

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Индустијски инжењеринг

Предмет: Неконвенционални поступци обраде

Број индекса: 311/2011

Милош З. Јовановић

Плазма поступак сечења материјала

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да размотри проблематику обраде плазмом, изврши теоријску анализу поступака обраде сечењем. Кандидат треба да опише производну опрему којом располаже предузеће „ФЕРОХАЛ“ 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

Луком плазме може се сећи било који материјал велике дебљине, уз формирање реза било које конфигурације, и уз високу производност која не зависи од механичких особина материјала. Плазма поступком могуће је сећи материјал дебљине 250÷300 mm.

Основу процеса сечења чини локално топљење метала у зони реза и уклањање растопљеног материјала струјом плазме.

Интеграцијом ЦНЦ технологије и технологије сечења плазмом добијен је софистициран технички систем, који се у потпуности контролише информационим технологијама и стандардним ЦАМ/ЦАД софтверима.

У раду је описан принцип рада сечења плазмом, поступак програмирања ЦНЦ машине за сечење плазмом и поступак сечења. Такође су извршени експерименти сечења са различитим радним параметрима.

Кључне речи: сечење плазмом, ЦНЦ технологије, рзличити радни параметри

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 characteristics 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 metrial, 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 master 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 techologies, different work parameters

САДРЖАЈ

РЕЗИМЕ	3
ABSTRACT	3
САДРЖАЈ	4
1. УВОД	5
1.1. НЕКОНВЕНЦИОНАЛНИ ПОСТУПЦИ ОБРАДЕ.....	5
1.2. ОБРАДА ПЛАЗМОМ	7
1.3. ЦНЦ МАШИНА ЗА СЕЧЕЊЕ ПЛАЗМОМ	7
1.4. ЕКСПЕРИМЕНТИ	8
2. ПЛАЗМА ПОСТУПАК ОБРАДЕ	9
2.1. ИСТОРИЈСКИ РАЗВОЈ	9
2.1.1. Конвенционално сечење плазмом.....	10
2.1.2. Сечење плазмом два гаса.....	12
2.1.3. Сечење плазмом са ваздухом.....	12
2.1.4. Сечење плазмом са воденом заштитом	13
2.1.5. Сечење плазмом са воденим млазом и подводно сечење.....	14
2.1.6. Сечење плазмом уз помоћ кисеоника.....	15
2.1.7. Сечење плазмом велике густине	16
2.2. ТЕОРИЈСКА АНАЛИЗА ПРОЦЕСА ОБРАДЕ ПЛАЗМОМ	17
2.2.1. Основе процеса	17
2.2.2. Суштина процеса добијања плазме	18
3. „СТИЛ ТЕЈЛОР“ ЦНЦ МАШИНА ЗА СЕЧЕЊЕ ПЛАЗМОМ	23
3.1. ОПИС ТЕХНИЧКОГ СИСТЕМА.....	23
3.2. ПРОГРАМИРАЊЕ ЦНЦ МАШИНЕ ЗА СЕЧЕЊЕ ПЛАЗМОМ	28
3.3. ОПЕРАЦИЈА СЕЧЕЊА	40
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА	66
4.1. СТАНДАРД ЕН ИСО 9013	66
4.2. ЕКСПЕРИМЕНТ ПРОМЕНЉИВИХ ЈАЧИНА СТРУЈЕ И БРЗИНА СЕЧЕЊА, ПРИ КОНСТАНТНИМ ОСТАЛИМ ПАРАМЕТРИМА	68
4.3. ЕКСПЕРИМЕНТ ПРОМЕНЉИВИХ ВИСИНА СЕЧЕЊА И БРЗИНА СЕЧЕЊА, ПРИ КОНСТАНТНИМ ОСТАЛИМ ПАРАМЕТРИМА.....	88
4.4. ЕКСПЕРИМЕНТ ПРОМЕНЉИВИХ НИВОА ПОХАБАНОСТИ ДИЗНЕ И БРЗИНА СЕЧЕЊА, ПРИ КОНСТАНТНИМ ОСТАЛИМ ПАРАМЕТРИМА	96
5. ЗАКЉУЧЦИ.....	11111
ЛИТЕРАТУРА	113

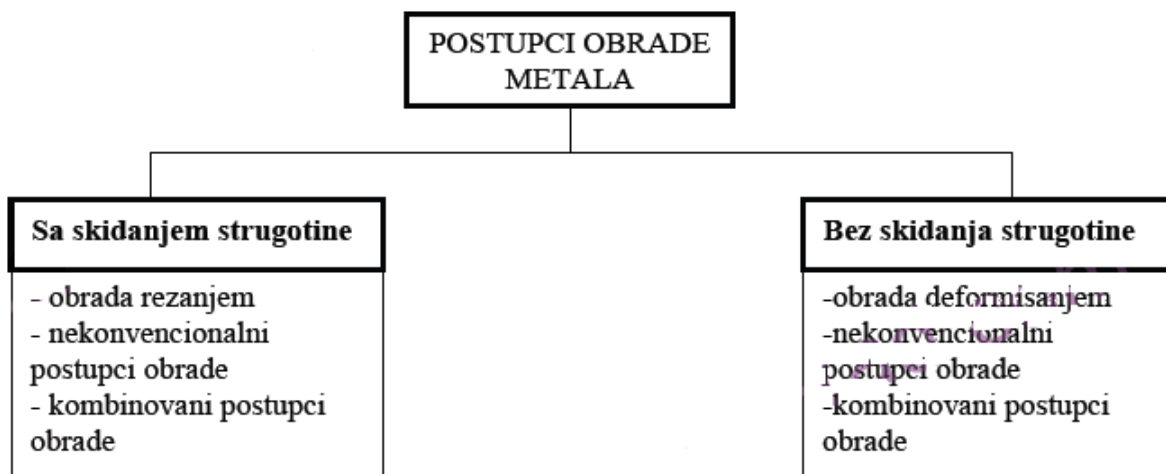
1. УВОД

1.1. Неконвенционални поступци обраде

Техничко-технолошки прогрес и стални развој низа различитих техника (авионска, нуклеарна, рачунарска и сл.) довео је до непрекидног развоја производње и примене нових материјала. То су материјали знатно бољих механичких и триболошких карактеристика, велике затезне чврстоће и тврдоће, високе отпорности на високим и ниским температурама, као и материјали знатно веће отпорности на хабање и сл.

Обрада нових материјала класичним поступцима је веома отежана, често и немогућа. Због тога се паралелно развијају, усавршавају и уводе нови прогресивни поступци обраде веће продуктивности и економичности обраде метала.

Непрекидан развој нових и усавршавање постојећих поступака обраде условио је појаву низа различитих поступака разврстаних у две основне групе: Поступци механичке обраде (обрада метала резањем и деформисањем) и неконвенционални поступци обраде (основни и комбиновани) са и без уклањања вишка материјала.



Слика 1 – Поступци обраде са и без скидања струготине

Поступци механичке обраде имају низ предности, као што су: универзалност, технолошка флексибилност, мала потрошња енергије, висока тачност обраде и квалитет обрађене површине и сл. Управо из тих разлога поступци механичке обраде метала представљају основне поступке обраде метала.

Већина неконвенционалних поступака обраде је знатно касније развијена и уведена у производну праксу у односу на конвенционалне поступке обраде резањем који имају веома дуг период развоја и примене. И поред тога, данас су многи неконвенционални поступци обраде достигли висок степен развоја, који чак ни мало не заостаје за најразвијенијим конвенционалним поступцима обраде резањем, а у неким случајевима их

и превазилазе. Због тога се слободно може рећи да неконвенционални поступци обраде у неким подручјима примене све више потискују конвенционалне поступке обраде резањем због тога што су економичнији или што дају много боље резултате саме обраде (нпр. тачност и квалитет). Овакав тренд развоја и увођења неконвенционалних поступака обраде последица је пре свега 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. материјала.
- Повећани захтеви ка сложености резних алата од брзорезног челика и тврдог матала (нпр. профилни ножеви, профилна глодала, провлакачи и др.).
- 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 НУ-управљањем и системима ЦАД/ЦАМ и ЦИМ.

Најпознатији неконвенционални поступци обраде су:

- Обрада воденим млазом
- Обрада ласером
- Обрада плазмом
- Електроерозивна обрада
- Хемијска обрада
- Обрада ултразвуком
- Обрада абразивним млазом
- Обрада електронским снопом
- Електрохемијска обрада
- Абразивна електрохемијска обрада

1.2. Обрада плазмом

Плазма технологије су технолошки поступци који се одвијају при вештачки створеним условима, који се не могу јавити спонтано на нашој планети. Оне сваким даном све више проналазе своје место у савременим производним поступцима.

Код поступака обраде плазмом термин *плазма* означава стање такозване гасне плазме, односно радну атмосферу чије енергетско стање омогућава формирање јонизованих честица у гасу 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*.

Такозвани конвенционални или класични поступци обраде материјала засновани су на коришћењу радне 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.

Поред усавршавања познатих технолошких поступака, уједно су развијени и многи поступци које је могуће реализовати једино уз присуство плазме.

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 наношења слојева плазмом честица високе температуре (плазма спреј поступак—*плазма спрејинг*) и формирање површинских слојева путем напаравања (плазма депозиција).

У другом поглављу рада описан је историјат, подврсте и теоријски принцип рада плазма технологија.

1.3. ЦНЦ машина за сечење плазмом

Због великог утицаја људског фактора у конвенционалним поступцима обраде, често долази да грешака и шкарта. Први корак у аутоматизацији и редуковању људског утицаја у производњи, представља НЦ технологија. Ове машине алатке су извршавале наредбе на основу НЦ кода. Код је дефинисан у облику бушене траке.

Следећи ниво аутоматизације заузима ЦНЦ технологија. У овој технологији се први пут уводе информационе технологије и примена рачунара у производњи. Уз помоћ одговарајућег софтвера, дефинише се ЦНЦ код, који рачунар машине алатке препознаје и извршава наредбе на основу кода. Ова технологија обезбеђује минималан утицај људског фактора, а аутоматизацију доводи на највиши могући ниво.

Интеграцијом ЦНЦ технологије и технологије сечења плазмом, остварен је технички систем: ЦНЦ машина за сечење плазмом.

ЦНЦ машина за сечење плазмом је машина која ради у 2Д координатном систему. Овом машином се могу сећи како обојени метали тако и разне врсте челика, прохромских лимова са великом прецизношћу, брзином и са минималном количином отпада (шљаке). Сечење плазмом је веома заступљен поступак обраде у скоро сваком процесу производње где је потребно исећи материјал прецизно.

Машина за сечење плазма поступком одликује се великом прецизношћу 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.

ЦНЦ машина за сечење плазмом је у потпуности вођена компјутером тако да је утицај људске грешке код сечења далеко мањи а самим тим и шкарта у процесу производње.

Употребом ЦНЦ машине за сечење плазмом остварује се технолошки најекономичнији процес сечења метала у погледу брзине, прецизности и цене реза. Захваљујући софистицираном софтверу и управљачкој јединици, руковање је веома једноставно, а кројне листе се могу увозити из свих стандардних ЦАД програма. Нови модели ових машина, опремљени су и ТХЦ уређајем који омогућава покретност и по Z оси, односно обезбеђује аутоматску калибрацију висине бренера приликом сечења плазмом, чиме се елиминише проблем неравних табли.

У трећем поглављу описан је процес програмирања и сечења ЦНЦ – плазма системом.

1.4. Експерименти

Четврто поглавље рада обухвата експериментална испитивања квалитета реза сеченог плазмом. У првом експерименту обрађени су узорци сечења различитим јачинама струје и различитим брзинама, при константним осталим параметрима и факторима сечења. У другом тесту су анализирани квалитети резова при променљивим висинама пробијања и брзинама сечења. А у трећем експерименту су приказани резултати теста сечења дизнама различитог нивоа похабаности у комбинацији са променљивим брзинама. Остали параметри и фактори утицаја су константни.

У петом поглављу су приказани закључци и резултати експерименталних истраживања.

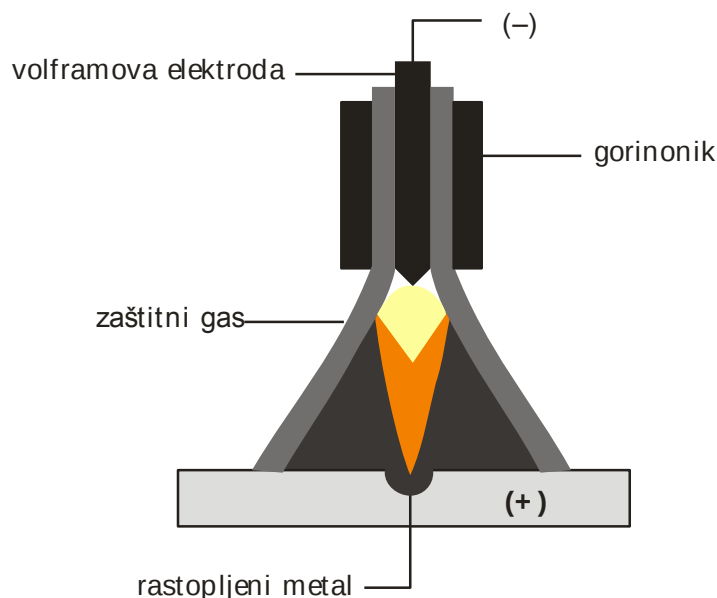
2. ПЛАЗМА ПОСТУПАК ОБРАДЕ



Слика 2 - Неконвенционални поступак обраде – сечење плазмом

2.1. Историјски развој

У Сједињеним Америчким Државама је 1941. настао нови поступак спајања лаких метала. Поступак је коришћен први пут у производњи авиона. Електрични лук обезбеђује топлеење метала, а инертни гас заштиту лука. Резервоар растопљеног метала спречава оксидацију растопљеног метала. Нови поступак је назван ТИГ (Тунгстен Инерт Гас/Тунгстен-волфрам) поступак.



