање облика и димензија улаза/излаза на унутрашњој контури

Након дефинисања наведених параметара, врши се уклапање комада на дефинисану димензију табле (Слика 42) .

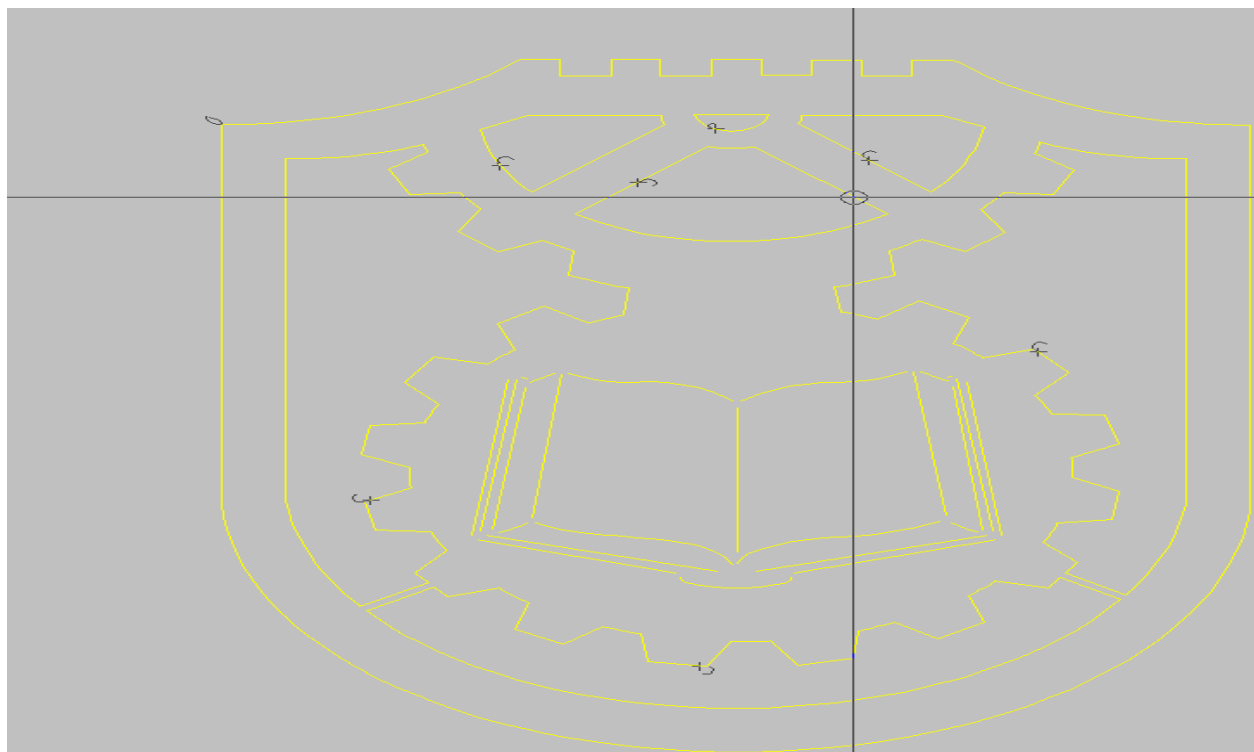


Слика 42 – Уклапање комада на изабрану таблу за сечење

Затим се врши постављање улаза на одговарајућем месту, како би се избегло "уједање" комада на месту пробијања односно улаза (Слика 43 и 44).



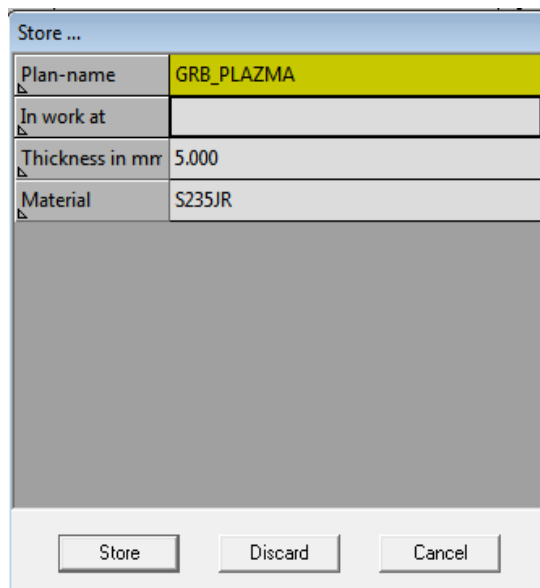
Слика 43- Аутоматски дефинисани улази од стране софтвера



Слика 44- Преправљени улази од стране оператора

Следећи корак представља чување процеса обраде (Слика 45), приликом чега именујемо процес. Након тога, генеришемо CNC код (Слика 46) који нам се отвара у Note Pad-у затим се дефинише његова локација и чува се у .LOS формату (Слика 47). Одмах затим нам се појављује "Листа" (Слика 48) са свим информацијама о процесу сечења које обухватају:

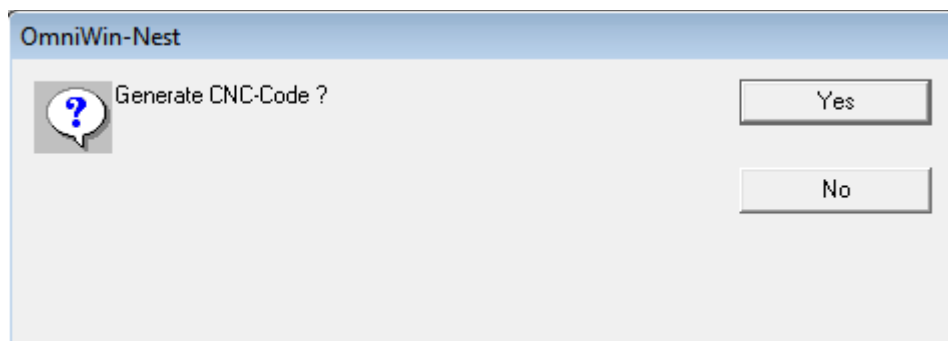
- време трајања процеса сечења (6.3 min)
- тежину готовог дела (7.24 kg)
- тежину припремка (36 kg)
- тежину отпада (7.24 kg)
- искоришћење табле
- дужину реза (6.96 м)



Store ...	
Plan-name	GRB_PLAZMA
In work at	
Thickness in mm	5.000
Material	S235JR

Store Discard Cancel

Слика 45 – Чување процеса обраде



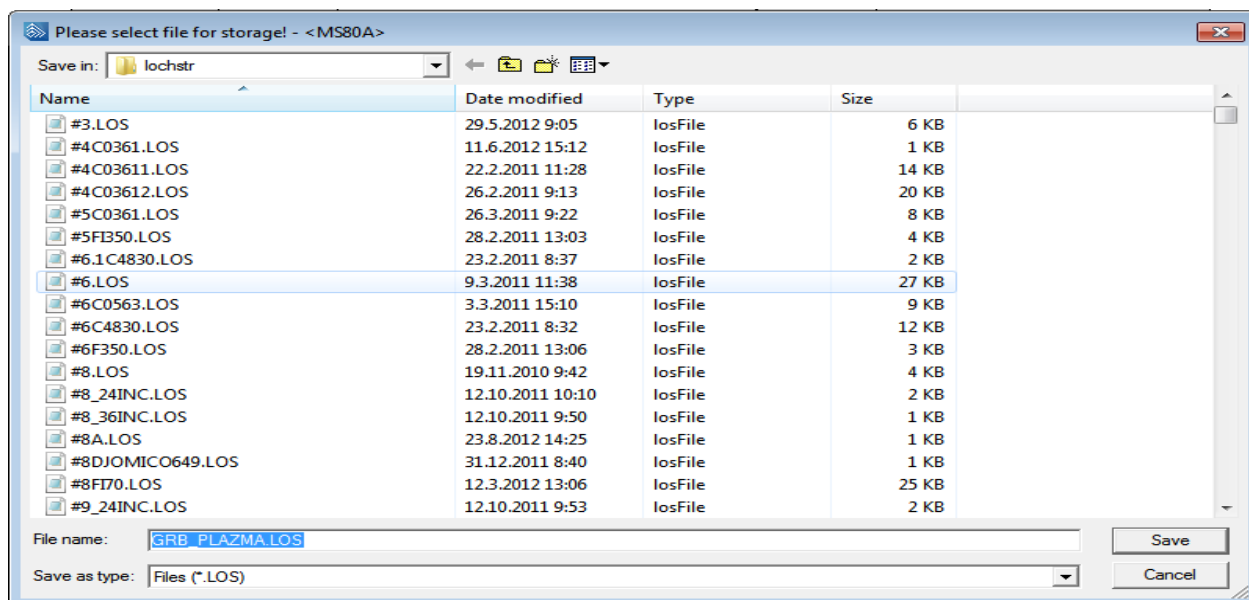
OmniWin-Nest

? Generate CNC-Code ?

Yes

No

Слика 46- Генерисање CNC кода



Слика 47- Чување CNC кода

c:\omniwin\lists\GRB_PLAZMA.lst

DATA FOR WORK PREPARATION GRB_PLAZMA

DATE : 2013/09/09

PLAN NAME : GRB_PLAZMA

MACHINE : MS80A

THICKNESS (mm) : 5.000

QUALITY : S235JR

NUMBER of par.PLATES : 1

TOR. per PLAN (max) : 1

SPEC. WEIGHT : 8.000

NUMBER OF USAGES : 1

Support Nr : 1

PLATE NAME : MESSER

LENGTH (mm) : 600.0

WIDTH : 1500.0

PLATE AREA : 0.900

USED LENGTH : 504.4

CREAT. REMNANTS AREA: 0.000

USED WIDTH : 655.4

NR. PART	QUANT.	AREA net	total AREA (m**2)	total WEIGHT gross(m**2)	tot. WEIGHT net (kg)	tot. WEIGHT gross (kg)	HPR260-80-0 total(m)	to TIME (min)
1 GRB_ZA_PLAZMU	1	0.18		0.90	7.24	36.00	8.88	6.3
0	1	0.18		0.90	7.24	36.00	8.88	6.3

TOTALS

I NR. OF POINTS I PATH-LENGTH(m) I TOOL - ONS I

RAPID TRAVERSE WAY I I 6.96 I I

NORMAL TRAVERSE I I 0.05 I I

CODE STOPS I 3 I I I

HPR260-80-02 I 0 I 8.88 I 32 I

SCRAP, WEIGHTS, AREAS (remnants or used length not considered)

NET AREA : 0.18 m₂

NET WEIGHT : 7.24 kg

SCRAP : 79.89 %

GROSS AREA : 0.90 m₂

GROSS WEIGHT : 36.00 kg

(28.76 kg)

SCRAP, WEIGHTS, AREAS (remnants or used length considered)

NET AREA : 0.18 m₂

NET WEIGHT : 7.24 kg

SCRAP : 79.89 %

GROSS AREA : 0.90 m₂

GROSS WEIGHT : 36.00 kg

(28.76 kg)

KERFWEIGHT : 0.426 kg

Слика 48- "Листа" са информацијама о процесу обраде

Процес програмирања се завршава пребацивањем CNC програма односно датотеке под називом "Grb_plazma80A.LOS" на USB меморију.

3.3. Операција сечења

Покретање комплетног система за плазма сечење врши се укључивањем управљачке јединице прекидачем (Слика 49), укључивањем плазме (Слика 50) и укључивањем вентилационог система.



Слика 49- Укључивање управљачке јединице

По укључивању плазме врши се испитивање притиска гасова пропуштањем кроз главу за сечење. Након тога врши се подешавање гасова и јачине струје на командној табли (Слика 51). Потенциометрима на дну командне табле врши се избор врсте плазма и инертног гаса. Вредности притиска гасова узимамо из Табеле 2 и оне се уносе потенциометрима испод приказа вредности сваког гаса засебно. Након извршеног подешавања гасова и јачине струје врши се инспекција појаве евентуалне грешке у гасној и електро инсталацији система. Следећи корак представља скидање главе и монтирање електроде од 80А (Слика 52) као и осталих пропратних компоненти и постављање главе на машину.