Слика 3 - Лук код ТИГ заваривања

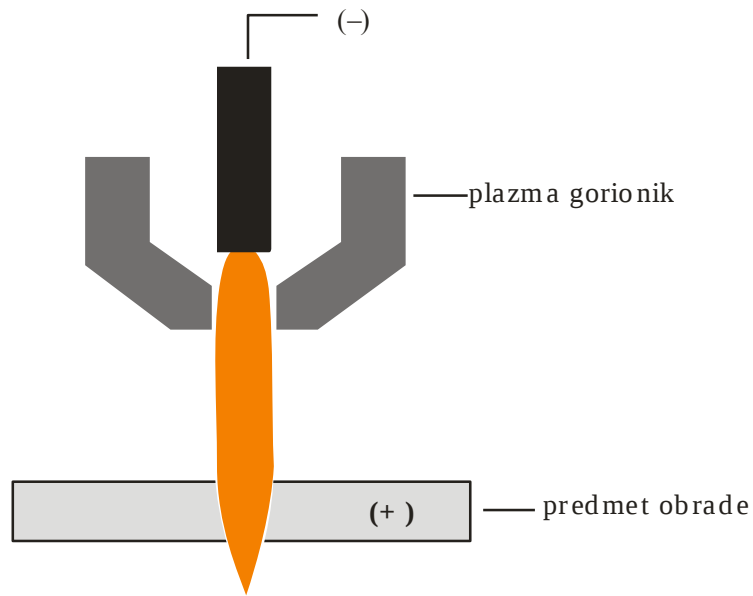
Педесетих година ТИГ поступак (слика 3) се усталио као нови високо квалитетни метод заваривања. Радећи на развоју ТИГ поступка у лабораторијама америчке компаније "Union Carbide's Linde Division" научници су приметили да се редуковањем млазнице, уз излагање предмета обраде (анодe) директном дејству инертног 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

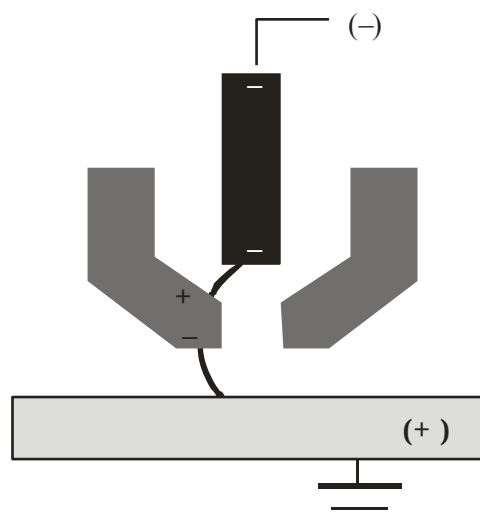
Техника којом се лук плазме генерише помоћу конвенционалног "сувог" сужавања лука представљена је 1957. Техником се може сећи било који метал, при релативно великим брзинама сечења, како танке металне плоче, тако и плоче дебљине до 250 мм од челика и алуминијума (слика 4). У опсегу дебљине 50÷250 мм 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. Овај феномен је познат као "дупли лук"

(слика 5) и исти доводи до оштећења и електроде и млазнице. Зато су педесетих година чињени напори да се овај ефекат елиминише.

Конвенционално сечење плазмом је преовладавало од 1957. до 1970. Међутим, поступак захтева веома скупе мешавине аргона и водоника.



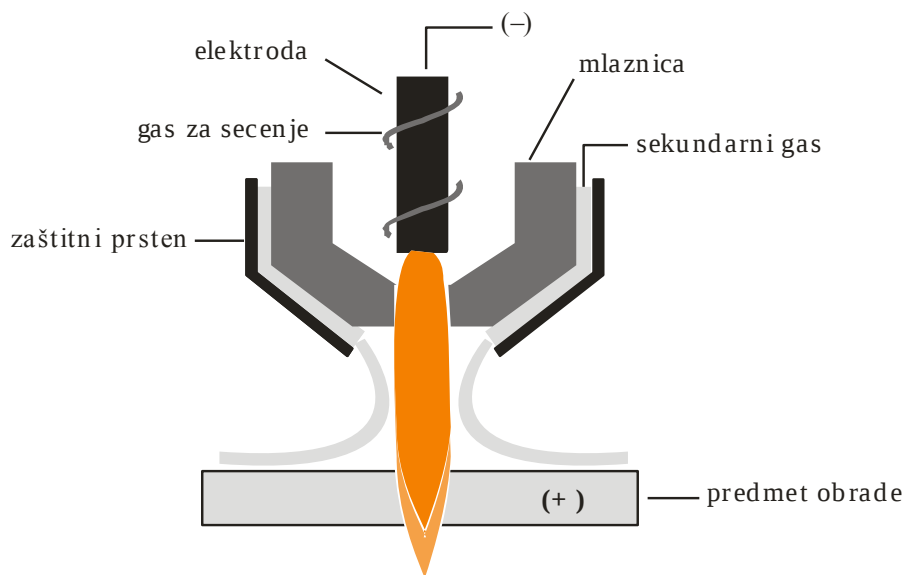
Слика 4 - Конвенционално сечење плазмом



Слика 5 - Дупли лук

2.1.2. Сечење плазмом два гаса

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



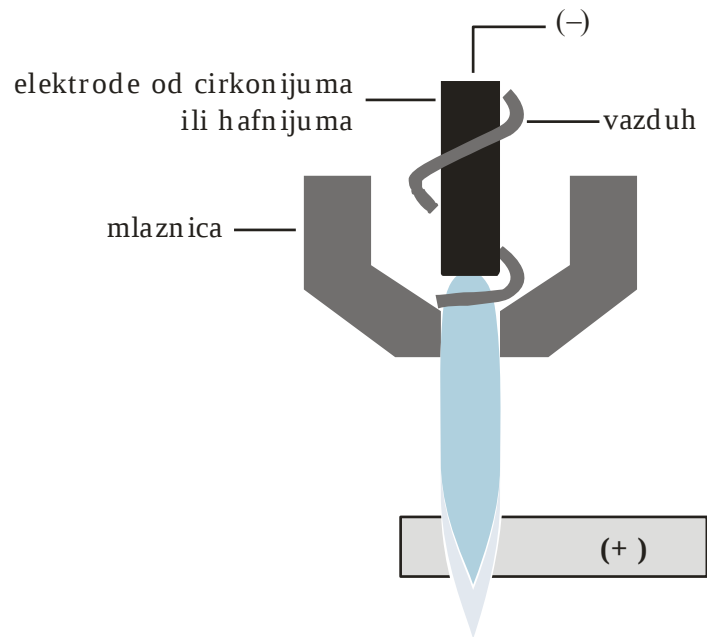
Слика 6 - Сечење плазмом два гаса

2.1.3. Сечење плазмом са ваздухом

Ова врста обраде (слика 7) 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 резане ивице доста оксидира, што је неприхватљиво за даљу примену.

Највећи проблем 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

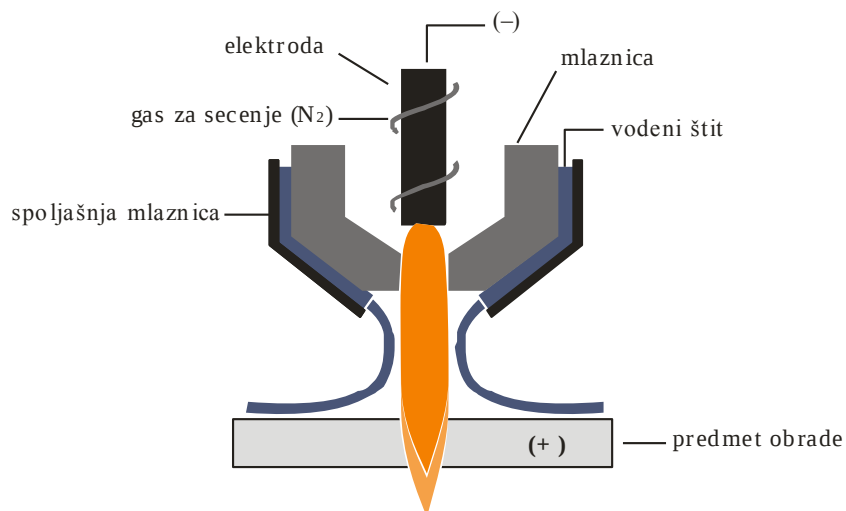
кисеоник. Чак и са специјалним материјалима животи век електроде при ваздушном сечењу је доста мањи од века електроде код конвенционалног сечења плазмом.



Слика 7 - Плазма сечење са ваздухом

2.1.4. Сечење плазмом са воденом заштитом

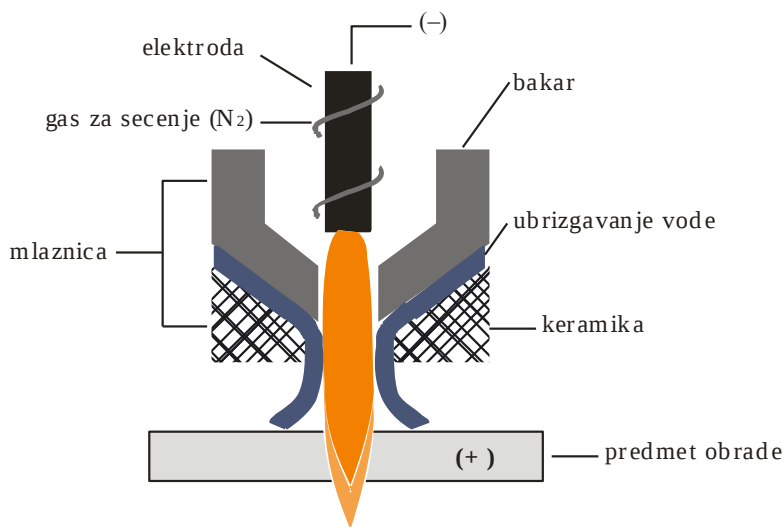
Процес је настао 1965. и представља варијанту процеса са два гаса, где вода замењује заштитни гас (слика 8). На овај начин је добијена боља млазница и побољшано хлађење предмета обраде. Пошто вода не обезбеђује додатно сужавање лука, брзина резања није повећана у односу на сечење плазмом са два гаса.



Слика 8 - Сечење плазмом са воденом заштитом

2.1.5. Сечење плазмом са воденим млазом и подводно сечење

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 50000 K, 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 - Сечење плазмом са воденим млазом

Даљи покушаји у Европи да се што је могуће више смањи ниво буке лука плазме и елиминише дим при раду довели су до подводног сечења. Метод је развијен 1972. и постао је веома популаран. За подводно сечење плазмом предмет обраде је уроњен $50 \div 75$ мм у воду. Обрада на овај начин лишена је у великој мери буке и дима.

Један од негативних ефеката овакве обраде је немогућност надгледања процеса (предмет обраде се не види) и редукована брзина сечења за $10 \div 20$ %. 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.

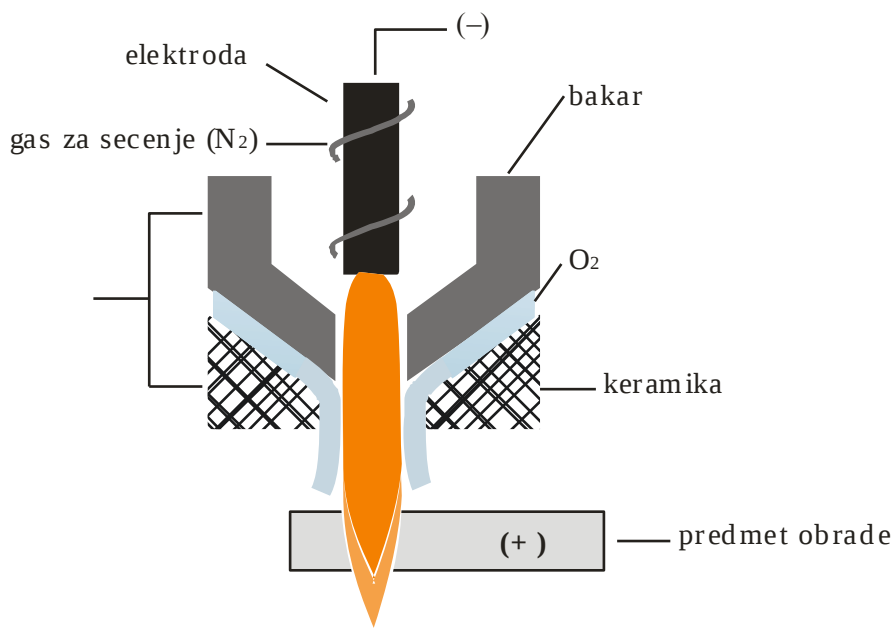
Коначно, при овој обради може доћи до ослобађања кисеоника који са истопљеним металом ствара метални оксид у току обраде и оставља слободни водоник у води. Када се водоник накупи, у џеповима испод предмета обраде, долази до малих експлозија које иритирају лук плазме.

2.1.6. Сечење плазмом уз помоћ кисеоника

Процес је развијен 1983. Први пут се као плазма гас користи кисеник. 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.

Недостатак ове 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 веку трајања електроде, прихватљиви.

Поступак сечења плазмом са ињектованим кисеоником је установљен 1985. Решен је проблем века трајања електроде на тај начин што се као плазма гас користи азот. Кисеоник се убацује низ струју на излазу из млазнице (слика 10).



Слика 10. Сечење плазмом са ињектованим кисеоником

Поступак се искључиво користи за обраду меких челика. Као и други поступци поред предности има и недостатке (кратак век трајања млазнице, неуниверзалност процеса и др.)

Године 1990. развијен је, за потребе нуклеарне индустрије, *поступак подводног сечења на већим дубинама*. Компанија "Хупертхерм" је развила систем ПАЦ 500 за сечење челика дебљине 114 мм на дубини 4.56 м. Такође су, исте године коршћени системи МАХ 100 и МАХ 200 истог произвођача, на дубинама до 7,62 м.

2.1.7. 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 $40 \div 90$ 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 такмац сечењу ласером.

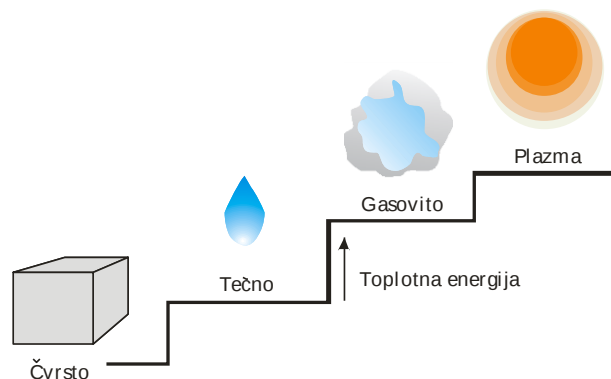
Како је сечење плазмом уз помоћ ваздуха и кисеоника постало веома популарно, главни проблем је кратак век трајања делова инсталација. Произвођачи раде на овом проблему и очекује се да ће у скорој будућности радни век електрода бити значајно повећан, да ће се смањити цена апаратуре за сечење плазмом и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

2.2. Теоријска анализа процеса обраде плазмом

2.2.1. Основе процеса

Обрада плазмом носи скраћени назив ПЈМ (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 гасно) 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 11).



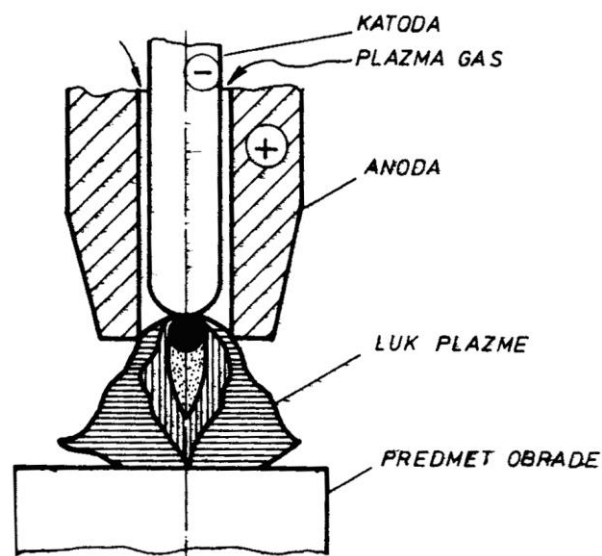
Слика 11 - Плазма - четврто агрегатно стање

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 $1000 \div 100000$ К (слика 12). То су плазме које представљају делимично јонизовани гас.