Слика 50 – Укључивање плазме



Слика 51 – Подешавање гасова и јачине струје

Select Gases		Set Preflow		Set Outflow		Minimum Clearance	Equivalent Material Thickness
Plasma	Shield	Plasma	Shield	Plasma	Shield	mm	mm
O ₂	Air	50	48	72	48	2.0	2
							2.5
							3
							4
							6
							10
					24		12
							15
							20

Табела 2 – Вредности гасова за јачину струје 80А

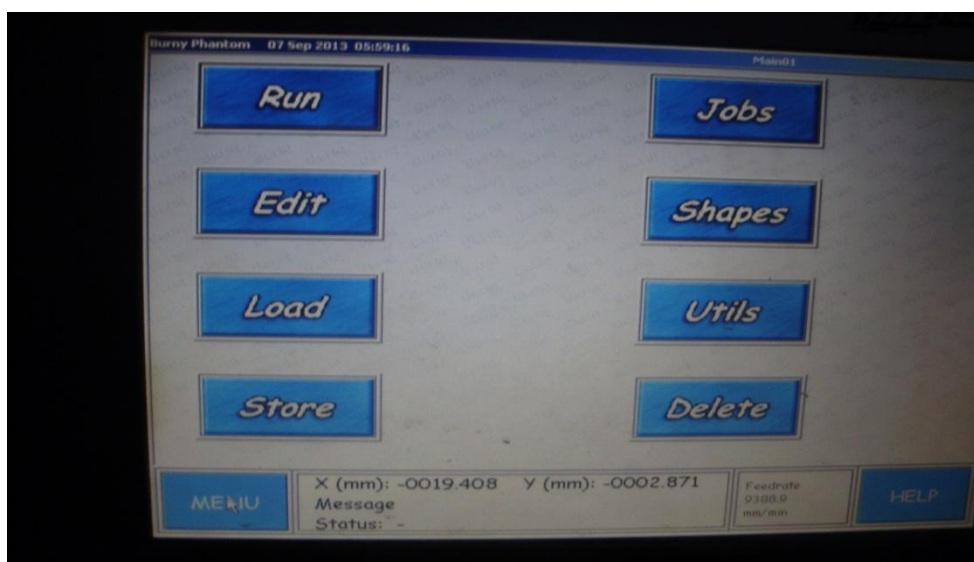


Слика 52 – Скидање главе и монтирање електроде од 80А

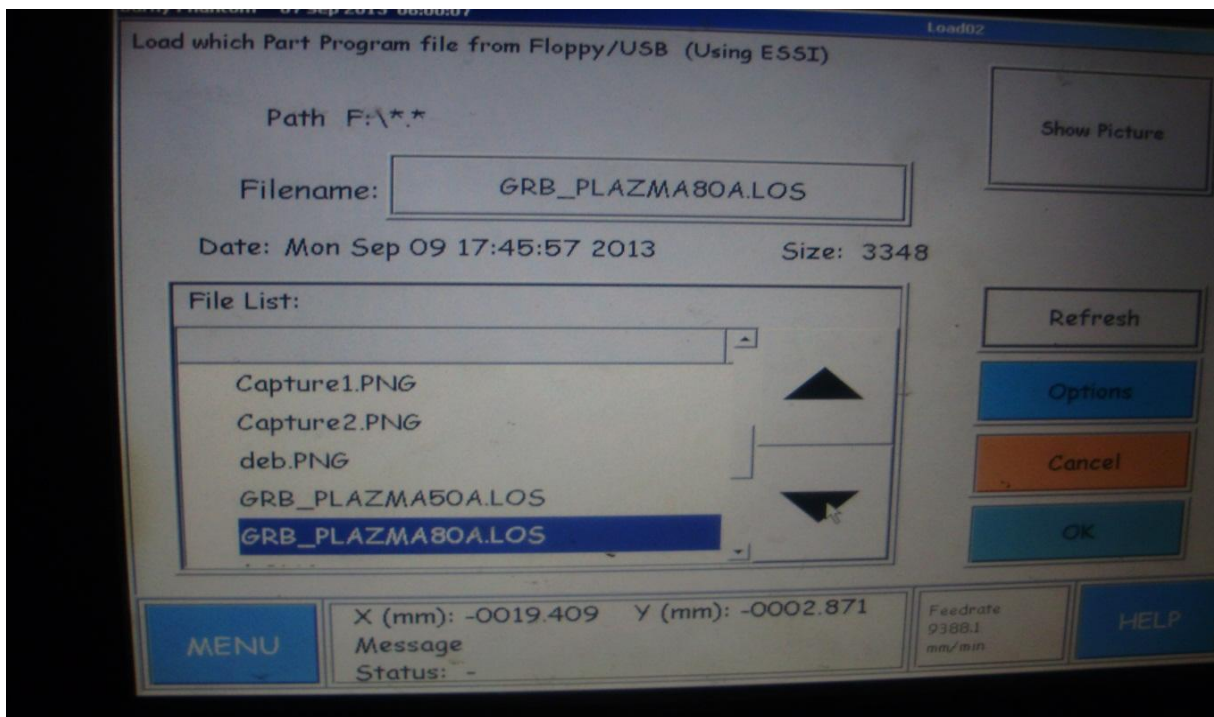
По завршетку подешавања плазма апарата, прелази се на учитавање програма и подешавање осталих параметара. Следећи корак је прикључивање USB меморије на порт (Слика 53). На дисплеју управљачке јединице је приказан главни мени (Слика 54), где се учитавање програма започиње улазом у "Edit" мод Слика (Слика 55), одакле се притиском на опцију "Ок" програм учитава у меморију машине (Слика 56).



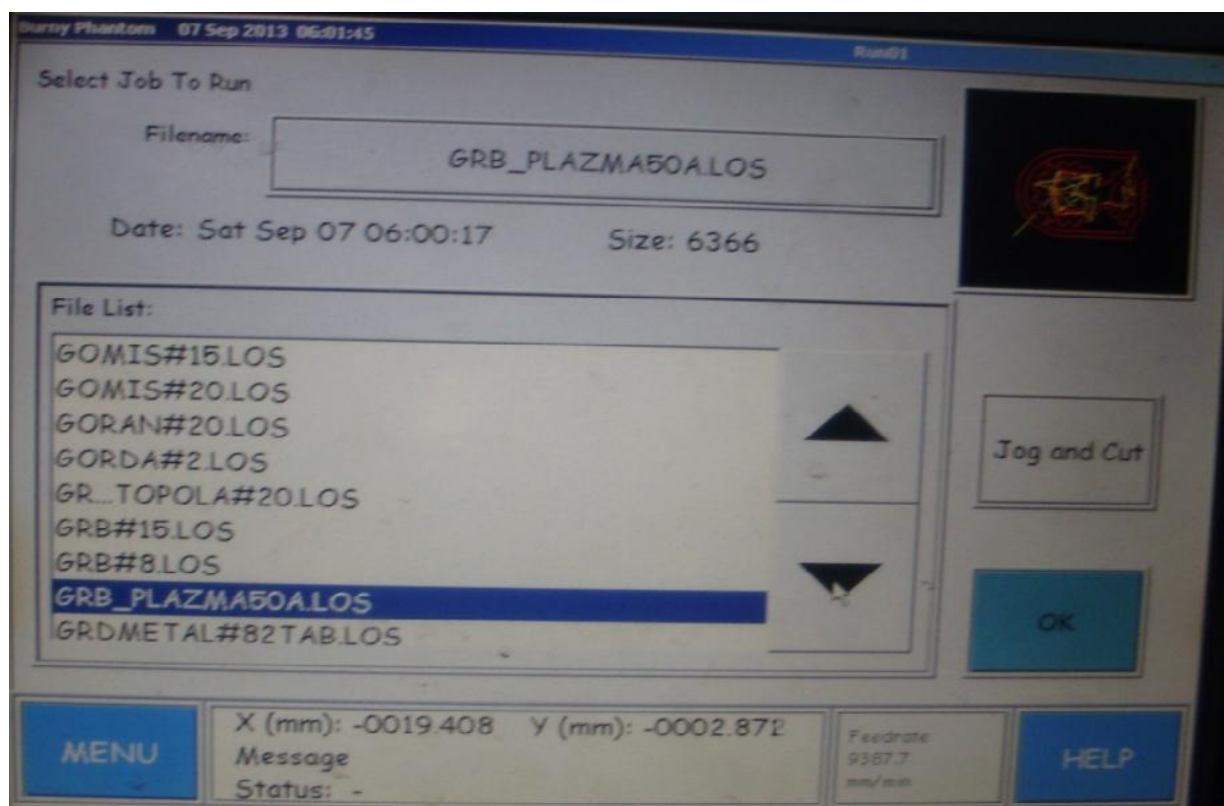
Слика 53 – Прикључивање USB меморије на порт



Слика 54 – Главни мени управљачке јединице

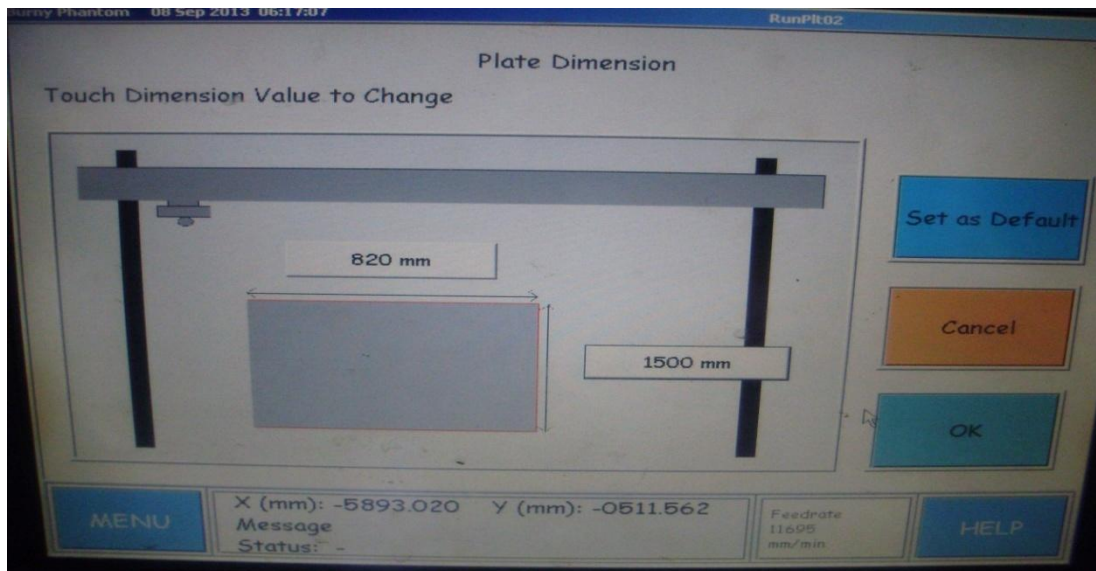


Слика 55 – "Edit" мод

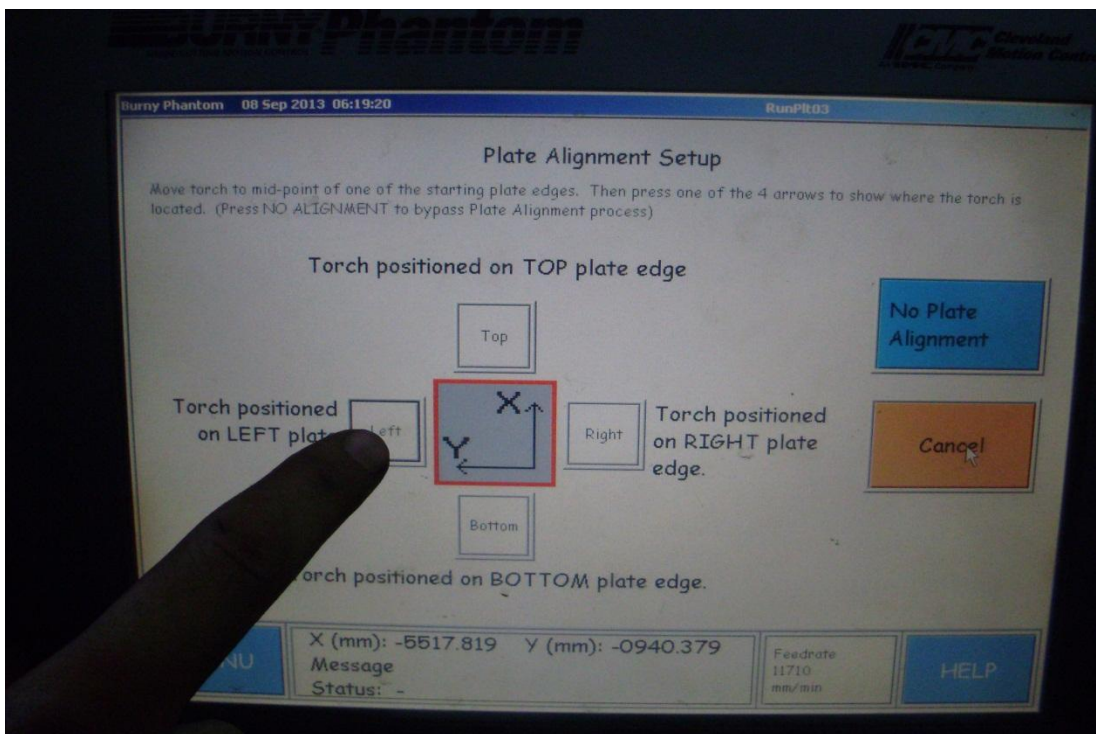


Слика 56 – Програм учитан у меморији машине

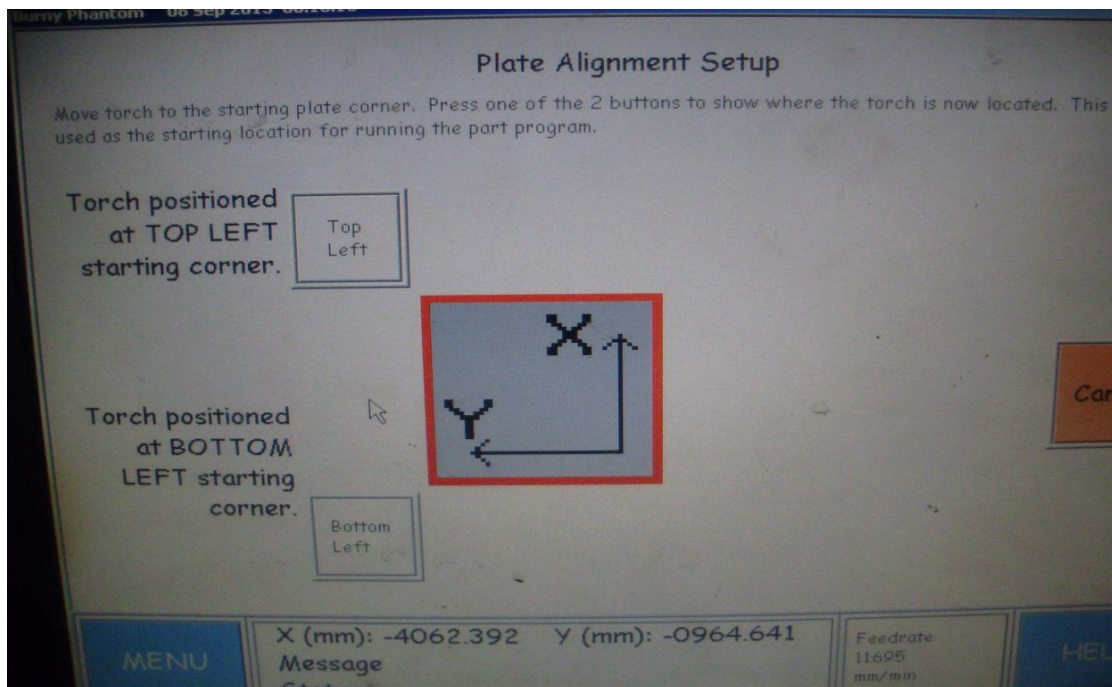
Након учитавања програма, врши се уношење димензија (Слика 57) табле и њено умеравање. Умеравање табле се врши у "ручном моду" помоћу тастатуре за позиционирање главе. Поступак умеравања почињемо одабиром ивице табле са које ће се вршити умеравање (Слика 58). Умеравање се врши у две тачке на одабраној страни табле, горњој и доњој тачки (Слика 59) довођењем ласерског показивача на наведена места. Након тога добијамо графички приказ позиционираног комада на табли (Слика 60).



Слика 57 – Уношење димензија табле



Слика 58 – Одабир ивице табле са које се врши умеравање



Слика 59- Тачке умеравања табле

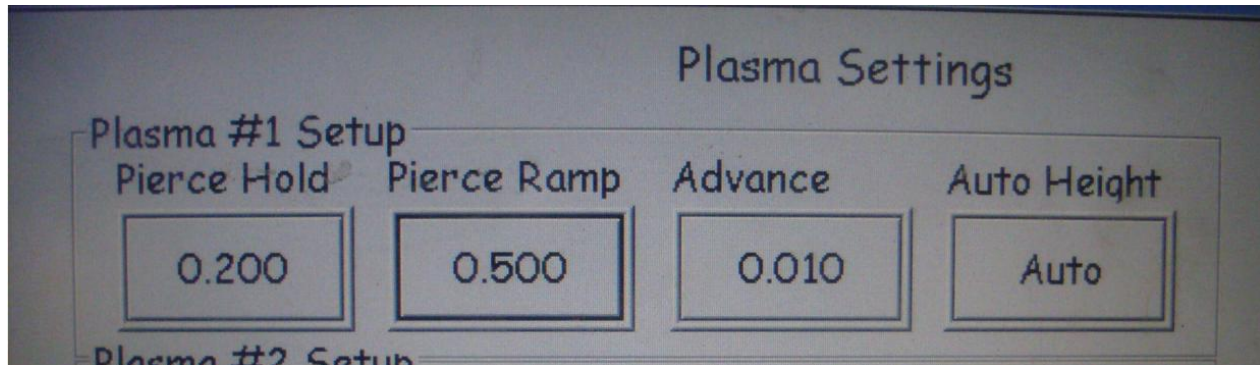


Слика 60 – Графички приказ позиционираног комада на табли

Следећи корак представља подешавање одређених параметара процеса сечења (Слика 61):

- "Pierce hold"- време пробијања
- "Pierce ramp"- време задржавања главе после пробијања
- "Advance" – време гашења плазма лука по изласку из захвата

Последња два параметара су непорменљиви и важе за све дебљине лимова, док први параметар је дефинисан у зависности од дебљине материјала Табелом 3.

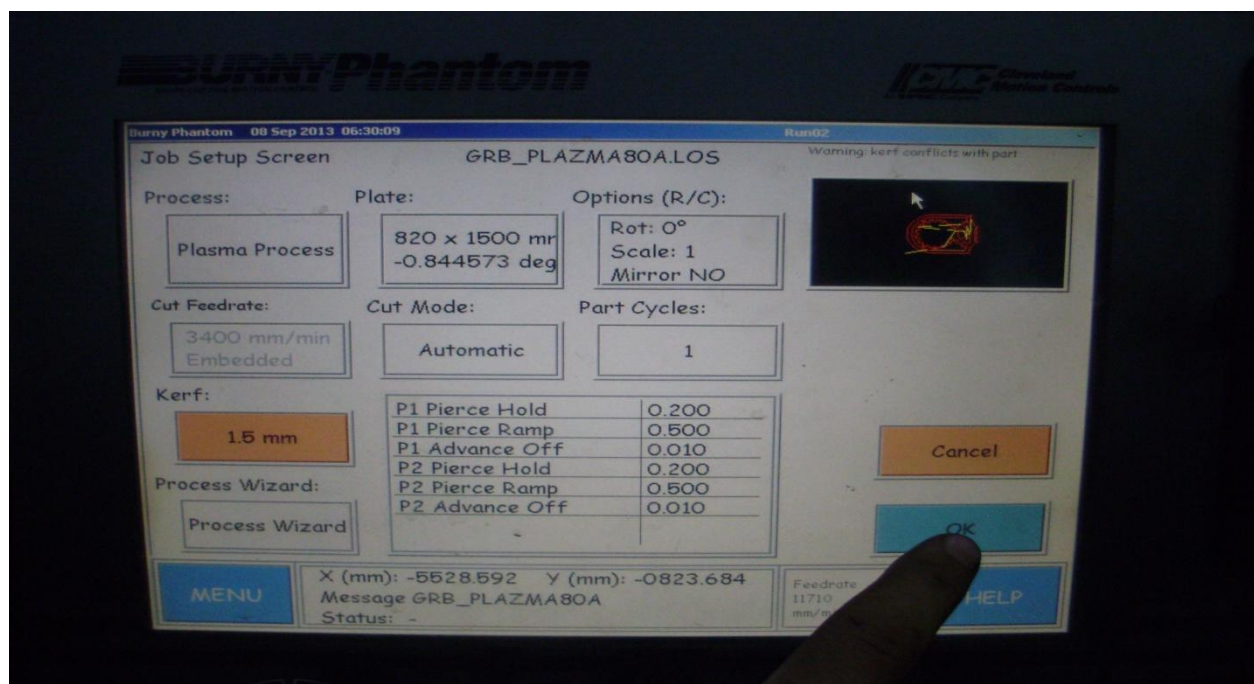


Слика 61- Параметри процеса сечења

Material Thickness	Pierce Delay Time
mm	seconds
2	0.1
2.5	
3	0.2
4	
6	0.3
10	0.5
12	0.7
15	0.8
20	0.9

Табела 3- "Pierce hold" време пробијања

Даље се врши подешавање ширине реза "керф" чија се вредност узима из Табеле 1, као и одабир аутоматског мода сечења (" Cut Mode: Automatic")- Слика 62, а затим се врши потврђивање подешених параметара.



Слика 62- Подешавање ширине реза и мода сечења

Следећи корак представља подешавање ТНС уређаја (Слика 63), дефинисањем следећих параметара Табела 4:

- "Cut Height" - растојање главе током процеса сечења
- "Pierce Delay Time" - време пробијања
- "Pierce Height" - висина главе у току пробијања
- "Elevation Height" - висина подизања главе након сечења

Material Thickness	Torch-to-Work Distance	Pierce Delay Time	Initial Pierce Height	
mm	mm	seconds	mm	factor %
2	2.5	0.1	3.8	150
2.5				
3				
4	2.0	0.2	4.0	200
6				
10				
12		0.3	5.0	250
15		0.5		
20		0.7		
		0.8		
		0.9		

Табела 4- Параметри за подешавање ТНС уређаја



Слика 63- THC уређај

Након подешавања параметара THC уређаја завршили смо припрему и подешавање машине за процес сечења. На крају, опцијом "View" добијамо графички приказ путање горионика, и на тај начин врши се последња провера и верификација програма.

Затим тастером "GO" отпочињемо операцију сечења(Слика 64). Машина се може у сваком моменту зауставити притиском на тастер "Stop" (Слика 64) и поново покренути тастером "GO". Даља функција оператера је надзор. У случају грешке, оператер мора бити спреман, у сваком тренутку, да моментално заустави машину.

На слици 65, 66, 67, 68 и 69 приказан је процес сечења и готов комад.

Недостаци сечења плазмом су велика количина отпадних честица, залепљена за ивицу комада, па је за комаде са малом толеранцијом неопходна додатна обрада ивица. Због високих температура, које се јављају при сечењу, јављају се и велике деформације за танке лимове, као и заостали напони.

Ипак, прецизност и квалитет не могу се упоредити са мануелним машинама.