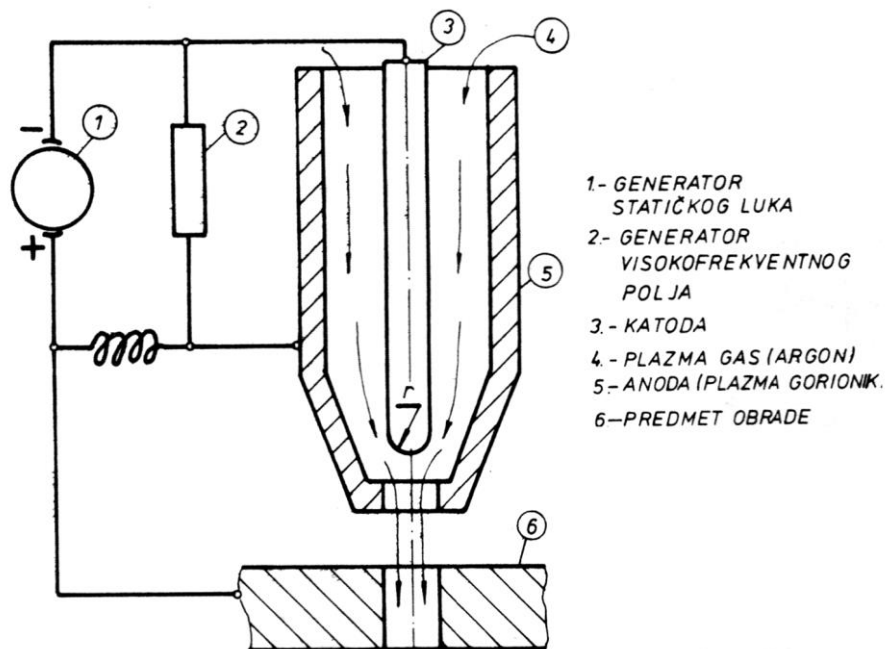


Слика 12 - Шематски приказ лука плазме

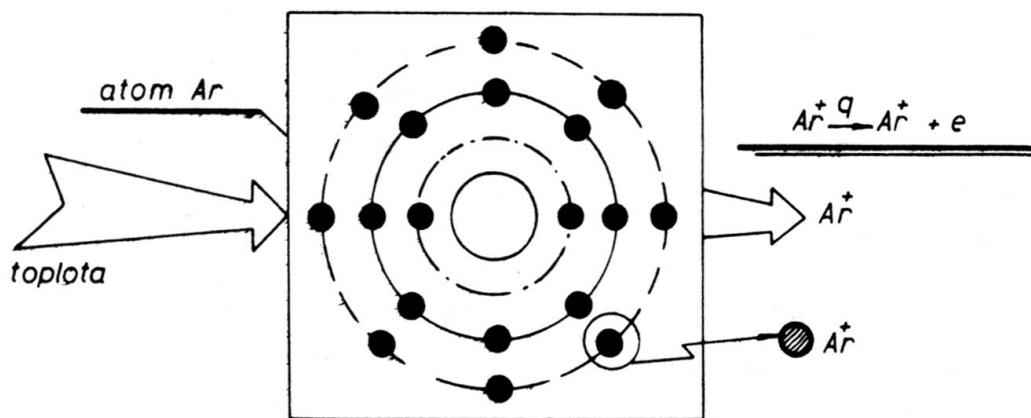
2.2.2. Суштина процеса добијања плазме

Плазма се састоји од позитивно и негативно наелектрисаних честица, јона и анјона. Пропуштањем плазма гасова преко електричног лука (слика 13), који је формиран између катодe и аноде, формира се пламен. Радни гасови плазме су најчешће водоник, кисеоник, аргон. Овако формирана материја садржи молекуле, атоме, јоне, електроне и кванте светлости.

Кубни центиметар плазме садржи $10^9 \div 10^{10}$ наелектрисаних честица. Јонизација настаје губитком једног или више електрона из спољашње љуске плазма гасова (слика 14). 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 13 - Шематски приказ процеса формирања плазме



Слика 14 - Процес јонизације аргона као плазма гаса

Приликом 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.

Брзину кретања јонизованих честица у струји плазме можемо израчунати по обрасцу:

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

где је:

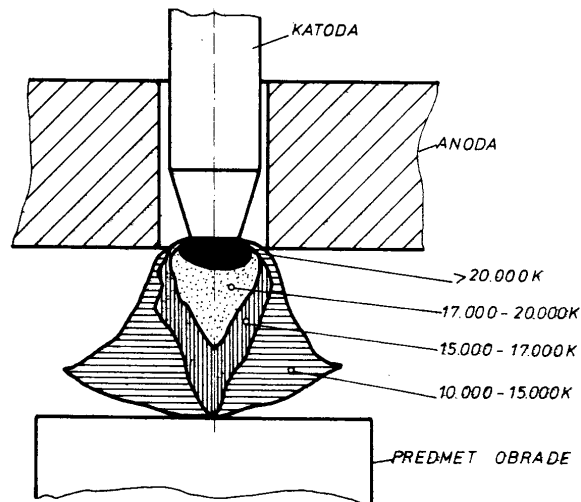
I , А – јачина електричне струје,

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

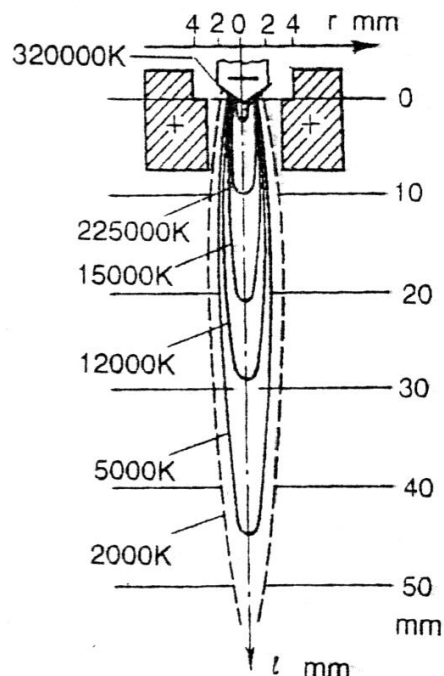
r , см – полупречник активне површине катодe.

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.

Све досад наведено доводи до стварања нове материје, коју карактерише постојање високих температура појединих зона (слика 15), нови састав и особине, које подсећају на особине гасова и течности.

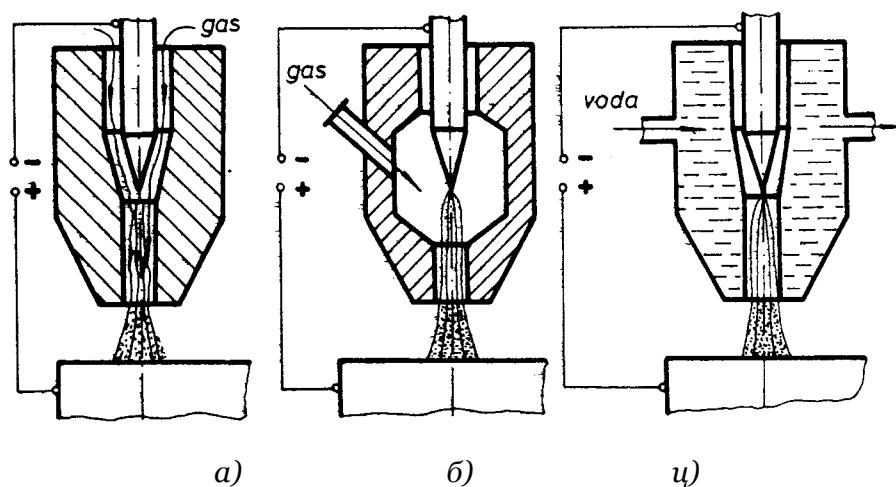


Слика 15 - Температурно поље лука плазме



Слика 16 - Расподела температуре у струји плазме (r -радијус, l -дужина)

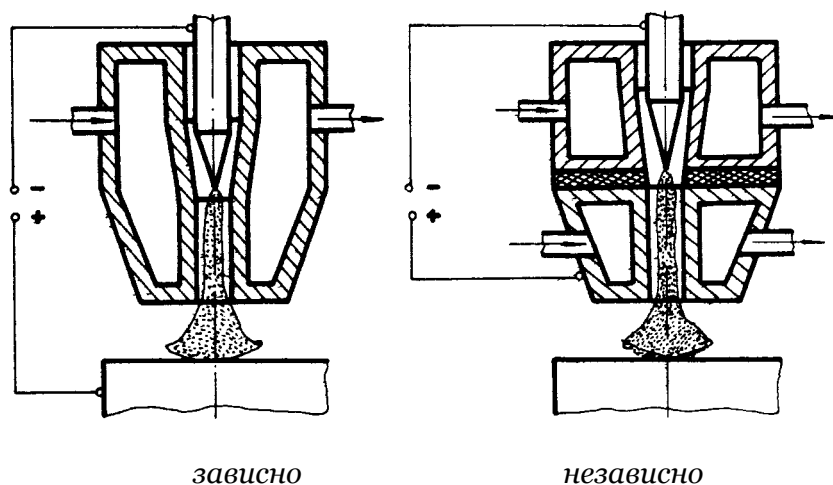
Сноп лука плазме у млазници се смањује услед топлотног ефекта (тзв. "pinch" ефекат). Сабијањем плазма гаса у млазници сноп плазме се одваја од зидова, чиме се смањују топлотни губици и постиже гасна стабилизација плазме (слика 17). Самим тим се и сам процес обраде плазмом стабилизује.



Слика 17 - Стабилизација лука плазме

(а-аксијални ток плазма гаса, б-тангенцијални ток, ц- хлађење зидова горионика)

Лучно пражњење може бити зависно и независно (слика 18). Код зависног пражњења електрични лук настаје између електроде и предмета обраде, а код независног унутар горионика између аноде и катоде. 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 интензитет топлотног флукса нижи и до 70 %.



Слика 18 - Врсте лучног – термичког пражњења

3. „СТИЛ ТЕЈЛОР“ ЦНЦ МАШИНА ЗА СЕЧЕЊЕ ПЛАЗМОМ

Технички систем, „Стил Тејлор“ ЦНЦ машина за сечење плазмом, приказан је на слици 19.



Слика 19 – „Стил Тејлор“ ЦНЦ машина за сечење плазмом

Осим приказаног, најпознатији произвођачи оваквих система су: Сименс, Варстрој, Раптор, Хеиз, Шопер Павер, Контакт, Вендо, идр. Сви ови системи задовољавају толеранцију до ± 1 mm, али по прецизности, брзини и квалитету, издвајају се Сименс и Варстрој као водећи.

3.1. ОПИС ТЕХНИЧКОГ СИСТЕМА

Основни подсклопови приказане машине алатке:

- постоље припремка (лим 1,5m x 3m) – слика 20
- шине X осе са постољем – слика 21
- покретна управљачка јединица и носач штапа Y осе – слика 22
- командна табла – слика 23
- штап Y осе – слика 22

- ТХЦ са вођицама за Z осу и бренер – слика 24



Слика 20 – Постоље припремка (лим 1,5m x 3m)

Постоље припремка (лим 1,5m x 3m) је челични суд који се пуни водом. Вода у суду има функцију да прикупи и охлади отпадне честице челика, које настају услед сечења, у облику троске, као и у облику прашине и дима. Друга њена функција је да охлади исечени комад. На постоље се монтирају назубљене лајсне, чији врхови служе као тачке ослонаца за припремак.

Алуминијумске шине се монтирају на постоље. На једној од њих налази се зупчаста летва. По шинама се креће покретна управљачка јединица и то представља кретање по X оси. У склопу јединице налази се зупчаник који је узупчен са зупчастом летвом и погони целу управљачку јединицу. Она садржи и командну таблу и штап Y осе.

Командна табла садржи сигурносни прекидач, дисплеј, тастатуру, као и УСБ порт и прикључке каблова. Тастатура се састоји од сектора за команде дисплеја, нумеричке тастатуре, тастатуре за позиционирање и СТАРТ-СТОП сектора. Помоћу командне табле може се извршити учитавање, верификација, визуелни приказ програма, подешавање параметара, контрола програма, као и само програмирање једноставнијих облика за сечење.

Кроз „тунел“ на управљачкој јединици, креће се штап Y осе. Штап носи црево за плазму као и каблове за напајање ТХЦ уређаја. На штап је причвршћена зупчаста летва, коју погони зупчаник задужен за кретање по Y осе. На предњем крају штапа налази се ТХЦ уређај и брелер за сечење.



Слика 21 – Шине X осе са постољем



Слика 22 – Покретна управљачка јединица и штап Y осе



Слика 23 – Командна табла



Слика 24 – ТХЦ и бренер за сечење

ТХЦ је уређај који служи за контролу Z осе и свих параметара који зависе од ње. У многим литературама ова машина се дефинише као 2,5Д машина. Међутим, њен ефективан рад се одиграва само у XY равни. Машина је покретна и по Z осе, али то је само помоћно кретање, које служи за подизање бренера до сигурносне равни пре ступања у празан ход. ТХЦ садржи вођице и механизам за подизање и спуштање бренера и има ход од око 300mm. Уређај садржи и дисплеј и тастатуру за подешавање параметара који зависе од Z осе, као на пример висина бренера у току пробијања, висина бренера у току сечења и др.



Слика 25 - „Стил Тејлор“ ЦНЦ машина за сечење плазмом

Бренер за сечење, причвршћен је за крај вођица Z осе. На горњем крају је прикључено цево за плазму, а на доњем се налазе електрода, пластична заштитна капа електроде, дизна и керамичка заштитна капа дизне.

Сви ови подсклопови и њихове међусобне зависности чине ЦНЦ машину за сечење плазмом (слика 25).

ЦНЦ 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. Неки од њих су челик, инокс, месинг, алуминијум, ватроотпорни челик. Зависно од материјала и јачине плазме могуће је сећи материјале дебљине од 0,8mm до 30mm. Уз рачунарску контролу, ЦНЦ плазма пружа велику тачност при сечењу уз минималну количину отпадног материјала. Припрема материјала може се извршити у АутоЦАД или Корелдров програму, 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 (обични компресовани ваздух) се издувава кроз мали отвор, а у исто време електрична варница се пошаље кроз гас према површини која се сече, и тај ваздух прелази из гасног у плазмено стање. Тако постаје довољно угрејан да топи материјал који се сече, а истовремено се креће великом брзином па може да одува истопљени део.

Плазма варнице су екстремно вруће и температура прелази 15.000 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 ЦНЦ 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.