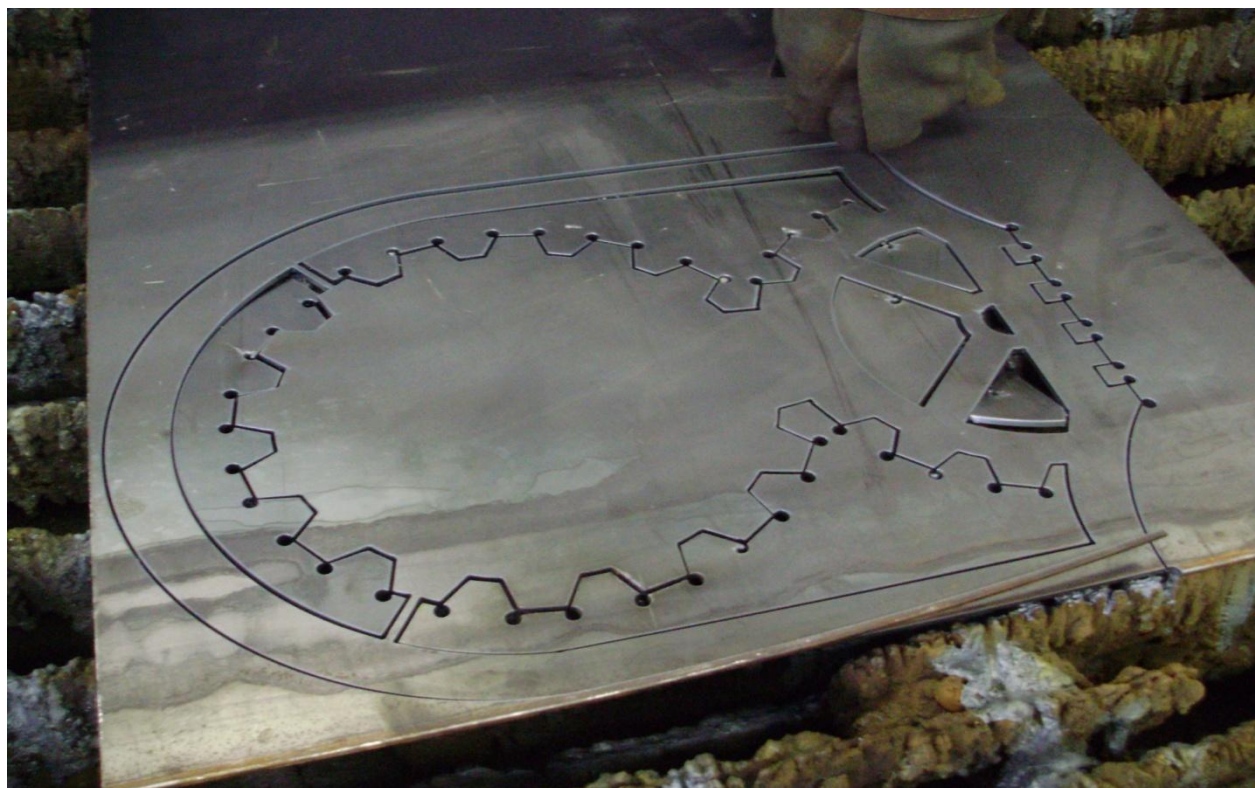
Слика 64- "GO" и "Stop" маскер



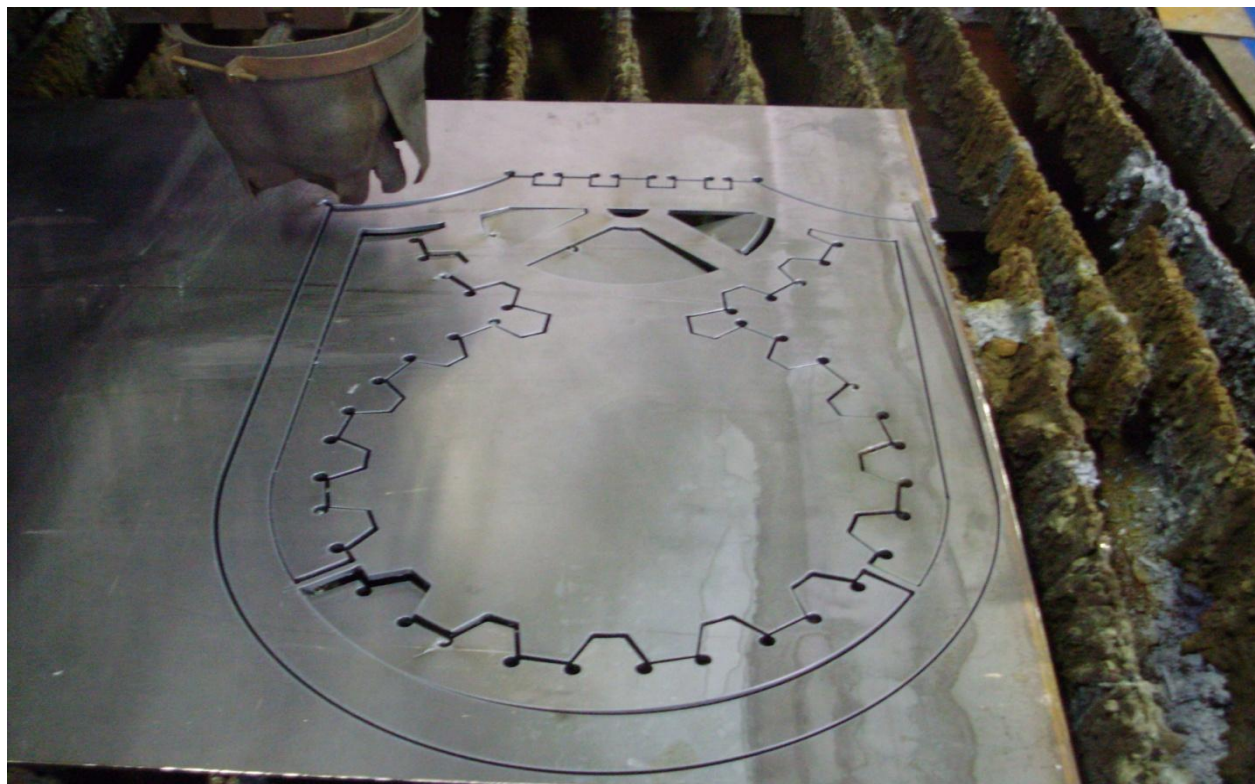
Слика 65- Сечење грба Факултета инжењерских наука



Слика 66- Сечење грба Факултета инжењерских наука



Слика 67- Исечен грб



Слика 68- Исечен грб

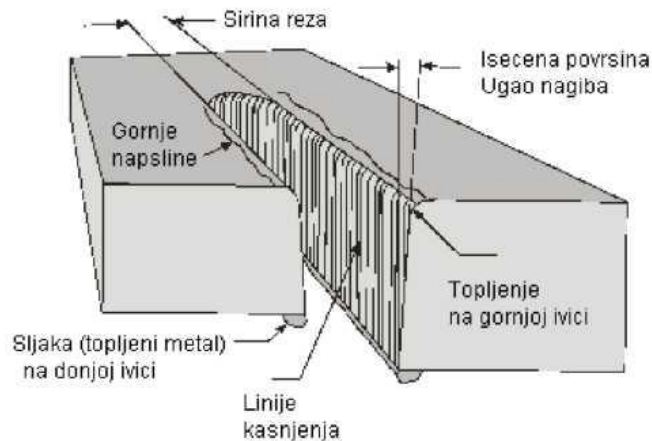


Слика 69- Грб након додатне обраде на ласеру

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА

4.1. Стандард EN ISO 9013

Европски стандард " EN ISO 9013 - Термално сечење" дефинише терминологију и класификацију термалног сечења, садржи геометријску спецификацију производа и начин дефинисања квалитета. Стандард се примењује на материјалима погодним за гасно сечење (сечење кисеоником) од 3 до 300 mm, сечење плазмом од 1 до 150 mm и сечење ласером 0,5 до 40 mm (Слика 70).



Слика 70- Параметри квалитета код сечења плазмом [11]

Стандард " EN ISO 9013" дефинише квалитет површине преко следећих параметара:

- Одступање управности и угластости (ћошкостост)
- Средња висина неравнина -храпавост
- Закошеност линија реза
- Топљење на горњој ивици
- Могуће формирање неравнина или шљаке (растопљени метал у облику капљица) на дну површине реза.

Овај стандард дефинише термине као што су: ширина сечења (реза), угао нагиба површине реза... који се могу користити за дефинисање квалитета обраде.

Основни параметри и фактори утицаја, који се дефинишу приликом припреме ЦНЦ машине за сечење плазмом су:

- дебљина материјала (mm)
- јачина струје (A)

- одабир цртежа
- мерне јединице цртежа (mm - inch)
- одабир машине
- одабир алата
- ширина реза (mm)
- брзина сечења (mm / min)
- време предзагревања (sec)
- време задржавања горионика приликом пробијања (sec)
- висина горионика у току пробијања (mm)
- висина горионик у току сечења (mm)
- време задржавања горионика након искључивања лука (sec)
- лејер цртежа
- дефинисње комада и отпада
- дефинисање облика и дужине улаза (пробијање) (mm)
- дефинисање облика и дужине излаза (mm)
- начин програмирања (аутоматски - мануелни)
- смер сечења
- редослед сечења
- координатни почетак
- притисак ваздуха (bar)

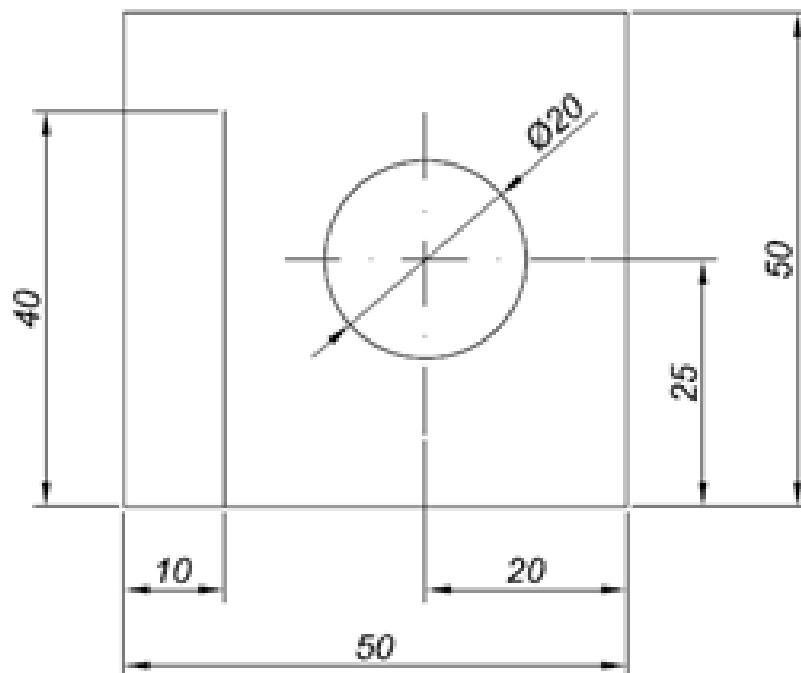
4.2.План испитивања

Испитивање садржи четири експеримента, чији резултати прате промену одређених параметара сечења. За сваки експеримент, исечен је одређен број узорака од угљеничног челика Š0361, одређеног облика и димензија(Слика 71). У Табели 5 приказани су режими

сечења, параметри храпавости, контролисане димензије узорака, као и угао коничности отвора (α).

Подела експеримената према одређеним критеријумима:

- Експеримент променљивих брзина сечења, при константној јачини струје 130А и висини сечења (Узорак 1,2,3 и 4)
- Експеримент променљивих висина сечења, при константној јачини струје и брзине сечења (Узорак 5,6,7)
- Експеримент порменљивих нивоа похабаности дизне, при константним осталим параметрима (Узорак 12,13,14)
- Експеримент променљивих брзина сечења, при константној јачини струје 260А и висини сечења (Узорак 15,16,17 и 18)



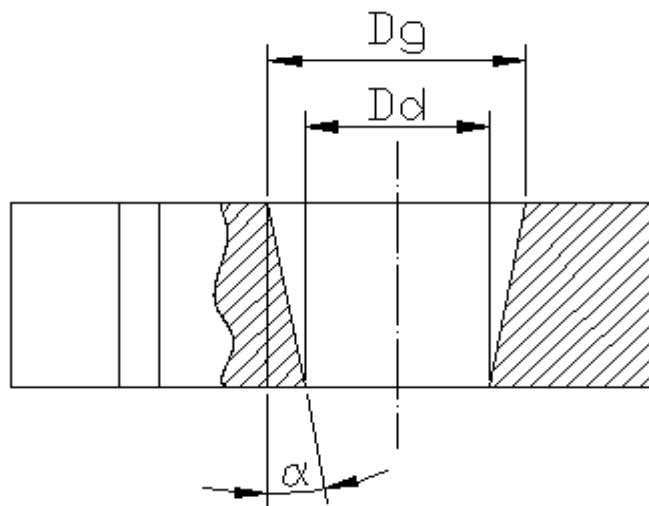
Слика 71- Димензије узорка

На Слици 73 приказане су контролисане димензије узорка, дефинисане Табелом 5. Напомена да је димензија "А" мерена на средини комада и да су сви резултати испитивања прелеминарног карактера.

Испитивање микрогеометрије површине реза вршена је на мерном уређају "Talysurf" (Слика 72). На тај начин одређени су параметри храпавости R_a -средње аритметичко одступање профила од средње линије профила и R_{max} - максимална висина неравнина.



Слика 72- Мерни уређај "Talysurf"



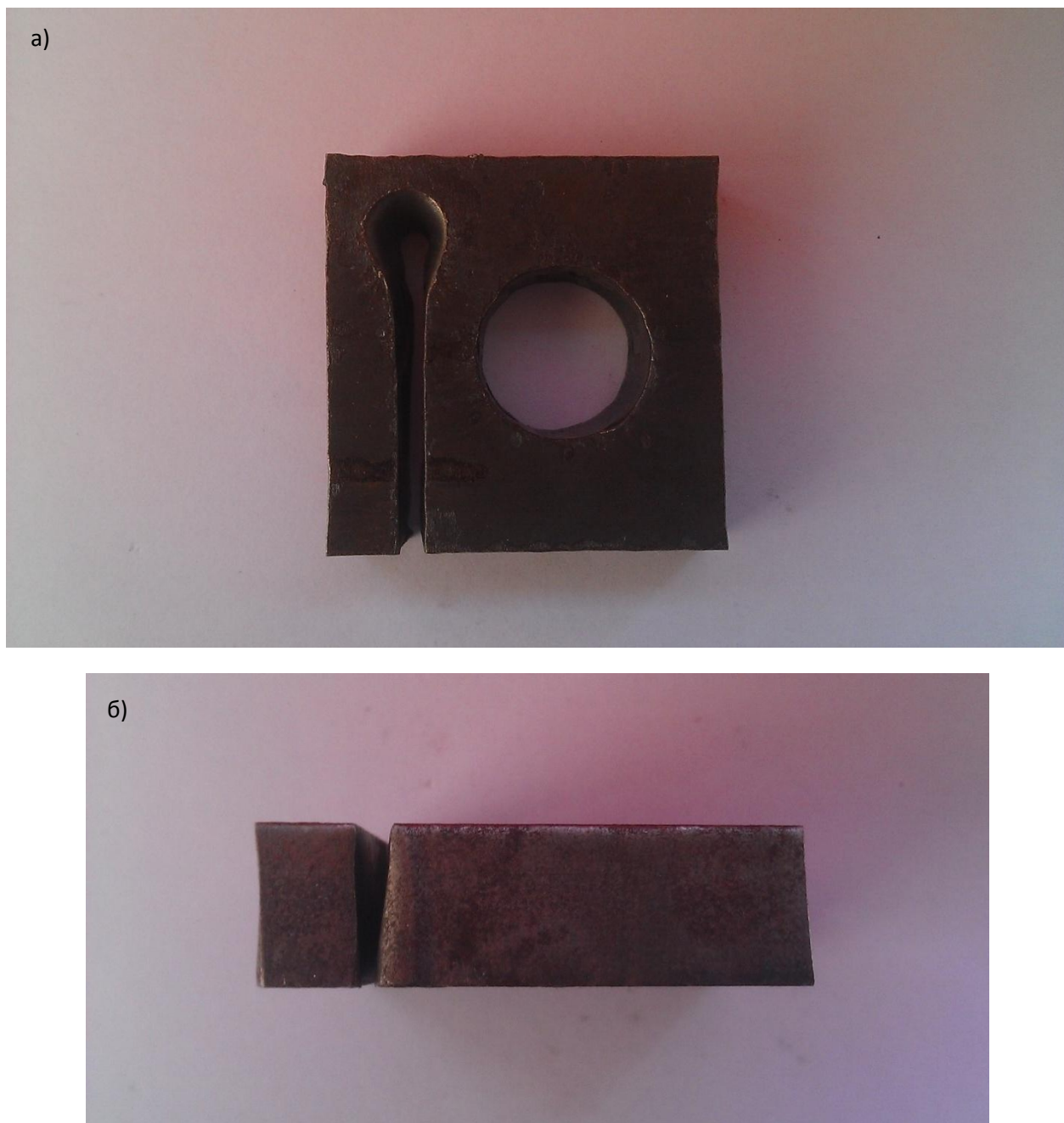
Слика 73 – Контролисане димензије узорка