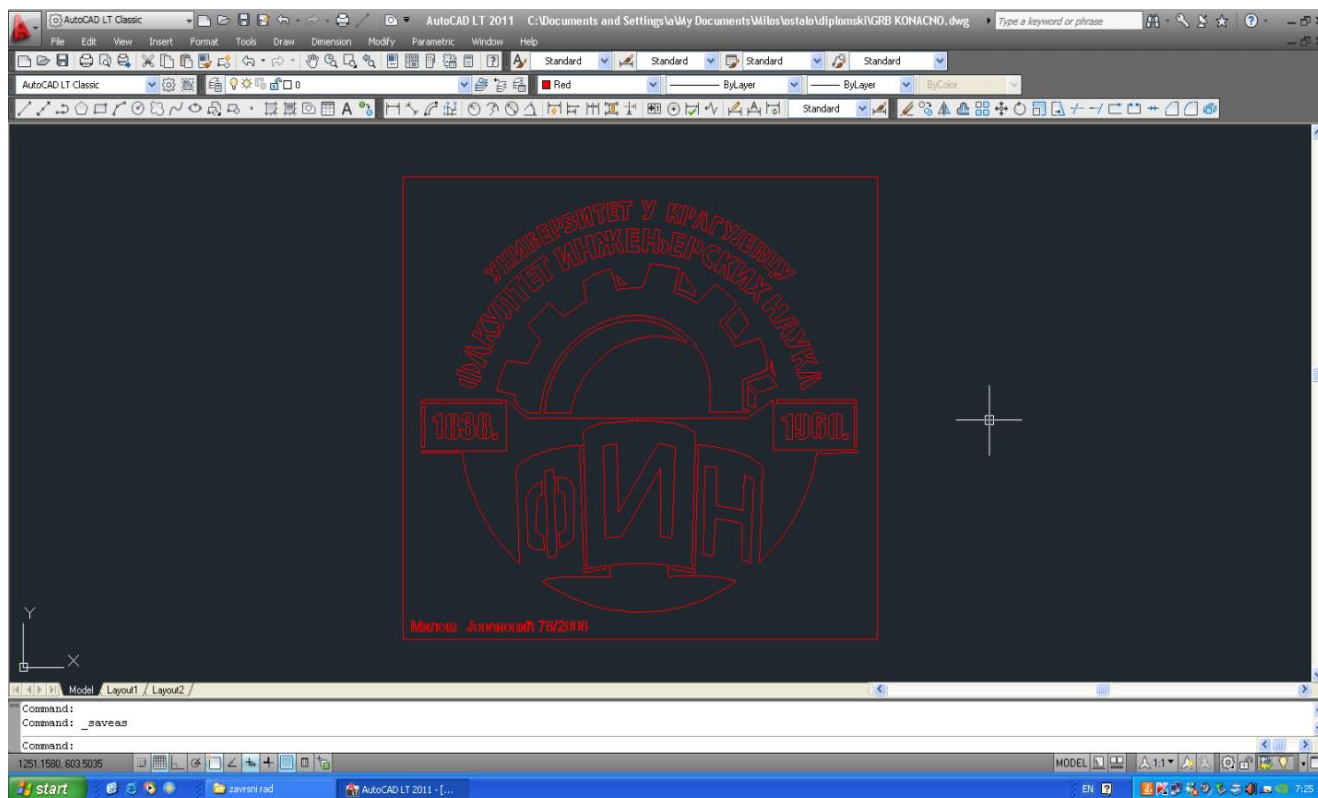
Операција сечења обрадка је далеко бржа и прецизнија него код других врста сечења.

Овом машином је могуће поред сечења радити и разне врсте бушења материјала. Како је сам процес сечења аутоматизован постиже се већа продуктивност а самим тим и појефтиније се производња због смањења људске радне снаге и шкарта у процесу производње.

3.2. Програмирање ЦНЦ машине за сечење плазмом

Први корак програмирања је исцртавање жељеног комада у „Ауто-ЦАД“ програму (слика 26). При формирању изгледа комада који треба да се исече, посебно је важно обратити

пажњу на најмање дозвољено растојање између два суседна реза. У табели 1, дате су вредности најмањег дозвољеног растојања, за неке типичне дебљине лимова.



Слика 26 – Изглед комада за сечење у „Ауто-ЦАД“ програму

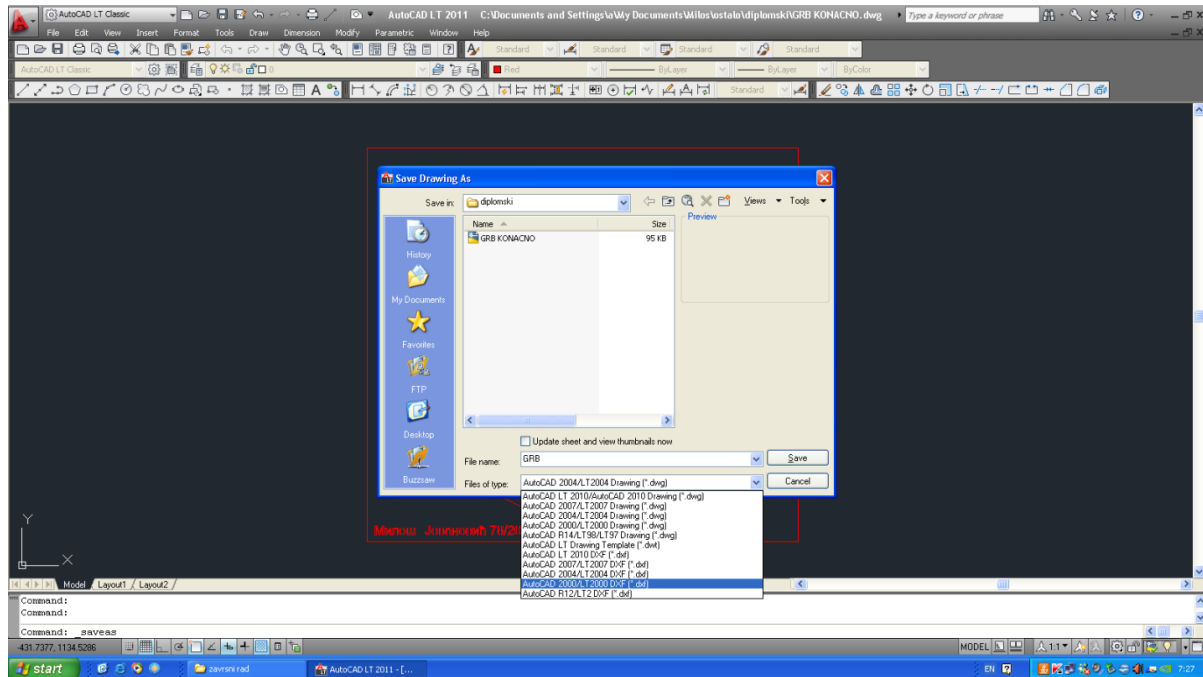
Дебљина лима (mm)	Најмање дозвољено растојање(mm)
3	6
5	10
8	10
10	12
12	13
15	15

Табела 1 – Најмања дозвољена растојања између два суседна реза, за неке типичне дебљине лимова

Након дефинисања изгледа комада, у размери 1:1, цртеж се снима као ДХФ формат (слика 27).

Након тога се стартује „Шит-ЦАМ“ програм (слика 28 и 29), који има улогу да одреди путању бренера, као и следеће параметре:

- ширина плазменог лука, тзв. „керф“ (mm),



Слика 27– Поступак конвертовања формата

- брзина сечења (mm/min)
- време задржавања бренера у току пробијања (sec),
- висина бренера у току пробијања (mm),
- висина бренера у току сечења (mm),
- лејер цртежа,
- дефинисање комада и отпада,
- дужина улаза (mm),
- дужина излаза (mm),
- редослед сечења,
- смер сечења

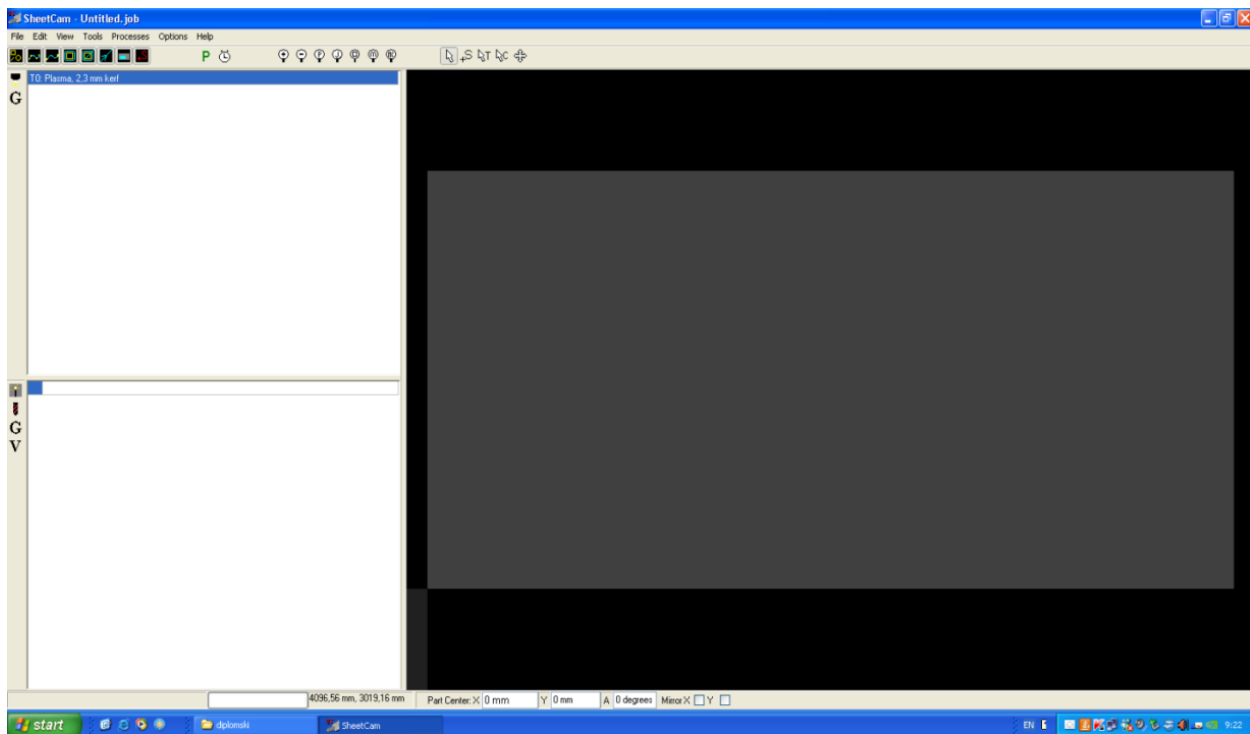


Слика 28 – Иконица „Шит-ЦАМ“ програма

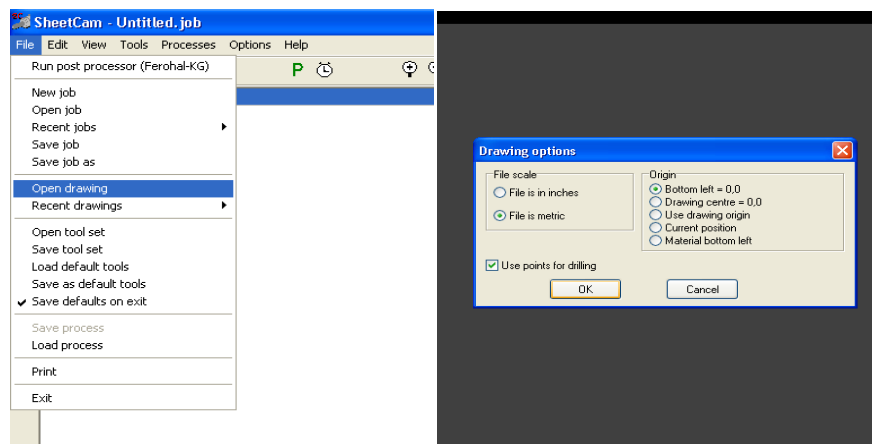
По стартовању „Шит-ЦАМ“ програма, први корак је увоз цртежа комада за сечење (слика 30). Након тога се врши избор мерних јединица. Може се изабрати метар или инч као главна мерна јединица (слика 31). Након тога програм препознаје контуре цртежа (слика 32). Спољашње контуре приказане су црвеном бојом, а унутрашње жутом. Линије које програм не може да дефинише приказане су белом бојом (слика 33). Када се појаве такве линије, треба се вратити у Ауто-ЦАД цртеж и открити узрок тога. Најчешће су у питању незатворене контуре или дупле линије. Машина ће их свакако исећи, иако се овакве грешке не исправе, али се у том случају губи на квалитету.

Када су све контуре препознате од стране програма, прелази се на подешавање параметара. Прва фаза подешавања, започиње се двокликом на назив алата (слика 34), са листе алата (најчешће је само један алат у оптицају). На дијалог прозору, који се том приликом отвара (слика 35), дефинишу се параметри:

- ширина плазменог лука, тзв. „керф“ (mm),
- брзина сечења (mm/min)
- време задржавања бренера у току пробијања (сес),
- висина бренера у току пробијања (mm),
- висина бренера у току сечења (mm),