Р.Б.Узорка	Јачина струје (А)	Брзина сечења (mm/min)	Висина сечења (mm)	Ra (μm)	Rmax (μm)	D _g (mm)	D _d (mm)	A (mm)	α (°)
1	130	1000	3.8	2.35	19.4	21.12	20.04	49.03	2.06
2	130	1400	3.8	2.71	16.5	20.84	19.8	49.77	1.98
3	130	1800	3.8	2.04	13.1	20.8	19.09	49.63	3.26
4	130	2200	3.8	1.34	10.3	21.13	20.83	49.55	0.57
5	130	1400	3.2	1.58	11.5	20.8	20	49.44	1.52
6	130	1400	4.4	3.1	24.5	20.82	19.83	49.22	1.89
7	130	1400	5	2.4	24.1	21.03	19.73	50.08	2.48
12	130	1400	3.8	2.91	21.5	21.16	19.86	49.89	2.48
13	130	1400	3.8	4.51	28.1	21.03	19.75	49.56	2.44
14	130	1400	3.8	4.6	31	21.56	19.6	49.67	3.73
15	260	1800	4.1	3.42	21.2	21.03	20.2	49.25	1.58
16	260	2200	4.1	2.29	18.7	21.21	19.56	49.73	3.14
17	260	2600	4.1	2.47	20.8	21	19.57	49.67	2.72
18	260	2100	4.1	2.48	27.1	20.96	19.98	49.48	1.87

Табела 5- Вредности режима обрада, параметара храпавости, контролисаних димензија

4.2.1. Експеримент променљивих брзина сечења, при константној јачини струје и висини сечења

У приказаном експерименту извршено је сечење плазмом различитим брзинама сечења, при константној јачини струје и висини сечења. Направљено је 4 узорка, сечена од плочастог материјала дебљине 15 mm, јачином струје од 130 A, висини сечења 3.8 mm и променљивим брзинама приказаним у Табели 5. На Сликама 74, 75, 76, 77 приказани су исечени узорци.



Слика 74- Узорак 1-1000 mm/min а)поглед одозго б)поглед с'преда



Слика 75- Узорак 2- 1400 mm/min а)поглед одозго б)поглед с'преда



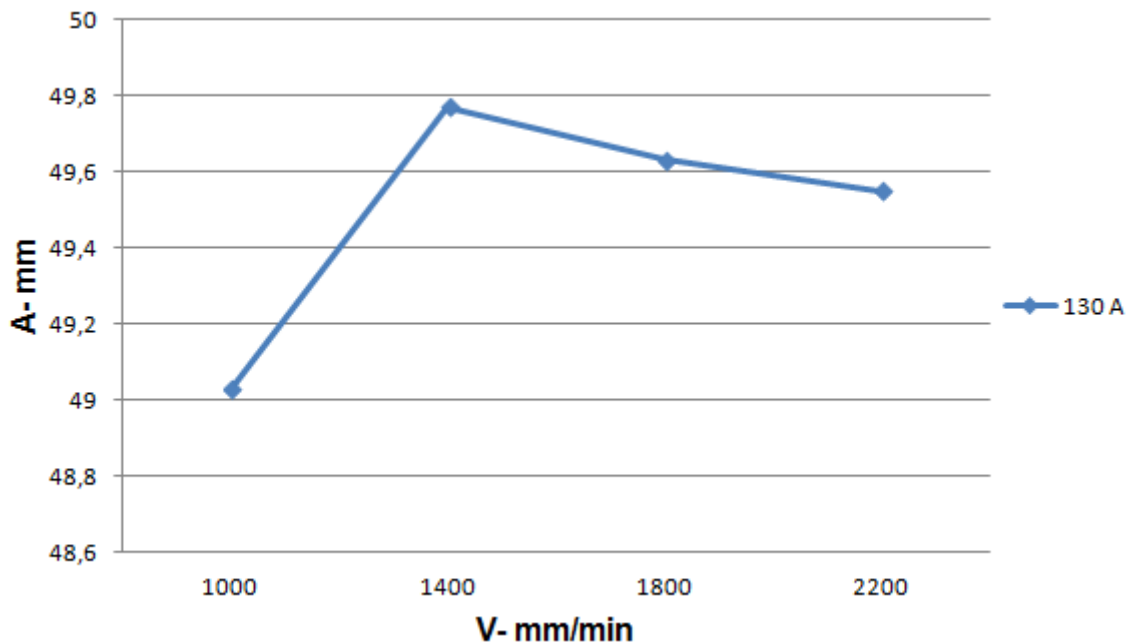
Слика 76- Узорак 3- 1800 mm/min а)поглед одозго б)поглед с'преда



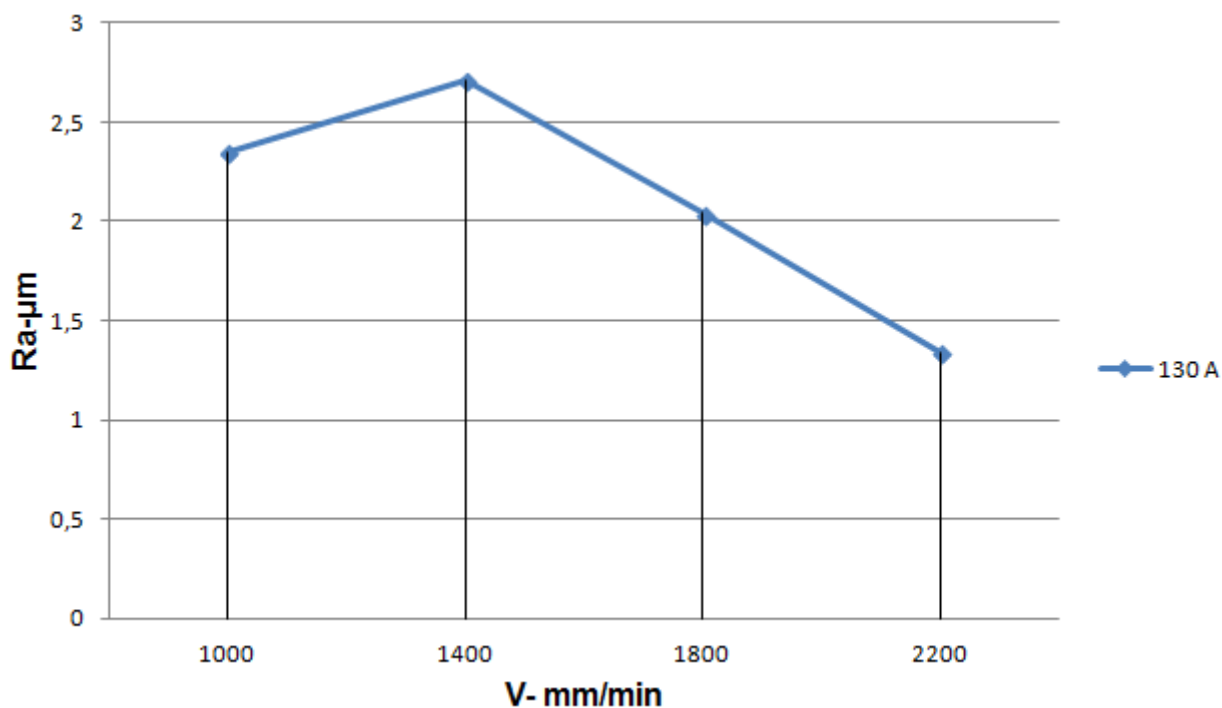
Слика 77- Узорак 4- 2200 mm/min а)поглед одозго б)поглед с'преда

На основу вредности из Табеле 5 и међусобним поређењем истих за све испитиване узорке, може се извести закључак да узорак 4, поседује најбољи квалитет обрађених површина. Са друге стране димензиона тачност отвора је мало лошија у односу на друге, а вредност димензије "А" приближно иста као код осталих. Угао α је најмањи и готово занемраљив у односу на остале узорке.

На следећем Дијаграму 1 приказана је промена вредности димензије "А" у функцији промене брзине сечења за јачину струје 130 А. Са дијаграма се може уочити да је најмање одступање од мере за вредност брзине 1400 mm/min што представља 80% од табличне вредности, а највеће одступање је за вредност 1000 mm/min.



Дијаграм 1- Промена димензије "А" у функцији промене брзине сечења "V"

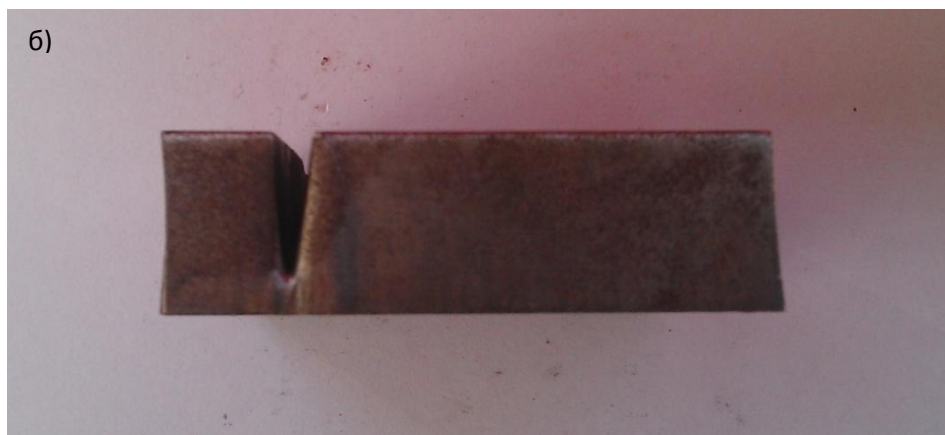


Дијаграм 2- Промена параметра храпавости "Ra" у функцији промене брзине сечења "V"

Са Дијаграма 2 може се извести закључак да се најбољи квалитет површине реза добија при брзини сечења 2200 mm/min.

4.2.2. Експеримент променљивих висина сечења, при константној јачини струје и брзине сечења

У следећем експерименту извршено је сечење плазмом различитим висинама сечења, при константној брзини сечења и јачини струје. Направљено је три узорка, сечена од плочастог материјала дебљине 15 mm, јачином струје од 130 А, брзини сечења 1400 mm/min и променљивим висинама сечења приказаним у Табели 5. На Сликама 78, 79 и 80 приказани су исечени узорци.



Слика 78- Узорак 5- 3.2 mm а)поглед одозго б)поглед с'преда

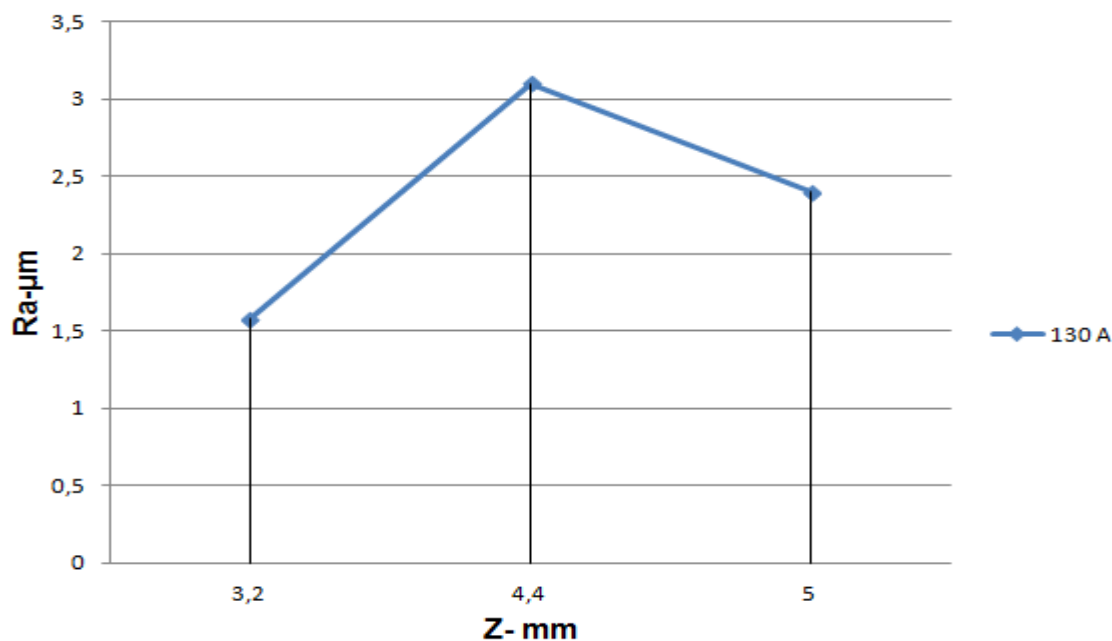


Слика 79- Узорак 6- 4.4 mm а)поглед одозго б)поглед с'преда



Слика 80- Узорак 7- 5.0 mm а)поглед одозго б)поглед с'преда

На основу вредности из Табеле 5, долазимо до закључка да од испитиваних узорака најбољи квалитет површине реза, као и димензиону тачност отвора и најмањи угао коничности отвора има узорак под редним бројем пет. Дијаграм 3 приказује промену параметра храпавости "Ra" у функцији промене висине сечења.