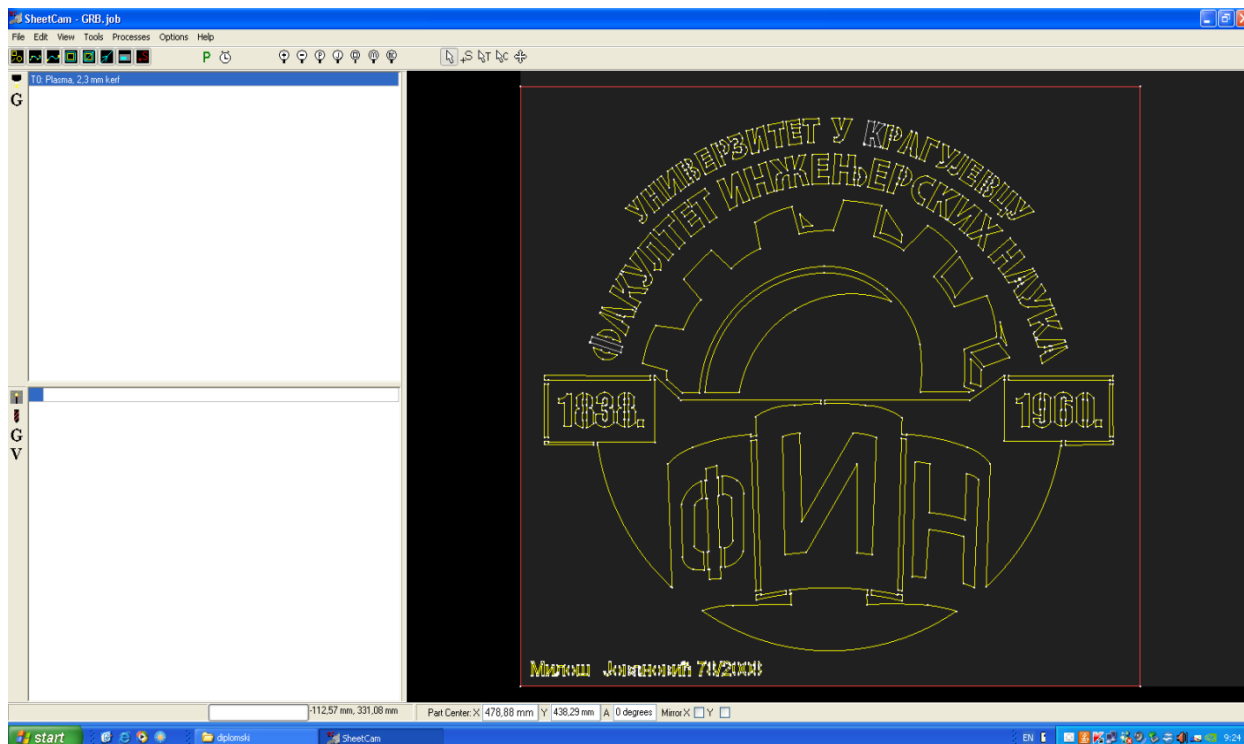


Слика 29 – Окружење „Шит-ЦАМ“ програма



Слика 30 – Увоз цртежа у програм

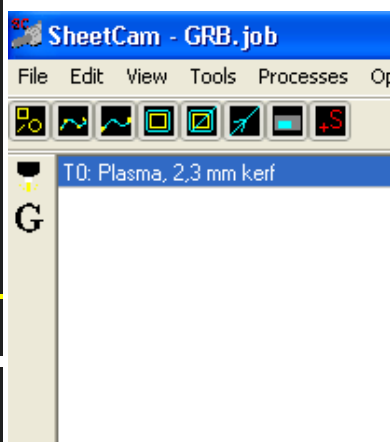
Слика 31– Одабир мерних јединица



Слика 32– Изглед комада по увозу у „Шит-ЦАМ“

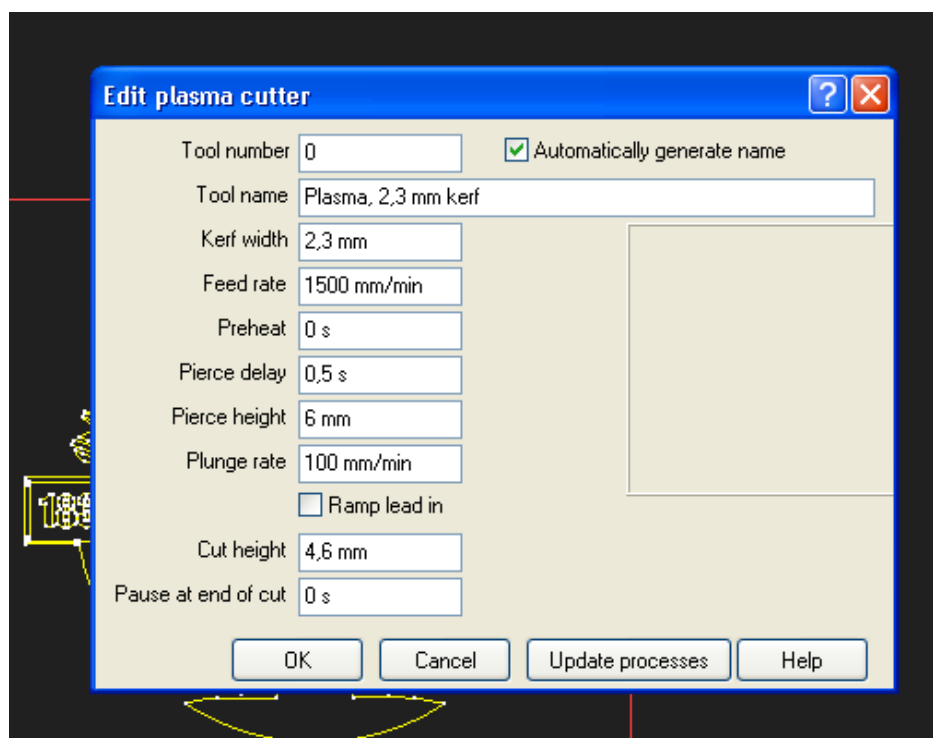


Слика 33– Недефинисана линија,



Слика 34– Листа алата приказана белом бојом

У зависности од дебљине лима, који се сече, одређује се којом јачином струје се сече, на основу табеле 2. Када знамо материјал и јачину струје, можемо одабрати таблицу параметара (слика 36), чије вредности уносимо у поља дијалог прозора.



Слика 35– Дијалог прозор за подешавање општих параметара

Дебљина лима (mm)	Јачина струје (A)
3	40
5	40-60
8	80
10	100
12	120
15	120

Табела 2 – Избор јачине струје у односу на дебљину лима

Следећи корак је дефинисање специфичних параметара, које се започиње левим кликом на „електрода“ иконицу (слика 37), приликом чега се отвара дијалог прозор (слика 38).

CUTMASTER A120

4T.08 Recommended Cutting Speeds for Machine and Automated Torches
With Exposed Tip

Mild Steel

40A

Air Plasma / Air Shield

Deflector	Standard Shield Cup Maximum Life Shield Cup	Tip	Starter Cartridge	Electrode
9-8243	9-8218 9-8227	9-8208	9-8213	9-8232

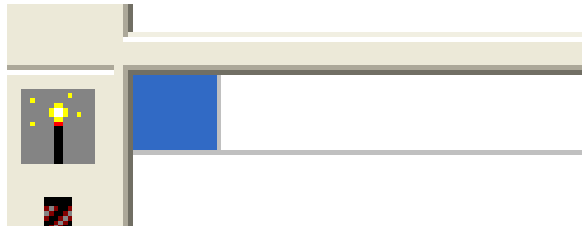
Material Thickness		Gas Pressure (Air)	Arc Voltage	Torch Working Height	Travel Speed	Initial Piercing Height	Pierce Delay	Karl Worth S. Rec. Speed
(GA)	(in)	PSI (torch lead length)	Volts	(in)	(ipm)	(in)	(sec)	(in)
20	0.036	70 (29)	101	0.14	160	0.18	0.0	0.05
16	0.060		103	0.14	140	0.18	0.0	0.05
14	0.075		105	0.14	120	0.18	0.1	0.06
12	0.100		108	0.14	80	0.18	0.2	0.06
10	0.135		110	0.14	60	0.18	0.3	0.06
8/16	0.188		111	0.14	55	0.18	0.4	0.06
1/4	0.250		117	0.14	40	0.18	0.5	0.07
3/8	0.375		119	0.14	25	0.18	1.2	0.07
1/2	0.500		120	0.14	15	0.2	2.0	0.07

CUTMASTER A120

Material Thickness	Gas Pressure (Air)	Arc Voltage	Torch Working Height	Travel Speed	Initial Piercing Height	Pierce Delay	Karl Worth S. Rec. Speed
(mm)	Bar (torch lead length)	Volts	(mm)	(mm/min)	(mm)	(sec)	(mm)
1	4.8 (7.6mm) 6.2 (16.2mm)	101	0.6	1600	6.6	0.0	1.0
2		100	3.6	2000	4.6	0.1	0.6
3		100	3.6	1810	4.6	0.3	1.0
4		110	3.6	1670	4.6	0.3	0.6
5		112	3.6	1540	4.6	0.4	0.6
6		116	3.6	1500	4.6	0.5	1.2
8		118	3.6	815	4.6	1.0	1.2
10		119	3.6	500	4.6	1.0	1.6
12		120	3.6	400	5.1	2.0	1.6

BOLD TYPE indicates maximum piercing parameters.

Слика 36– Таблица параметара



Слика 37– „Електрода“ иконица

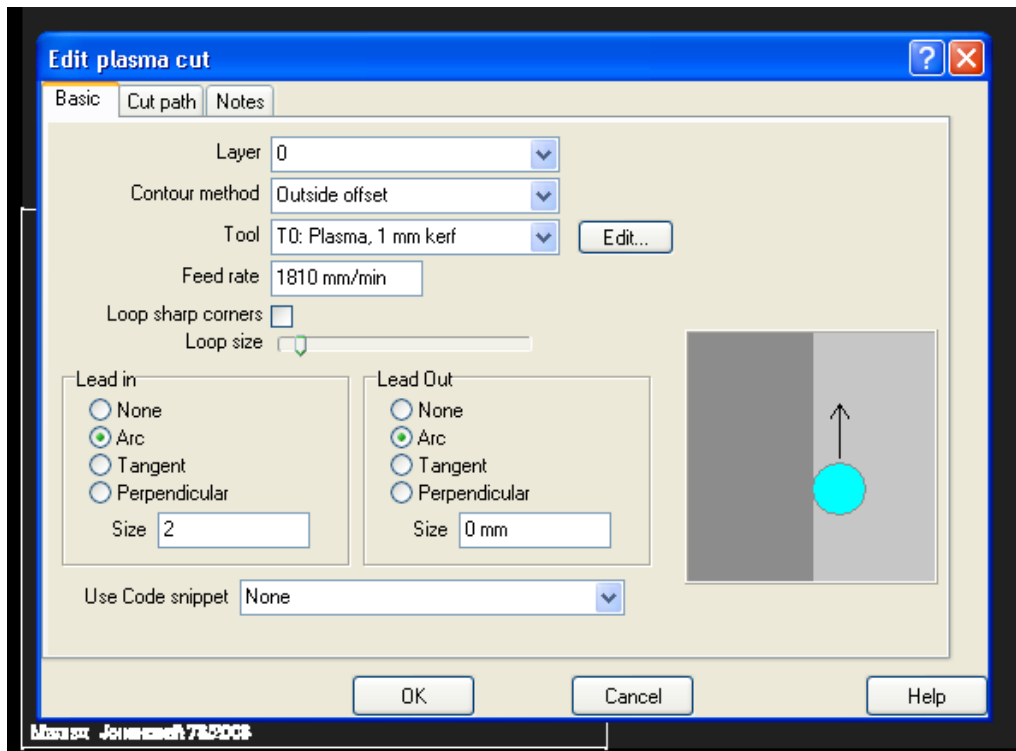
У првој, основној картици, дефинишу се:

- лејер цртежа,
- дефинисање комада и отпада,
- дужина улаза (mm),
- дужина излаза (mm),

Табела 3 приказује дужине улаза и излаза у зависности од дебљине лима који се сече. Након тога, прелази се на другу картицу, која дефинише правила сечења (слика 39).

У овој картици дефинишу се:

- редослед сечења,
- смер сечења.



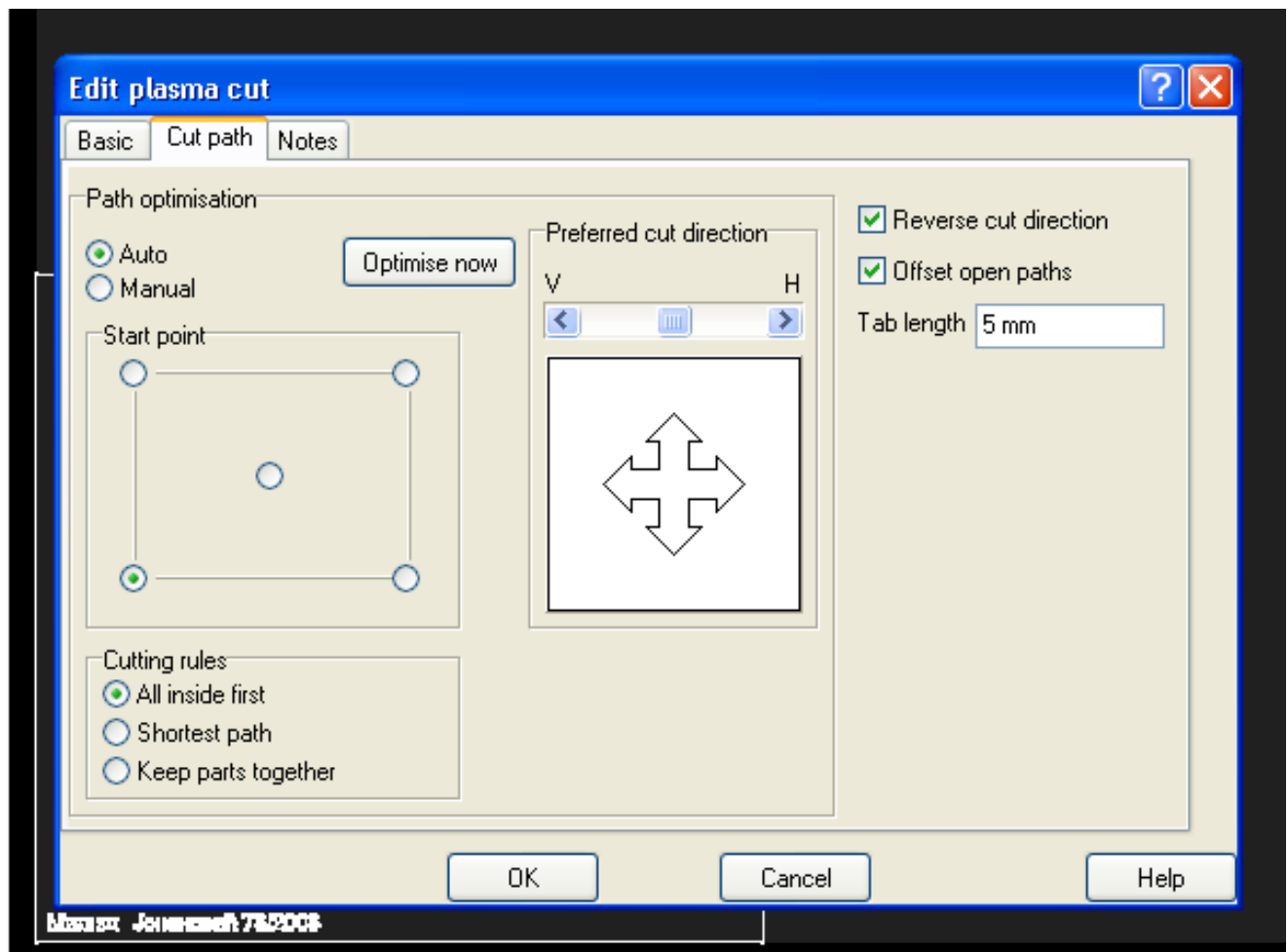
Слика 38– Прва, основна картица дијалог прозора специфичних параметара

Дебљина лима (mm)	Дужина улаза (mm)	Дужина излаза(mm)
3	2-5	0
5	5	0
8	5	0
10	5-6	0
12	6	0
15	7	0

Табела 3 – Дужине улаза и излаза у зависности од дебљине лима

Редослед сечења се увек одређује тако да се прво секу све унутрашње контуре, а затим све спољашње.