Дијаграм 3- Промена параметра храпавости "Ra" у функцији промене висине сечења.

4.2.3. Експеримент променљивих нивоа похабаности дизне, при константним осталим параметрима

У приказаном експерименту извршено је сечење плазмом дизнама различитих нивоа похабаности, при константним осталим параметрима. Направљено је 3 узорка, сечених из плочастог материјала дебљине 15 mm, јачином струје од 130 A, брзином сечења 1400 mm/min и висином сечења од 3.8 mm. Коришћене су дизне са 3 нивоа похабаности, приказане на Сликама 81, 82, 83, док су исечени узорци приказани на Сликама 84, 85, 86.



Слика 81- Дизна I нивоа похабаности

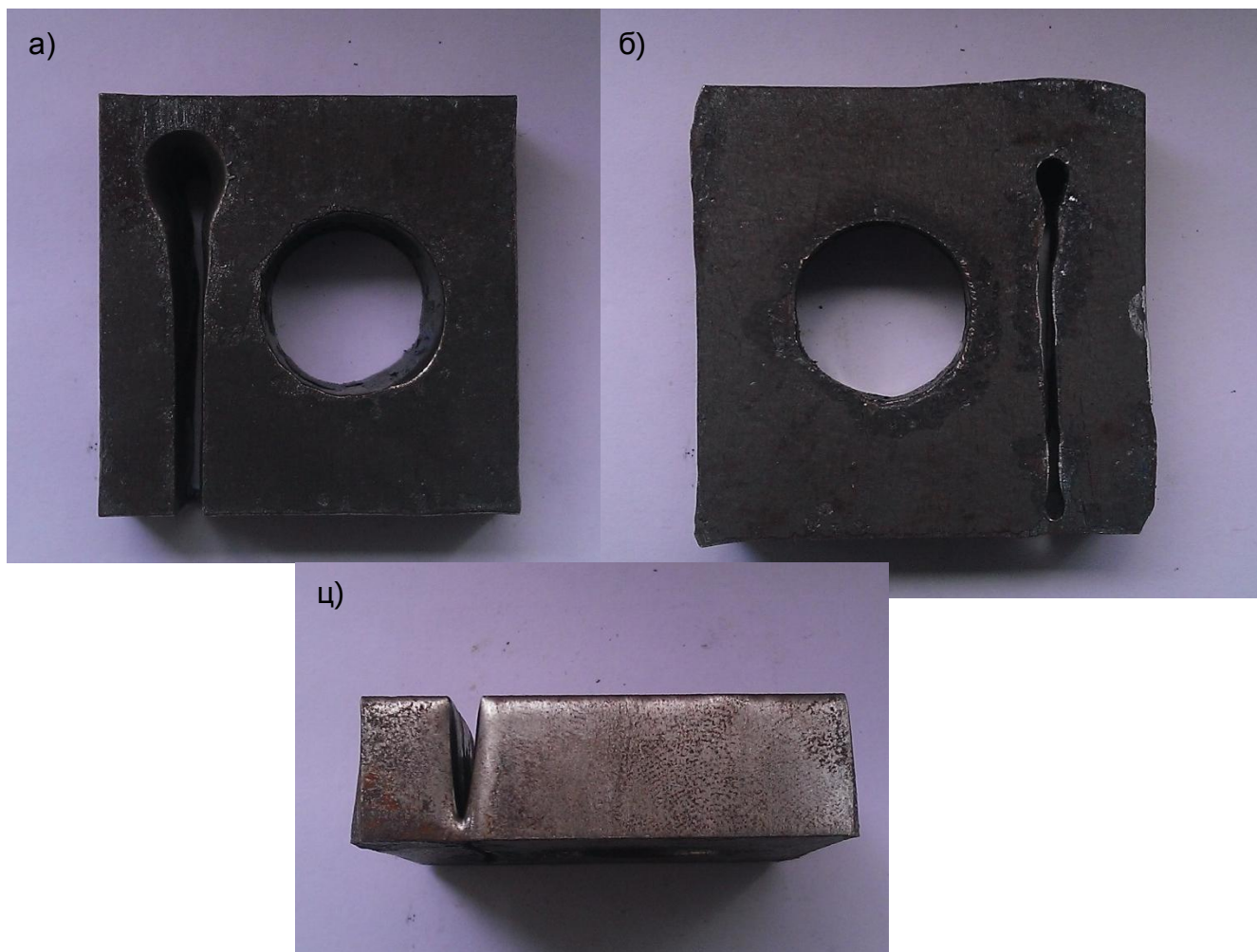


Слика 82- Дизна II нивоа похабаности

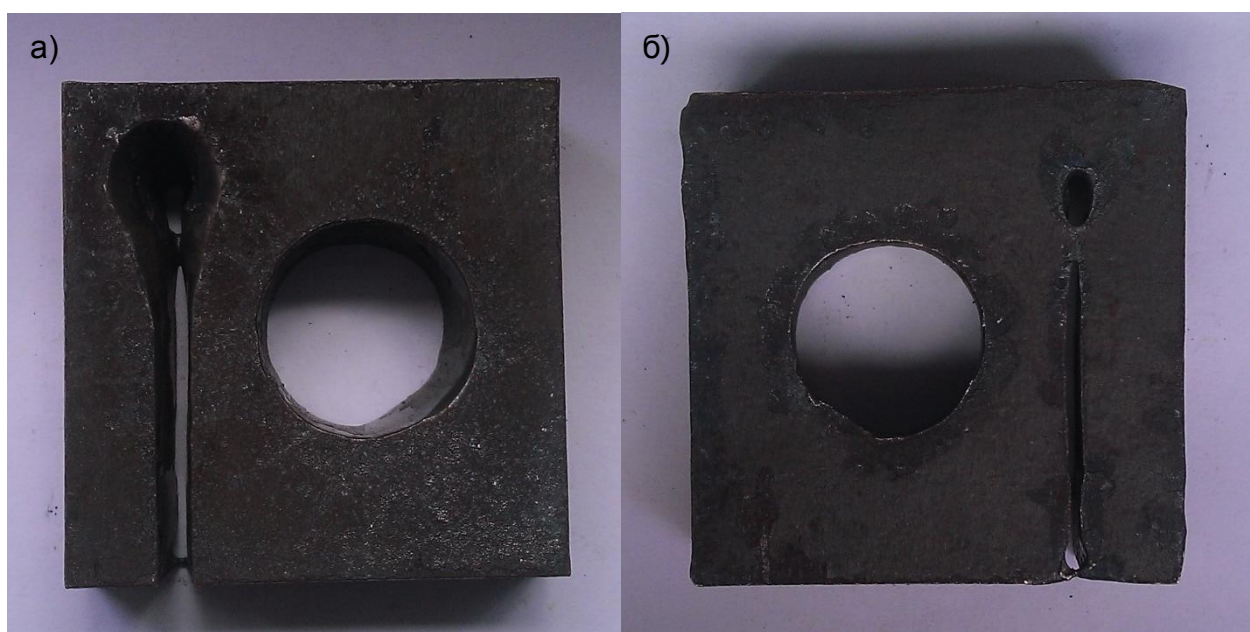


Слика 83- Дизна III нивоа похабаности

Ниво похабаности је одређиван на основу визуелне процене искуства оператера, због неимања података о броју пробијања, дужини резања или времену трајања процеса сечења. Када кажемо "дизна", под "дизном" се подразумевају уствари три потрошна дела: капа дизне, дизна, и електрода.

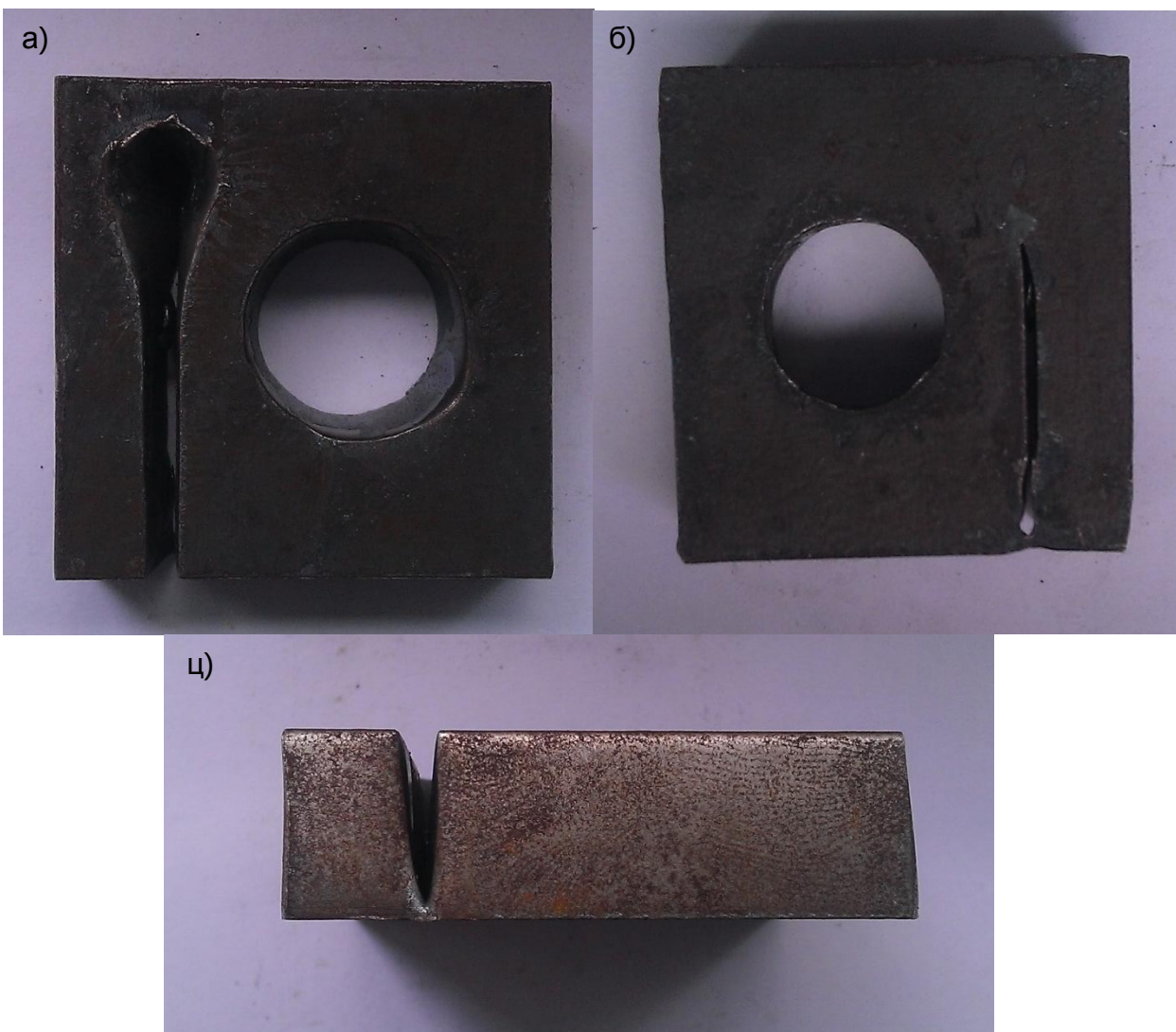


Слика 84- Узорак 12- Дизна I нивоа похабаности а) поглед одозго б) одоздо ц) с'преда





Слика 85- Узорак 13- Дизна II нивоа похабаности а) поглед одозго б) одоздо б) с'преда



Слика 86- Узорак 14- Дизна III нивоа похабаности а) поглед одозго б) одоздо б) с'преда