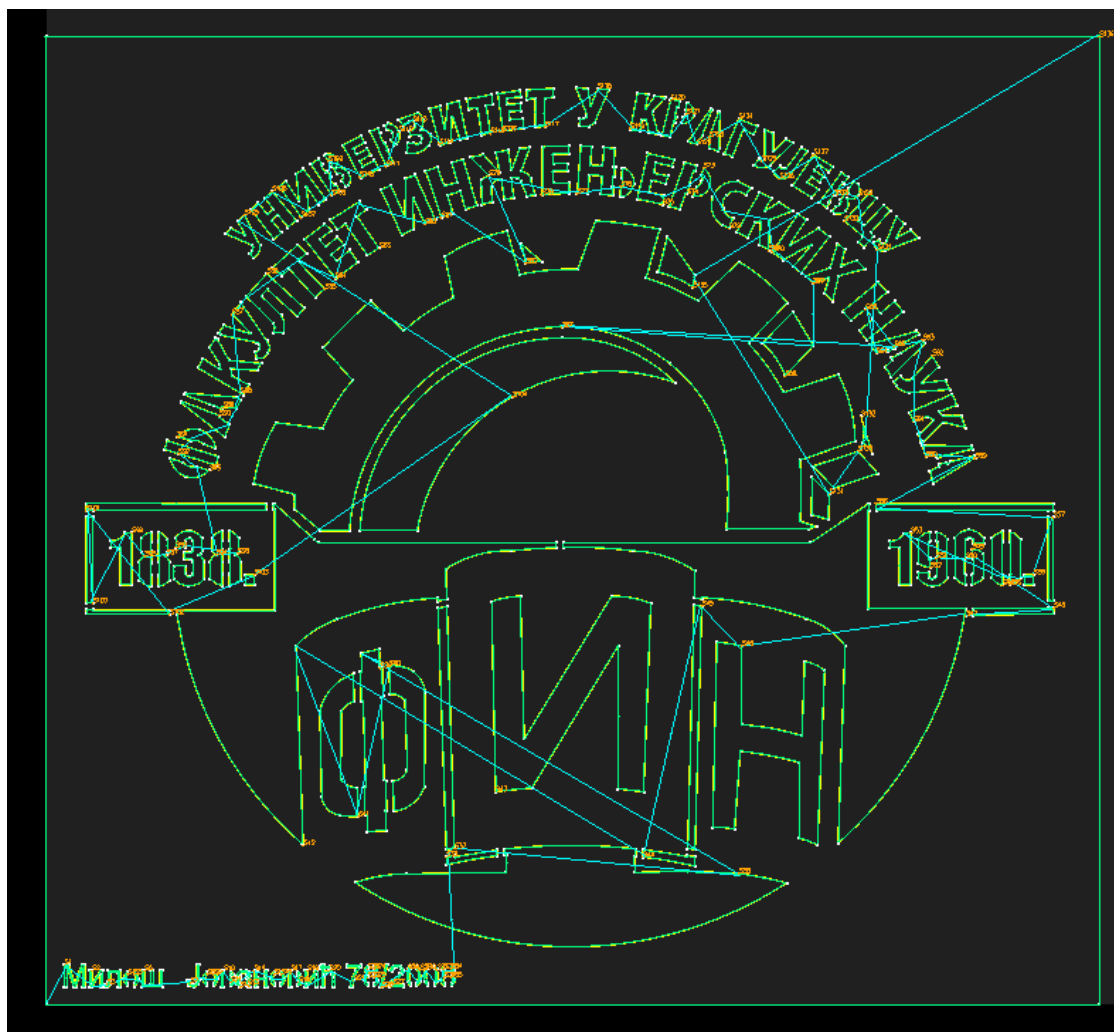
Машина има карактеристику, да је десна страна реза, гледано у смеру кретања бренера, увек боља од леве. Зато се смер мора подесити тако да десна страна реза припада комаду, а лева отпаду. Дакле, унутрашње контуре се морају сећи у смеру супротном од казаљке на сату, а спољашње у смеру казаљке на сату.



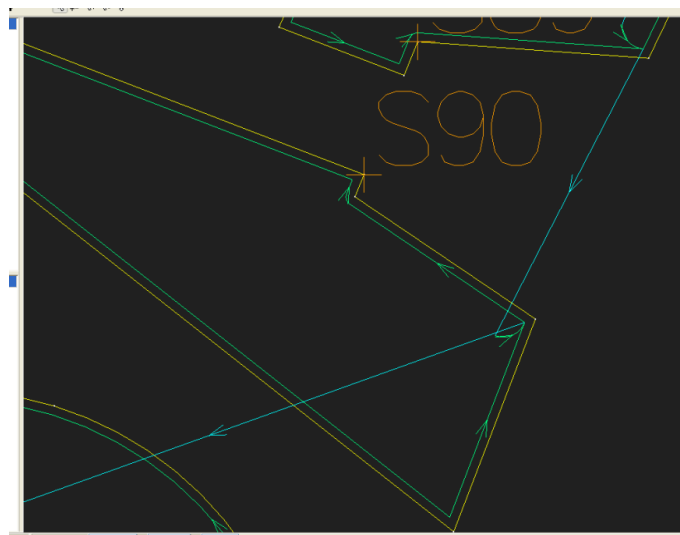
Слика 39– Друга картица дијалог прозора специфичних параметара – Правила сечења

Када смо подесили све параметре, левим кликом на поље „ОК“, програм дефинише путању бренера (слика 40). Црвеном бојом представљају се спољне контуре, жутом унутрашње контуре, зеленом путања бренера у току сечења, а плавом путања бренера у току празног хода (слика 41). Након визуелне провере, да су све контуре прочитане и дефинисане пролазом бренера, прелази се на израчунавање потребног времена за сечење. Оно се врши левим кликом на „Штоперица“ иконицу (слика 42).

Тада програм приказује израчунато време, потребно за сечење (слика 43). Са слике 43, види се да је за приказан комад потребно 25 min 24 sec. Осим квалитета, време израде је једна од највећих предности ЦНЦ машина у односу на мануелне.



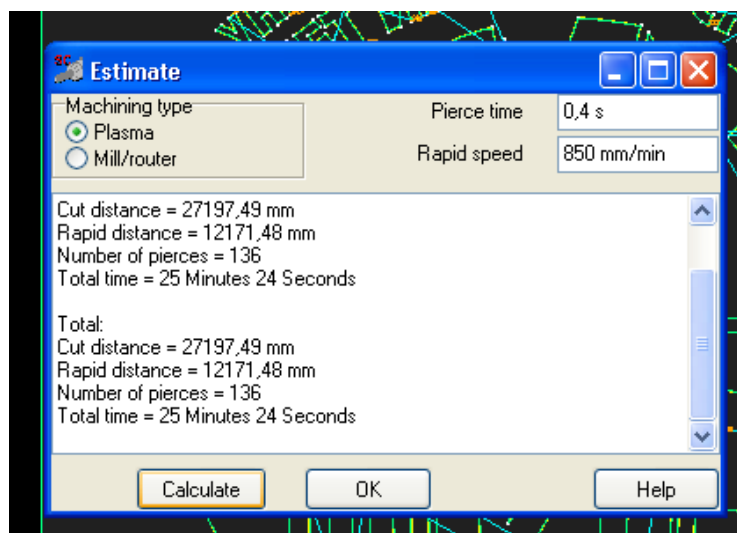
Слика 40– Путања бренера



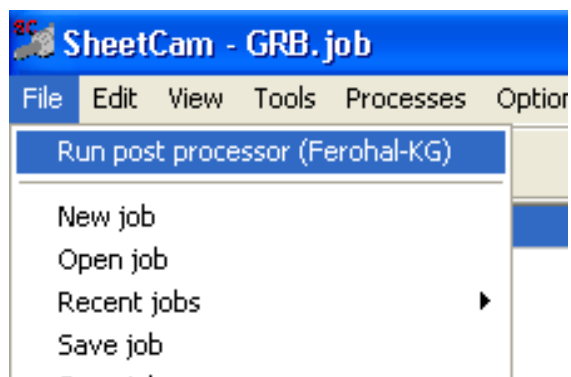
Слика 41– Увеличан детаљ путање бренера



Слика 42– Штоперица иконица



Слика 43– Приказ израчуаног времена, потребног за сечење



Слика 44– Пост-процесирање

Програмирање се завршава прикључивањем УСБ меморије и командом „Пост-процесирање“ (слика 44).

3.3. Операција сечења

Укључивање машине врши се прекидачем на покретној управљачкој јединици (слика 45) и прекидачем на плазма апарату (слика 46).



Слика 45– Укључивање покретне управљачке јединице

Плазма апарат, на командној табли садржи:

- прекидач,
- потенциометар за подешавање јачине струје,
- вентил за пуштање и заустављање компресованог ваздуха кроз дизну
- потенциометар за подешавање притиска ваздуха,
- ЛЕД индикаторе притиска ваздуха и упозорења

Први корак је прикључивање УСБ меморије на порт (слика 47). Други корак је подешавање јачине струје (слика 48). Трећи корак је пуштање ваздуха кроз дизну (слика 49), јер се притисак ваздуха подешава док ваздух струји кроз систем. Из табеле параметара (слика 36) читамо вредност притиска коју треба да подесимо. Притисак подешавамо потенциометром (слика 50), а након тога затварамо вентил за ваздух (слика 51). У зависности од јачине струје коју смо подесили, бирамо адекватну дизну за сечење (слика 52). Затим, скидамо керамичку заштитну капу дизне (слика 53), пластичну заштитну капу електроде (слика 54), скидамо стару и стављамо нову электроду (слика 55), и враћамо заштитне капе са адекватном дизном (слика 56).



Слика 46 – Укључивање плазма апарата



Слика 47– Прикључивање УСБ меморије



Слика 48 – Подешавање јачине струје



Слика 49– Отварање вентила за ваздух



Слика 50– Подешавање притиска ваздуха



Слика 51– Затварање вентила за ваздух



Слика 52– Одабир дизне за сечење



Слика 53– Скидање керамичке заштитне капе дизне



Слика 54– Скидање пластичне заштитне капе електроде



Слика 55– Замена електроде



Слика 56– Завијање керамичке заштитне капе са адекватном дизном

Када се подеси плазма апарат, прелази се на учитавање програма и подешавање осталих параметара. Укључивањем покретне управљачке јединице, на дисплеју је приказан главни мени. Учитавање програма се започиње улазом у „едит“ мод (слика 57). Затим селекујемо поље „УСБ“ као избор меморије са које учитавамо програм (слика 58). Да би се дошло до листе програма, отвара се поље „лоуд“ (слика 59). Када је листа приказана, тастатуром за позиционирање изаберемо назив програма (слика 60) и потврђујемо учитавање програма притиском на „ентер“ тастер (слика 61). Помоћу тастера „стрелица лево“ враћамо се назад у главни мени (слика 62). Из главног менија улази се у мод за подешавање параметара (слика 63), а затим у мод параметара за сечење плазмом (слика 64). Тастатуром за позиционирање се одабира конкретан параметар који се дефинише (слика 65), а затим се нумеричком тастатуром уноси вредност параметра (слика 66) која се читава из таблице параметара (слика 36). Након тога се измене потврђују опцијом „сеив“ (слика 67), и врши се повратак у главни мени притиском на тастер „стрелица лево“ (слика 68). Опцијом „ауто“ улази се у мод аутоматског сечења (слика 69). У овом моду тастатура за позиционирање (слика 70) има функцију да помера бренер по X и Y оси. Координатни почетак се дефинише тако што се најпре бренер, помоћу тастатуре за позиционирање, доведе у положај где желимо да поставимо координатни почетак (слика 71), а затим машини саопштавамо да је у тој тачки вредност X и Y координата нула. Притиском на „X“ тастер (слика 72) отварамо опцију за унос вредности X координате. Нумеричком тастатуром уносимо вредност координате (слика 73), а на дисплеју добијамо приказ вредности коју смо унели (слика 74). Потврђујемо вредност притиском „ентер“ тастера (слика 75) и одмах се аутоматски отвара опција за унос вредности Y координате. Нумеричком тастатуром уносимо вредност координате, што је приказано и на дисплеју (слика 76). Притиском на „ентер“ потврђујемо вредност и добијамо приказ дефинисаних координата тренутног положаја бренера (слика 77). Уласком на опцију „асистент“ (слика 78), а затим на опцију „керф“ (слика 79), селекујемо вредност керфа и уносимо га нумеричком тастатуром. Вредност је приказана на дисплеју (слика 80). Излаз из „асистент“ мода и повратак у „ауто“ мод, врши се тастером „стрелица лево“ (слика 81). Опцијом „вју“ (слика 82) добијамо графички приказ програма (слика 83). На тај начин вршимо последњу

проверу и верификацију програма, а затим „старт“ тастером отпочињемо операцију сечења (слика 84). Машина се може у сваком тренутку зауставити притиском на тастер „стоп“ (слика 85) и поново покренути тастером „старт“.

Даља функција оператера је надзор (слика 86). У случају грешке, оператер мора бити спреман, у сваком тренутку, моментално да заустави машину. Ситуација на коју посебно треба обратити пажњу је искретање одсеченог комада (слика 87). Када комад лима изгуби последњу физичку везу са обратком, требало би да упадне у воду која се налази у постољу обратка. Често су комади сувише велики да би несметано склизнули са тачака ослонца и заглављују се у искренутом положају. Када брениер ступи у празан ход (истог тренутка када се комад искрене), креће се великом брзином, често брже од људске реакције. Оператер на основу искуства зна у којим зонама су тачке ослонца (иако их не види) и може да предвиди да ли ће се комад заглавити у искренутом положају или склизнути. Такође, може да предвиди путању брениера, по ступању у празан ход. Сигурносна раван на овој машини је прилично високо постављена (највиша тачка Z осе), али често се дешава да искренут комад буде на већој висини од сигурносне равни. Уколико брениер на свом путу удари у искренут комад, сигурносни систем ископчава зупчаник и зупчасту летву, да би се избегао лом. Тог тренутка се губи спрега X и Y осе, помера се координатни почетак и губи се реална веза програма и обратка. Брениер се може ручно вратити у тачку у којој би требало да буде, али то је могуће проценити само визуелном методом. У том случају се веома губи на квалитету и тачности комада. Уколико комад мора да има мању толеранцију од $\pm 1\text{ mm}$, као што је у овом примеру, овакав сценарио би био погубан.

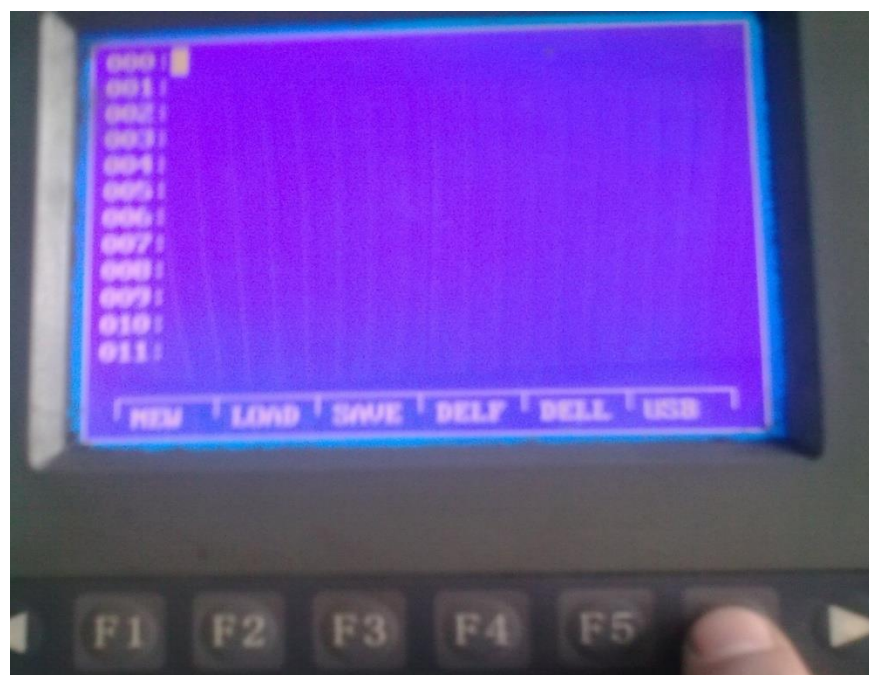
На слици 88, 89, и 90, приказан је исечен комад.