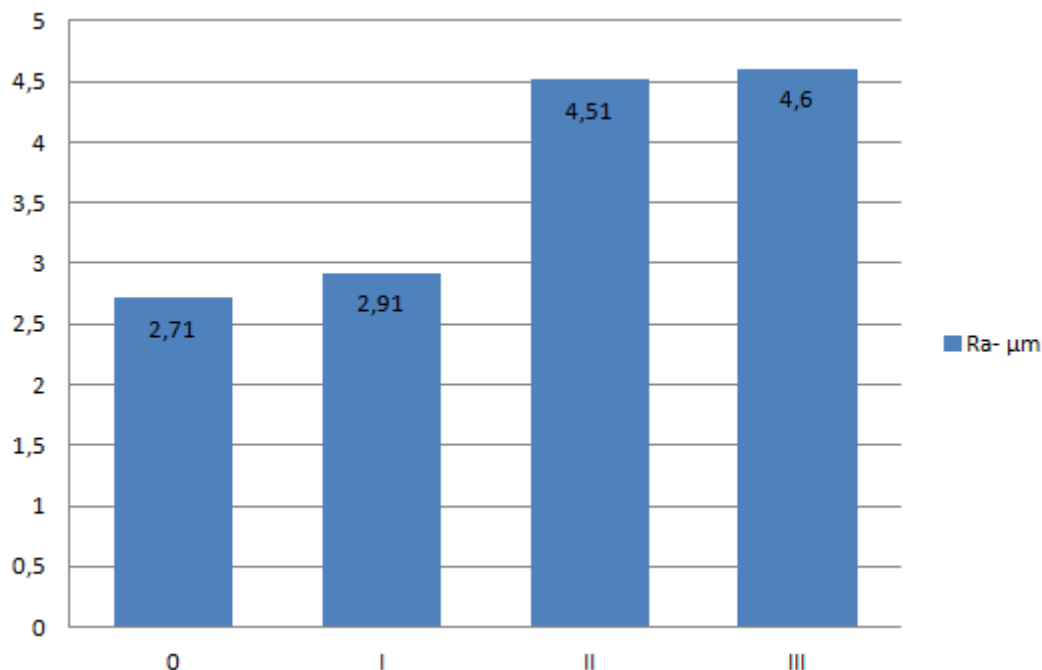
Посматрањем узорка 12, Слика 84 (а) можемо закључити да је геометрија комада прилично солидна, рез прихватљиво одступа од предвиђене геометрије, док се исто не може рећи за Сliku 84 (б). Узорак са доње стране знатно одступа од предвиђене геометрије.

Посматрањем узорка 13, Слика 85 (а), квалитет реза спољашње контуре се може окарактерисати као прилично добар, док геометрија отвора значајно одступа од предвиђене. Отвор је ексцентричан и изразито коничан. Са Сlike 85 (б) може се уочити прилично лоша геометрија спољашње контуре, као и део непробијеног материјала после места пробијања и почетка сечења усека.

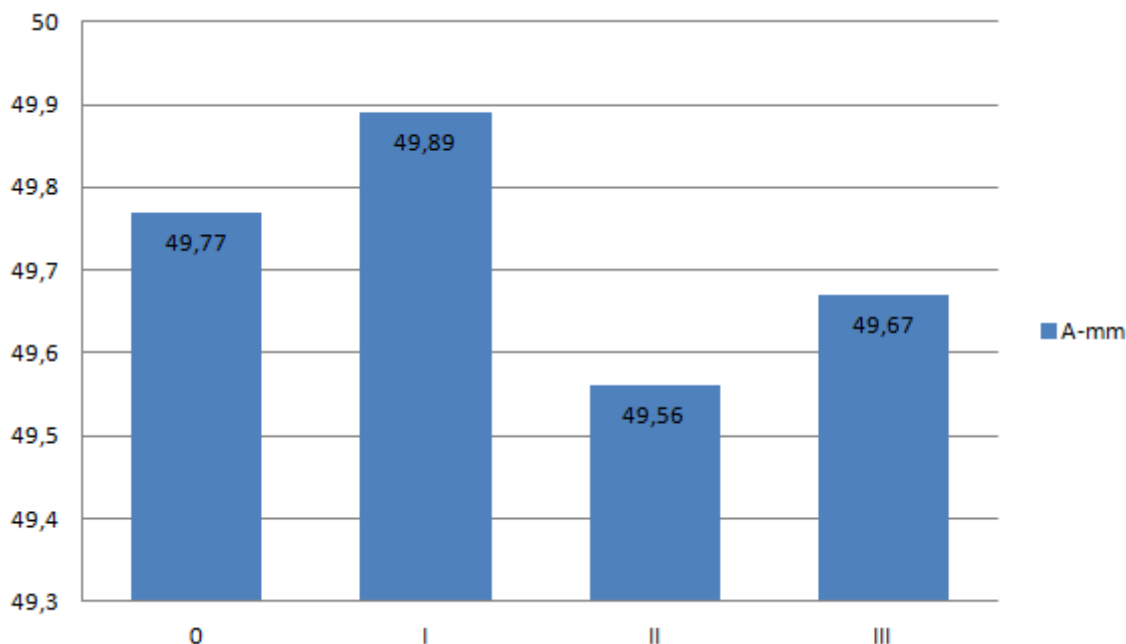
Посматрањем узорка 14, Слика 86 (а), реза спољашње контуре се може окарактерисати као прилично добар као и код узорка 13, док је геометрија отвора изузетно неправилна. На месту пробијања за почетак сечења усека, уочава се немогућност дизне да пробије материјал. Са Сlike 86 (б) уочава се неправилан правац усека као немогућност пробијања истог.

На Дијаграму 4 приказана је промена параметра храпавости "Ra" у функцији нивоа похабаности дизне. Напомена, са ознаком "0" представљен је узорак под редним борјем 2 који је сечен истим параметрима али са веома мало коришћеном дизном. Са дијаграма се може закључити да похабаност дизне негативно утиче на квалитет површине реза.

На Дијаграму 5, приказана је промена вредности димензије "A" у функцији нивоа похабаности дизне. Са дијаграма се уочава да похабаност дизне није пресудан фактор за тачност димензије "A" али и да она утиче негативно на њу.



Дијаграм 4- Промена параметра храпавости "Ra" у функцији нивоа похабаности дизне



Дијаграм 5- Промена вредности димензије "А" у функцији нивоа похабаности дизне

4.2.4. Експеримент променљивих брзина сечења, при константној јачини струје 260 А и висини сечења

У приказаном експерименту извршено је сечење плазмом различитим брзинама сечења, при константној јачини струје и висини сечења. Направљено је 4 узорка, сечена од плочастог материјала дебљине 15 mm, јачином струје од 260 А, висини сечења 4.1 mm и променљивим брзинама приказаним у Табели 5. На Сликама 87, 88, 89, 90 приказани су исечени узорци.





Слика 87- Узорак 15- 1800 mm/min а)поглед одозго б)поглед с'преда



Слика 88- Узорак 16- 2200 mm/min а)поглед одозго б)поглед с'преда



Слика 89- Узорак 17-2600 mm/min а)поглед одозго б)поглед с'преда

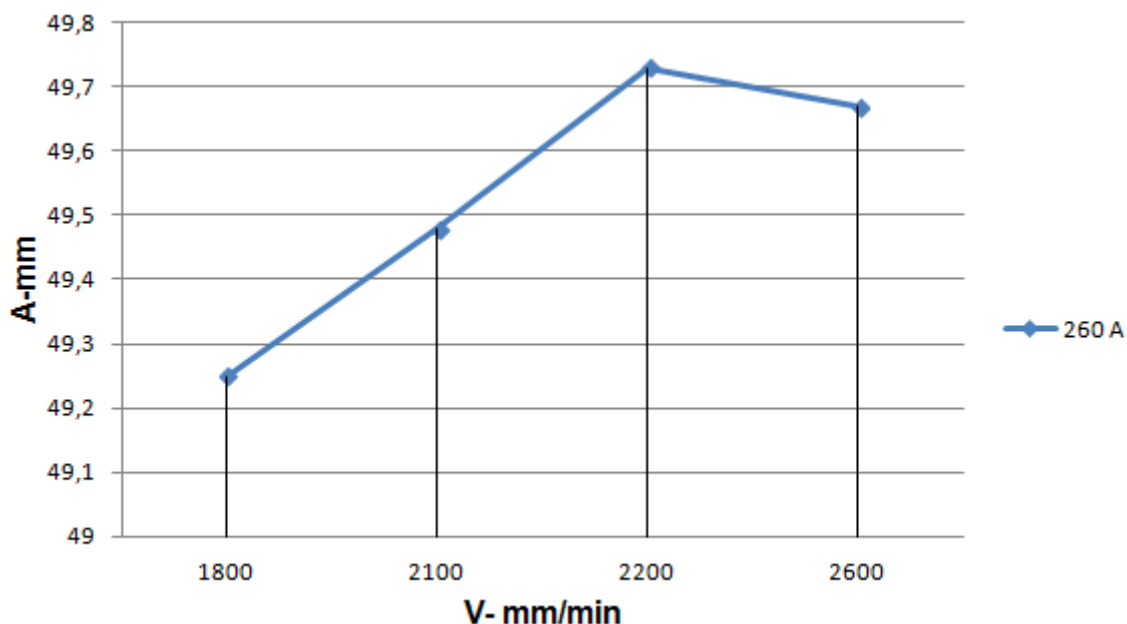




Слика 90- Узорак 18- 2100 mm/min а)поглед одозго б)поглед с'преда

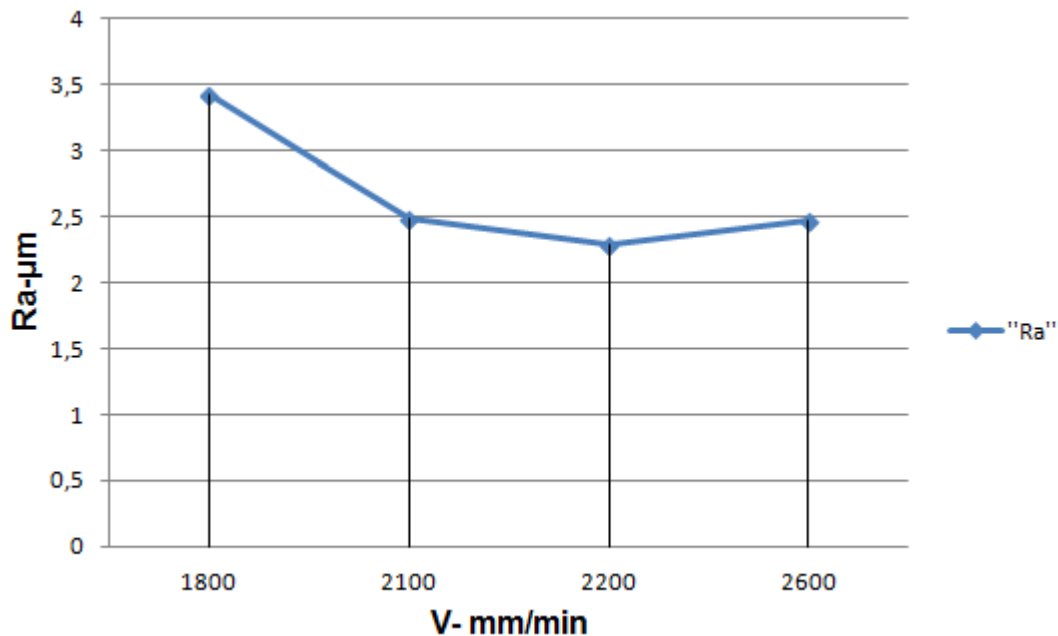
На основу вредности из Табеле 5 и међусобним поређењем истих за све испитиване узорке, може се извести закључак да Узорак 18, поседује најбољи однос вредности одступања свих параметара и вредности квалитета обрађених површина. Са друге стране димензиона тачност отвора је боља у односу на друге, а вредност димензије "А" приближно иста као код осталих. Угао α је мањи у односу на остале узорке.

На следећем Дијаграму 6 приказана је промена вредности димензије "А" у функцији промене брзине сечења за јачину струје 260 А. Са дијаграма се може уочити да је најмање одступање од мере за вредност брзине 2200 mm/min што представља 70% од табличне вредности, а највеће одступање је за вредност 1800 mm/min.

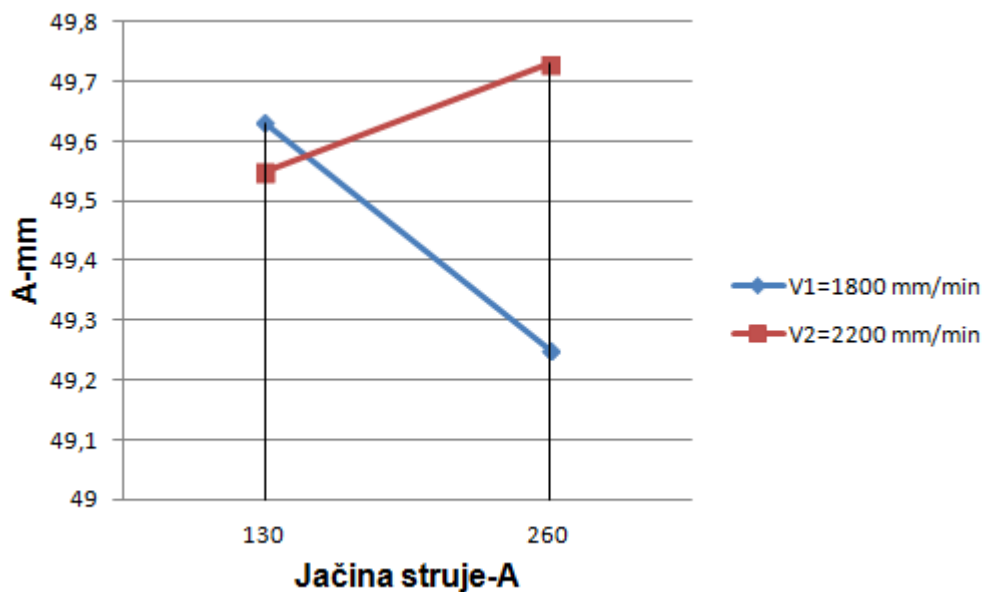


Дијаграм 6- Промена вредности димензије "А" у функцији промене брзине сечења

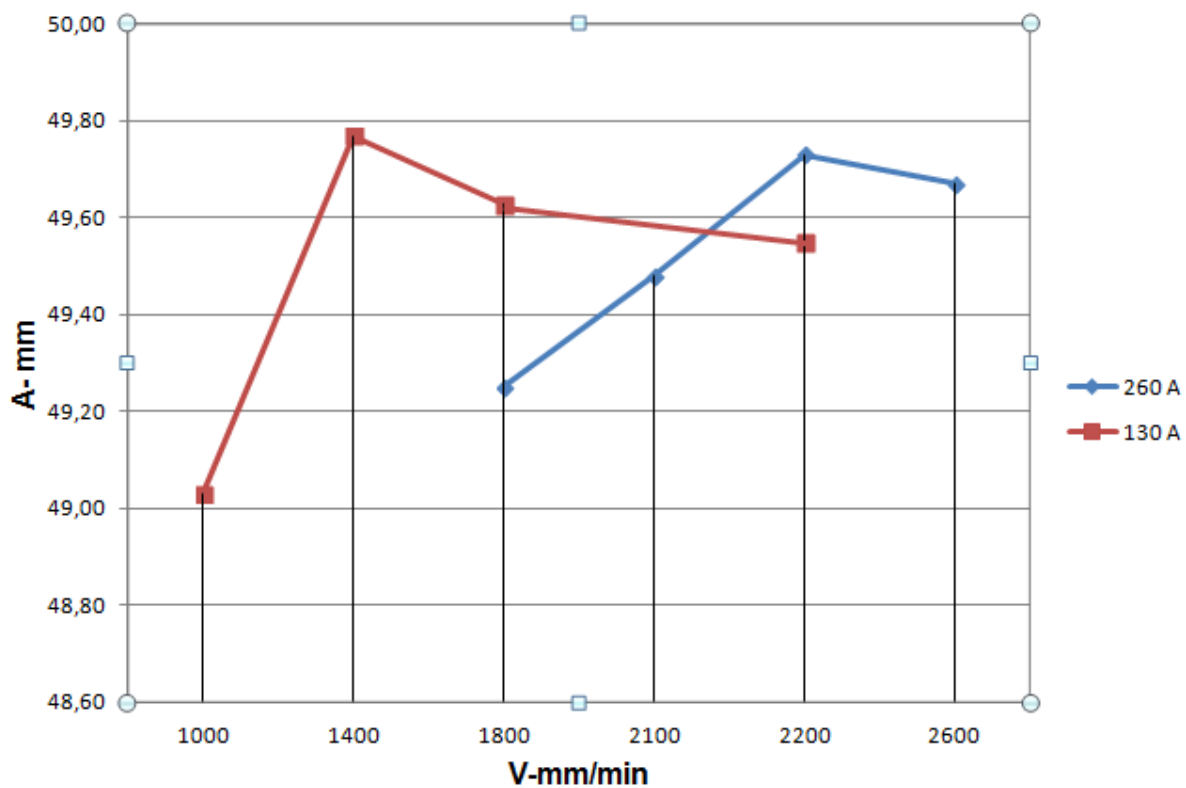
На Дијаграму 7 приказана је промена вредности параметра храпавости "Ra" у функцији промене брзине сечења за јачину струје 260 А. Са дијаграма уочавамо да је најбољи квалитет површине реза добијен за вредност брзине сечења 2200 mm/min, што представља 70% од табличне вредности брзине.



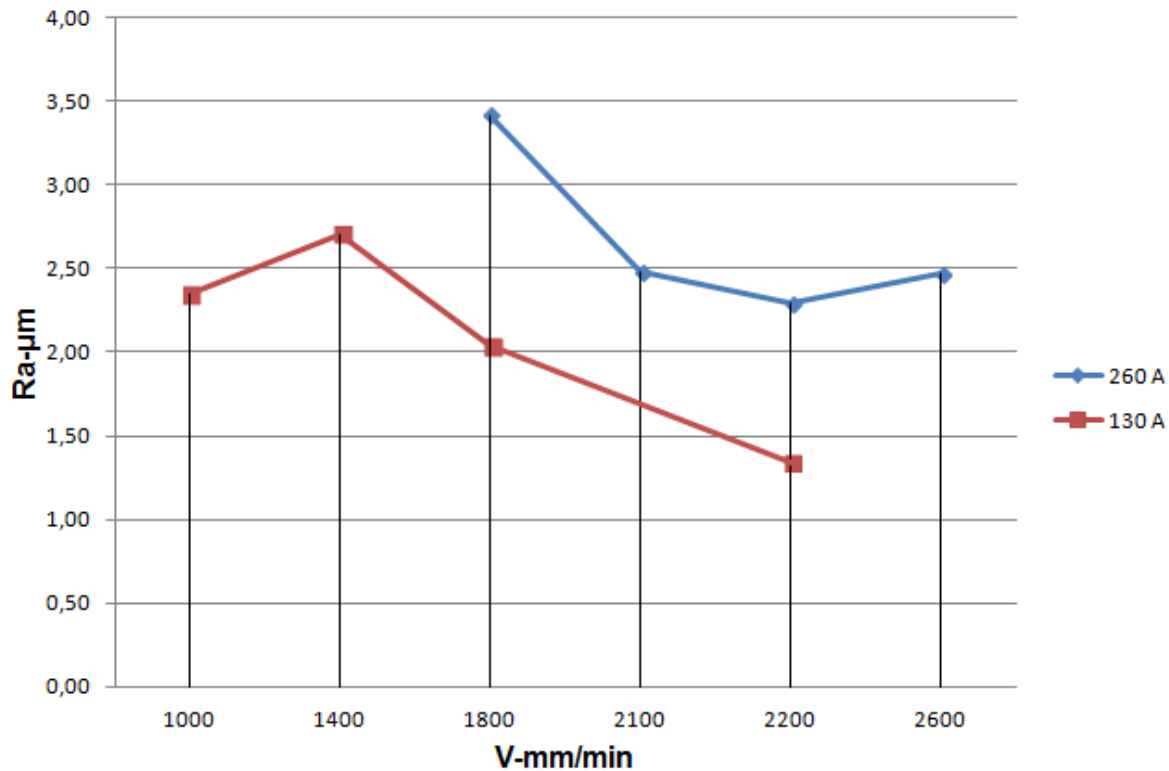
Дијаграм 7- Приказана је промена вредности параметра храпавости "Ra" у функцији промене брзине сечења, за јачину струје 260 А



Дијаграм 8- Приказана промена димензије "A" у функцији промене јачине струје, за брзине "V₁" и "V₂"



Дијаграм 9- Упоредни дијаграм одступања димензије "А" за јачину струје 130А и 260А



Дијаграм 10- Упоредни дијаграм промене параметра храпавости "Ra"

Дијаграм 8 говори да са повећњем јачине струје при истој брзини од 1800 mm/min, тачност димензије "A" опада, док у случају брзине 2200 mm/min дешава се супротно, већа је тачност димензије при повећању јачини струје на 260 A.

Са Дијаграма 9, уочавамо да нема значајније разлике у одступању димензије "A" са променом јачине струје, осим што се већа тачност постиже при мањим брзинама за јачину струје од 130 A у односу на јачину струје од 260 A, док је за јачину струје од 260 A супротно.

На Дијаграму 10, уочавамо да се бољи квалитет обраде добија приликом сечења јачином струје од 130 A.

5. ЗАКЉУЧАК

Неконвенционални поступци обраде нуде много већи спектар могућности обликовања метала, најчешће без физичког стругања материјала. Они обраду чине много бржом, једноставнијом, безбеднијом и лакшом. Једина мана неконвенционалних поступака обраде у односу на конвенционалне поступке обраде резањем, јесте далеко већа цена набавке и одржавања машина. Али и тај проблем се свакодневно све више смањује, јер су произвођачи приморани да смањују цене под притиском кинеских понуђача машина и опреме.

Интеграцијом CNC технологије и технологије сечења плазмом добијен је технички систем који представља најбољи однос цене и квалитета за већину серијских, као и малосеријских типова производње. Поред тога, брзина обраде је далеко већа од технологије обраде резањем, а квалитет реза се може поредити са технологијом ласерског сечења. Ову технологију одликују предности брзине и квалитета ласерског сечења, а приступачност цена као код обраде резањем. Дакле избегнуте су мане споре, компликоване, непрецизне обраде, као и високе цене обраде.

Систем је врло једноставан за управљање. Контролише се у потпуности преко одеђених софтвера, који су прилагођени стандардним рачунарима, CAD софтверима и лако су доступни.

Аутоматизација је, путем CNC технологија, достигла највиши могући ниво, резултат чега је минимализован утицај људског фактора и могућност грешке или шкарта у производњи.

Након програмирања, улога оператера је искључиво надзор, дакле сам поступак сечења не захтева физички напор, нити посебну обуку оператера. Обука је ипак неопходна за програмера CNC машина.

Захваљујући меморисаним програмима сечења постигнута је поновљивост идентичног комада у неограниченом броју. Овај поступак, најчешће, представља најбољи избор и за производњу појединачних комада, због брзине, једноставности и квалитета сечења.

CNC машина за сечење плазмом у најбољем односу задовољава потребе свих производних предузећа, која у својој производњи користе лимове одређених облика, не мање толеранције од $\pm 0.1\text{mm}$.

Из првог експеримента (експеримент променљивих брзина сечења при константној јачини струје 130 A), анализом узорака, може се закључити да се квалитетно сечење добија при брзини од 80% од табличне вредности, док се најбољи квалитет површине реза добија при брзини од 120% од табличне вредности.

Из експеримента променљивих висина сечења при константним осталим параметрима, анализом испитиваних узорака, долазимо до закључка да са мањом висином добија се бољи квалитет сечења. Док са повећањем исте губи се на тачности и квалитету димензија, али то иде у прилог дужем веку трајања дизне.

Експериментом променљивих нивоа похабаности дизне, долазимо до закључка да похабаност дизне у знатној мери има негативан утицај на квалитет површине реза. Док са друге стране похабаност дизне није пресудан фактор утицаја на димензиону и геометријску тачност, али свакако да има негативан утицај.

Четврти експеримент (експеримент променљивих брзина сечења при константној јачини струје 260 А), може се закључити да се брзином од 70% табличне вредности добија најбољи квалитет сечења од четири испитивана узорка.

Даљим упоређивањем првог и четвртог експеримента долази се до закључка да се боља обрада постиже јачином струје од 130 А при мањим брзинама сечења, и да се истом јачином добија бољи квалитет површине реза.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] М. Лазић, Неконвенционални поступци обраде, Научна књига, Београд, 1990.
- [2] Д. Миликић, Неконвенционални поступци обраде, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2002.
- [3] Трајковски С., Дудески Љ., Неконвенционални методи на обработка, Машински факултет, Скопје, 1999.
- [4] Славко Арсовски – „Производни системи“, Научна књига, Београд, 1984.
- [5] Славко Арсовски, Милан Перовић – „Флексибилна аутоматизација“, Машински факултет у Крагујевцу, 1994. ИСБН 86-23-4305-2
- [6] Миладин Стефановић – „ЦИМ системи“, Машински факултет у Крагујевцу, 2006. ИСБН 86-80581-96-8
- [7] Горан Девеџић – „ЦАД/ЦАМ технологије“, Машински факултет у Крагујевцу, 2009. ИСБН 978-86-86663-40-5
- [8]- Дипломски рад, Анализа поступака обраде плазмом- Веселиновић Иван 40/91-W
- [9]- http://www.boc-gas.com.au/internet.lg.lg.aus/en/images/BOC%20Facts%20about%20plasma%20technology351_68107.pdf – 04.09.2013
- [10]https://www.hypertherm.com/en/Products/Automated_cutting/Mechanized_plasma/Systems/HyPerformance_plasma/hpr260xd.jsp#tc- 10.09.2013
- [11]-Квалитет обраде код плазма сечења- IMK14-No.19-1-2_SR

ЗАХВАЛНОСТ:

- Ментору, Проф. др Богдану Недићу,
- Фирми „Atenic-commerce“ доо