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.

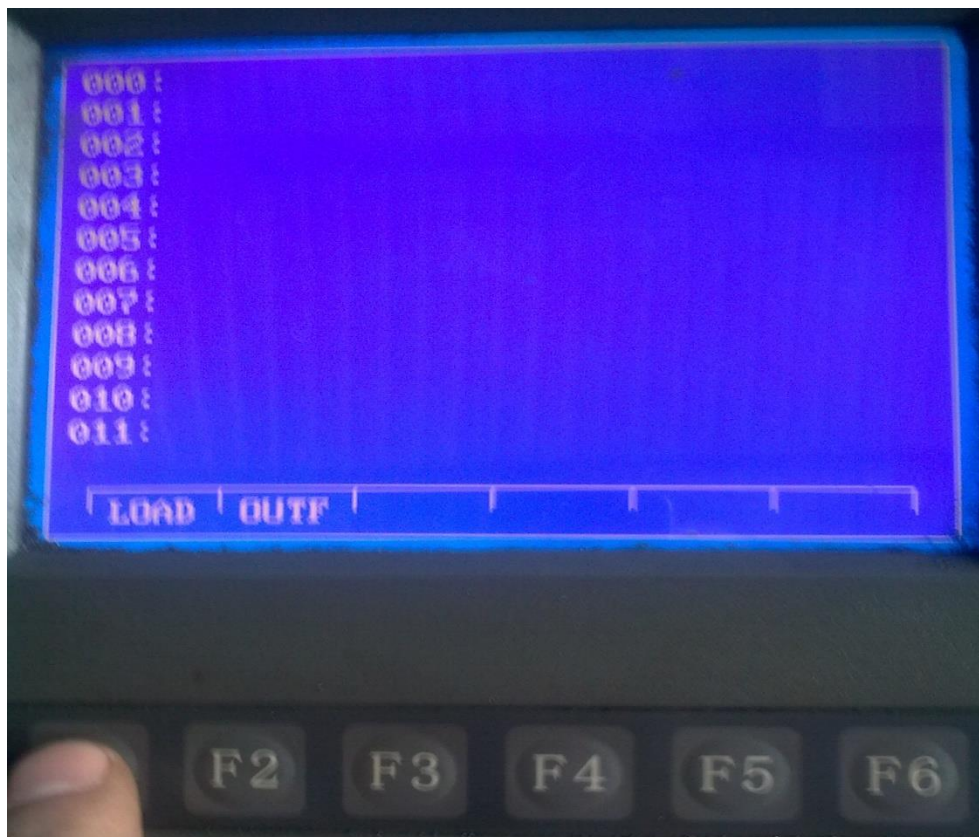
Ипак, прецизност и квалитет не могу се упоредити са мануелним машинама.



Слика 57– Улаз у „едит“ мод



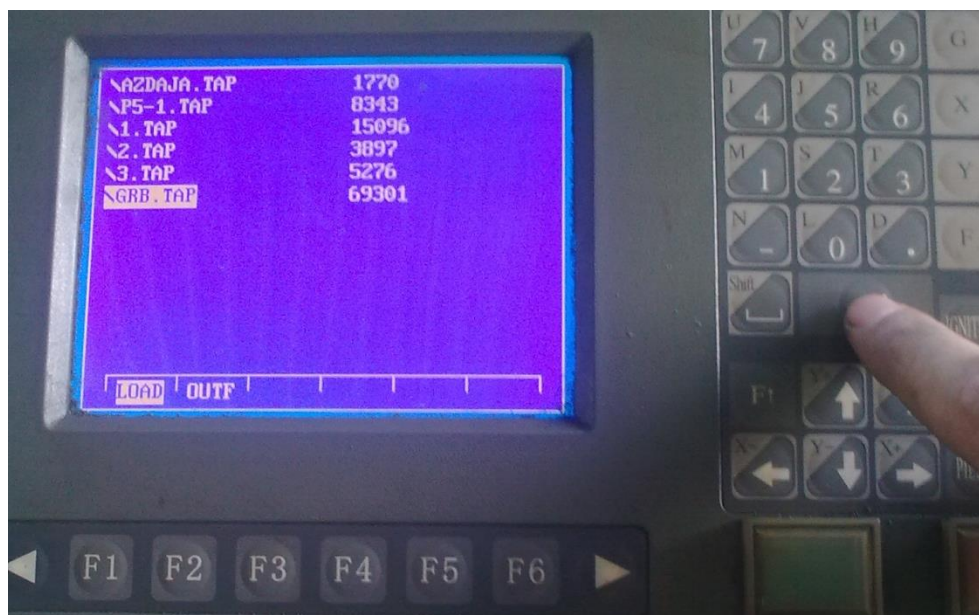
Слика 58– Одабир меморије са које се учитава програм



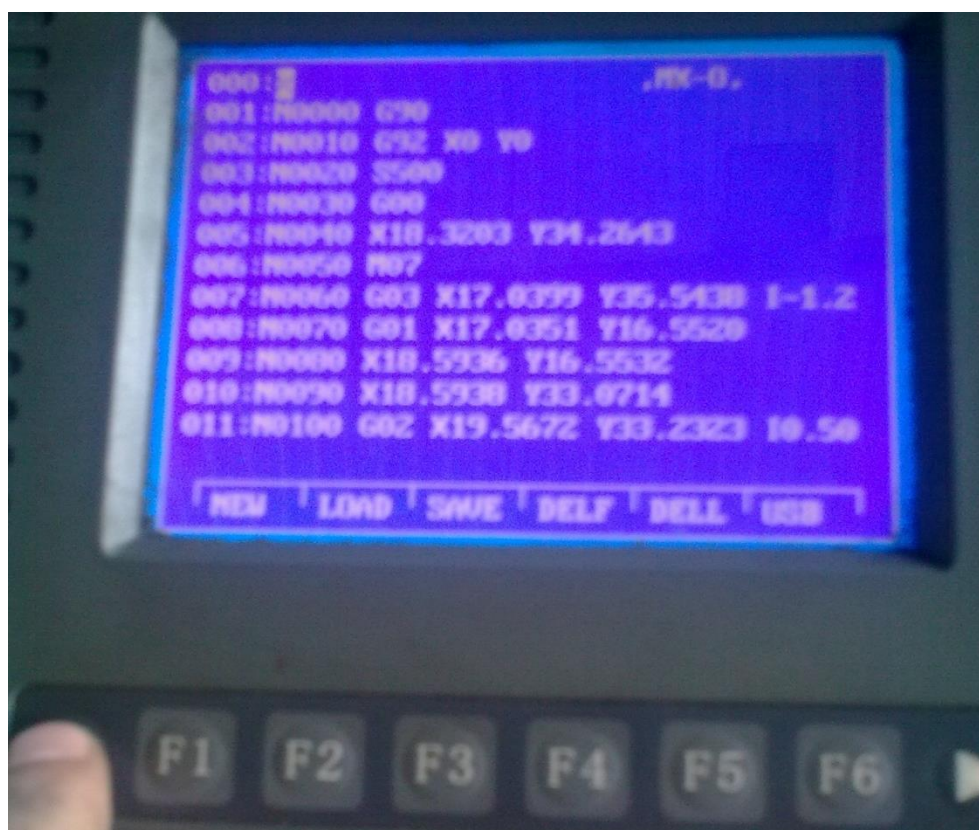
Слика 59– Отварање листе програма



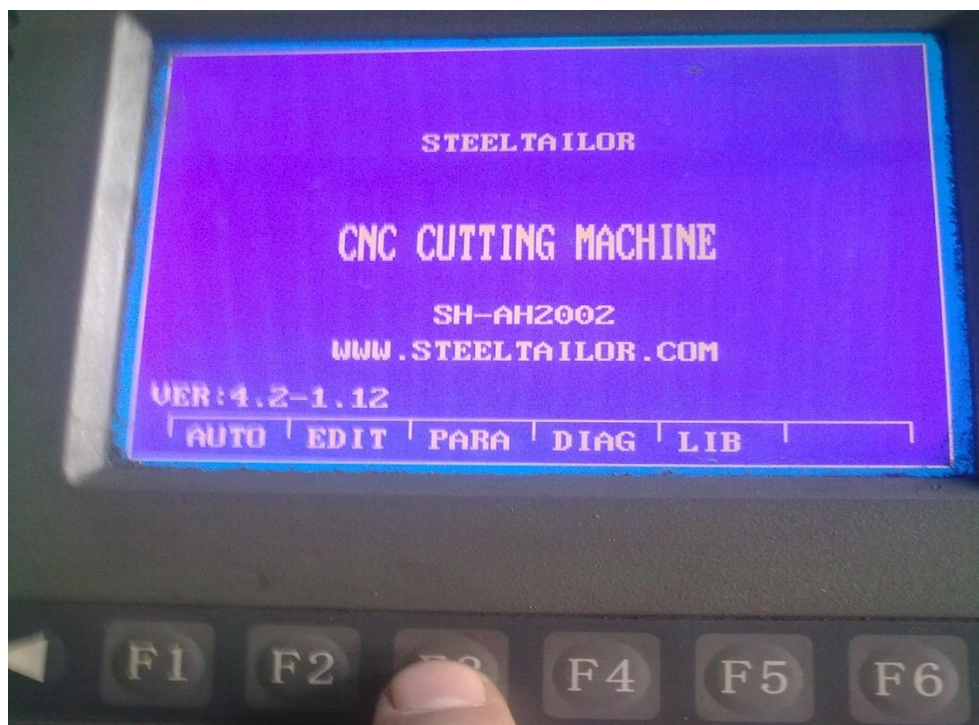
Слика 60– Одабир програма



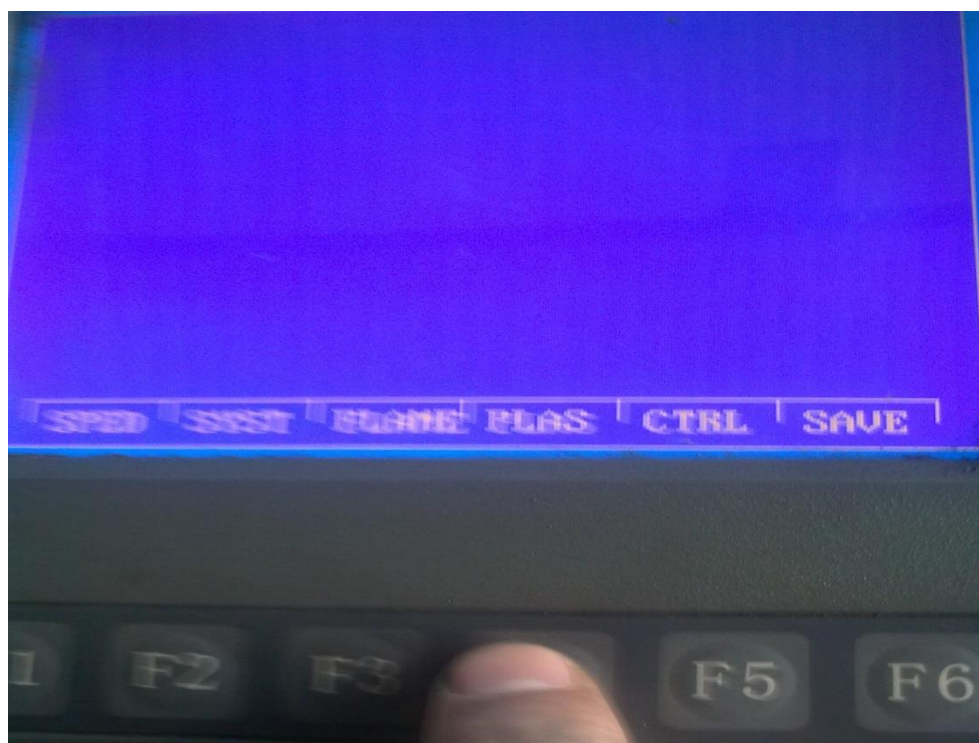
Слика 61– Потврда програма



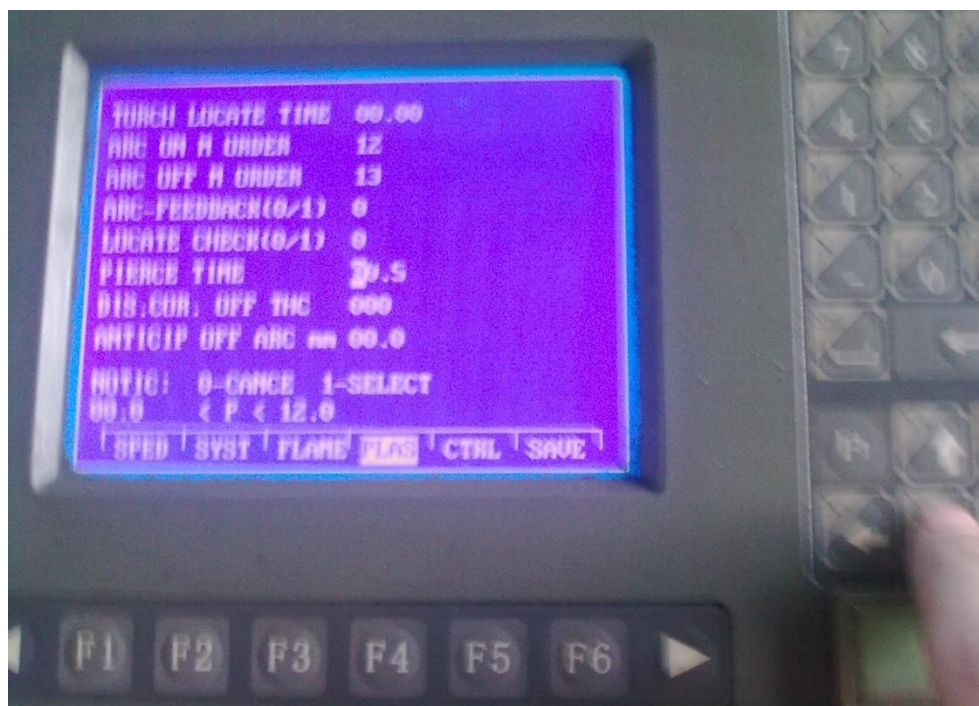
Слика 62– Повратак у главни мени



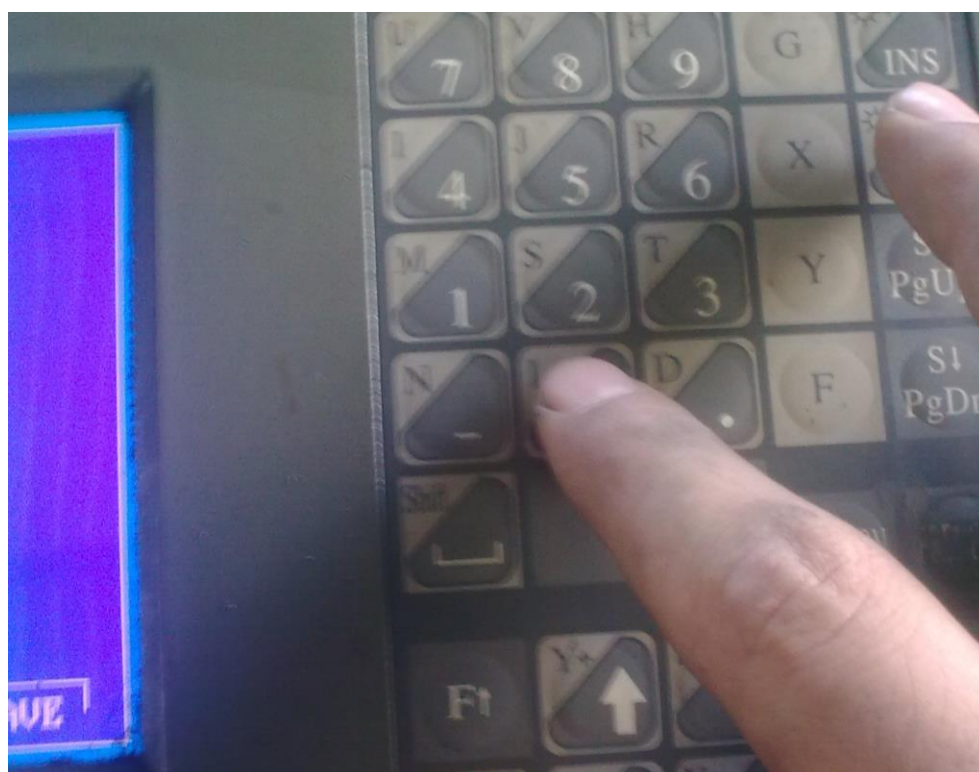
Слика 63– Улаз у мод за подешавање параметара



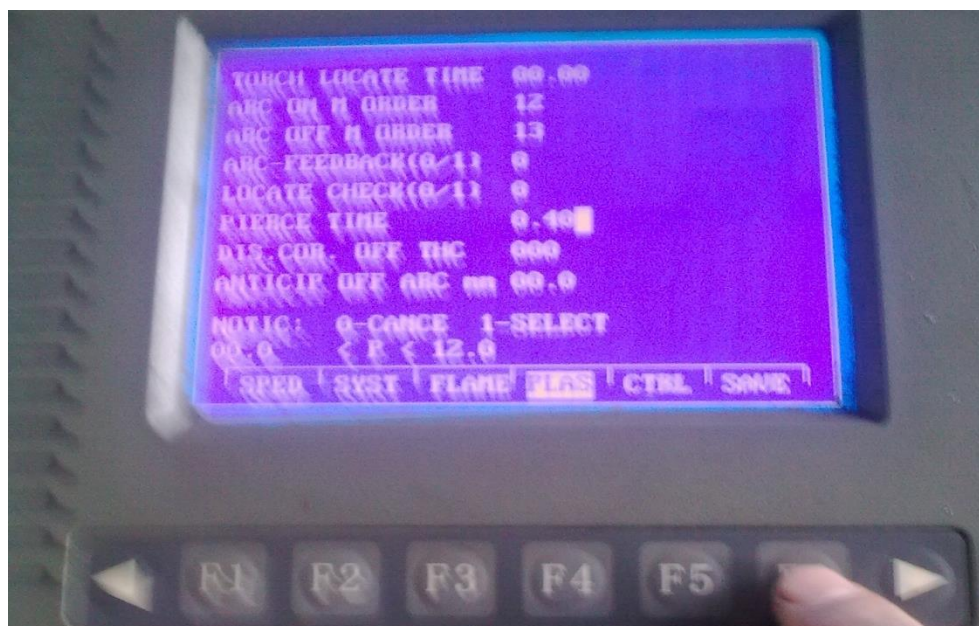
Слика 64– Улаз у подешавања параметара за сечење плазмом



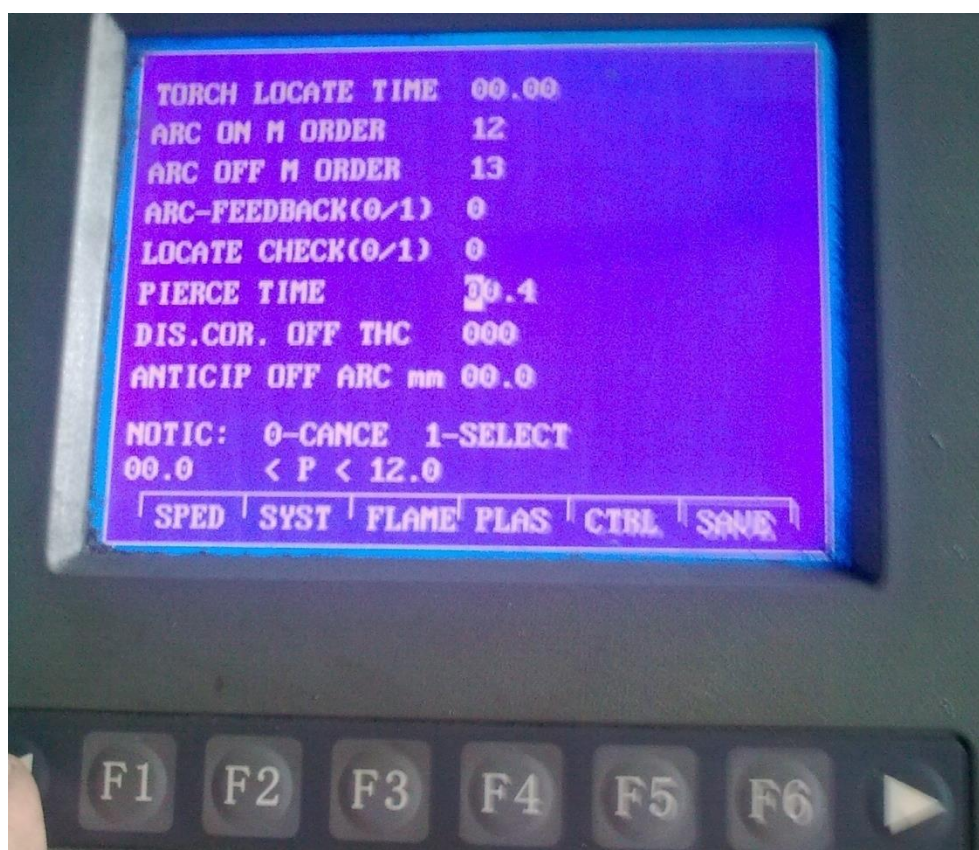
Слика 65– Одабир одређеног параметра



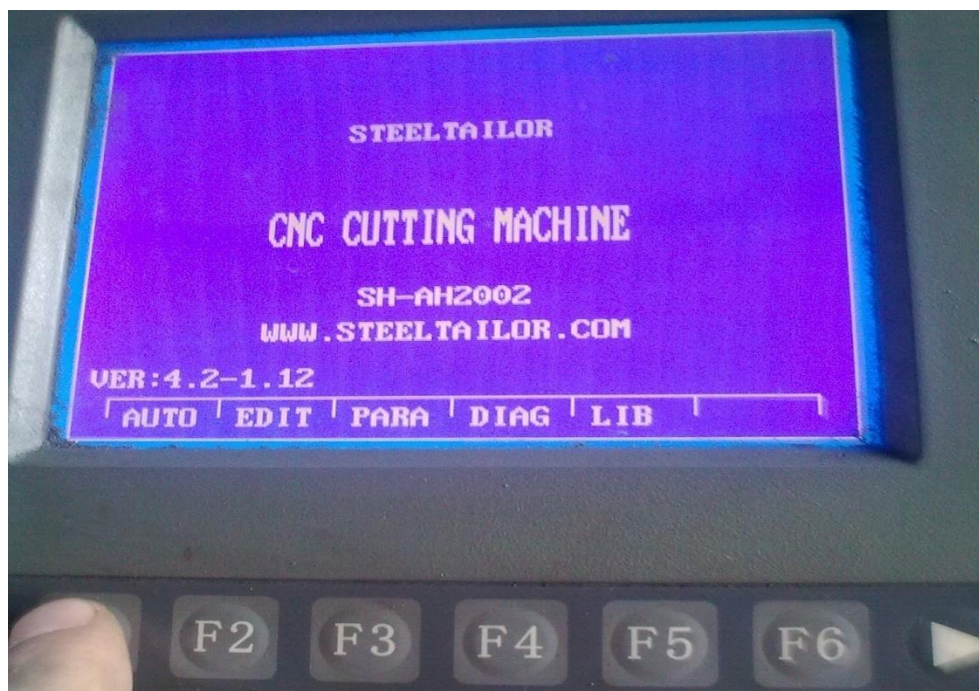
Слика 66– Унос вредности параметра



Слика 67– Потврда вредности параметара



Слика 68– Повратак у главни мени



Слика 69 Улаз у мод аутоматског сечења



Слика 70– Тастатура за позиционирање



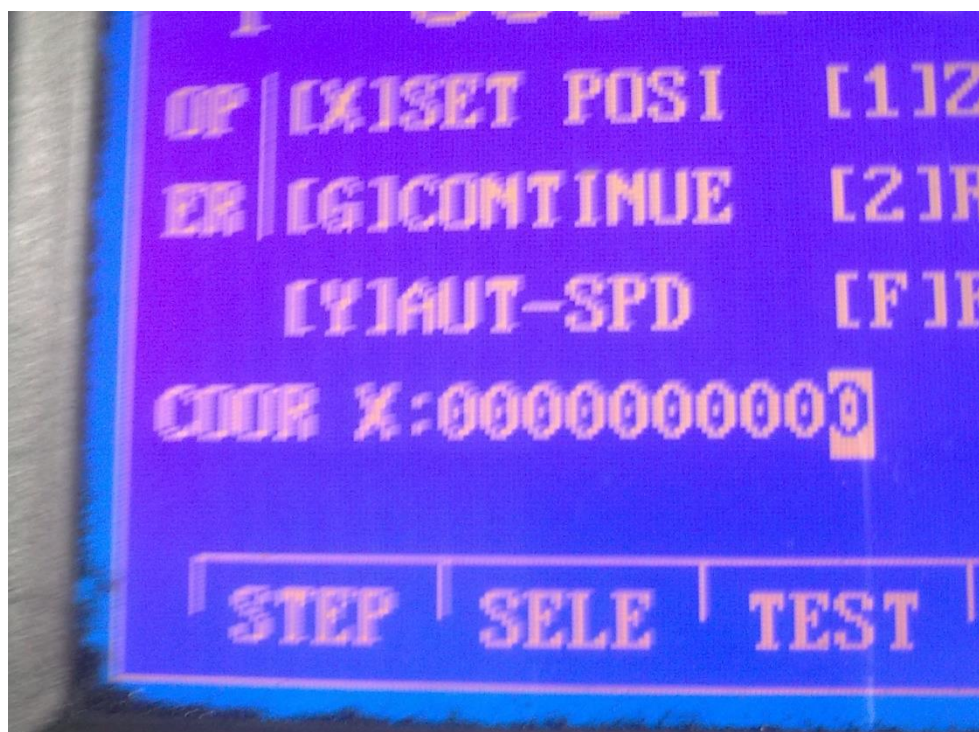
Слика 71– Бренер у тачки координатног почетка



Слика 72– Опција за дефинисање вредности координата



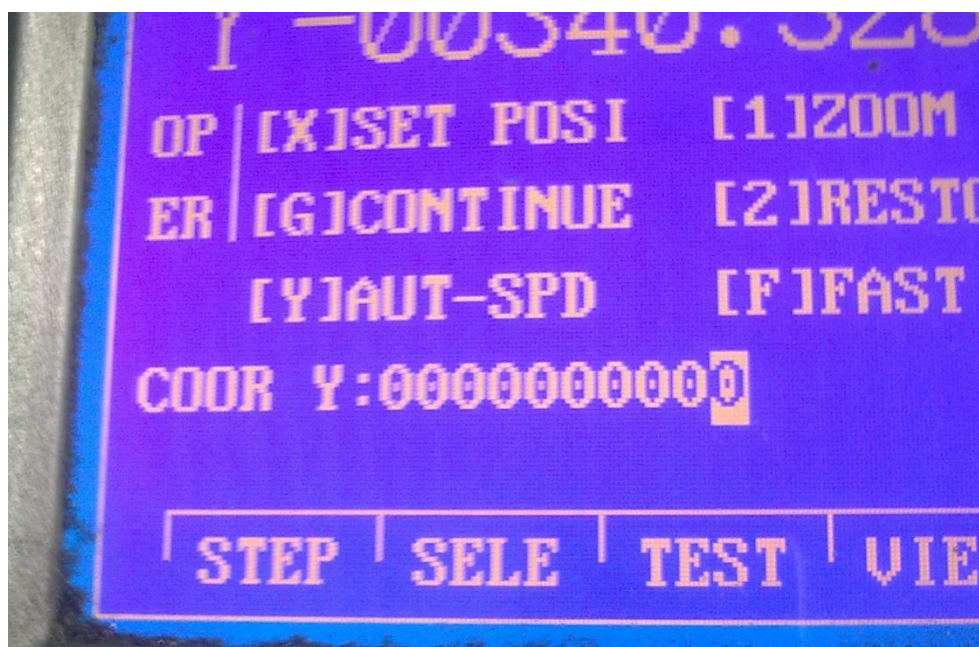
Слика 73—Дефинисање вредности X координате



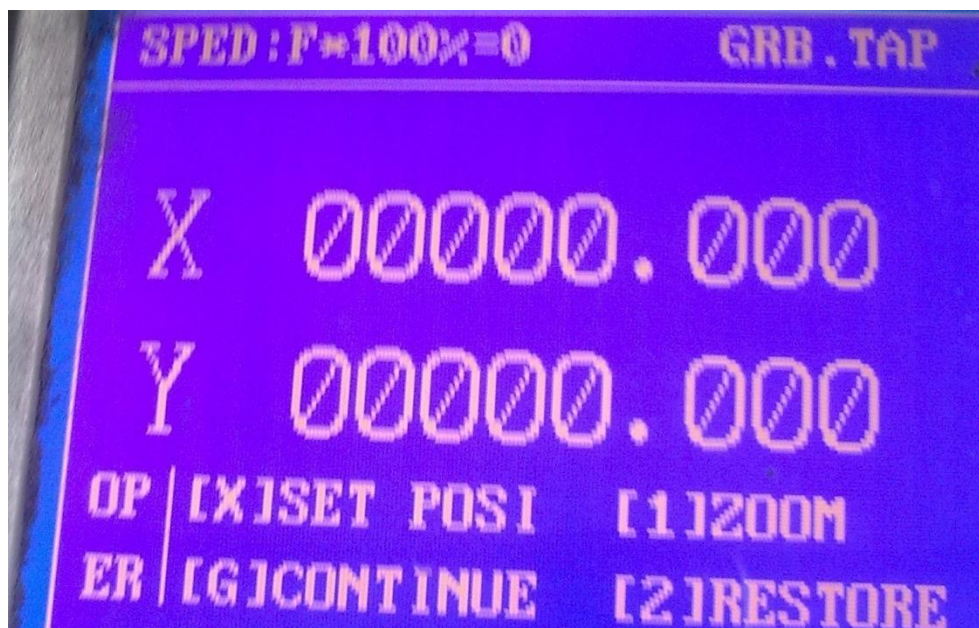
Слика 74— Приказ вредности X координате



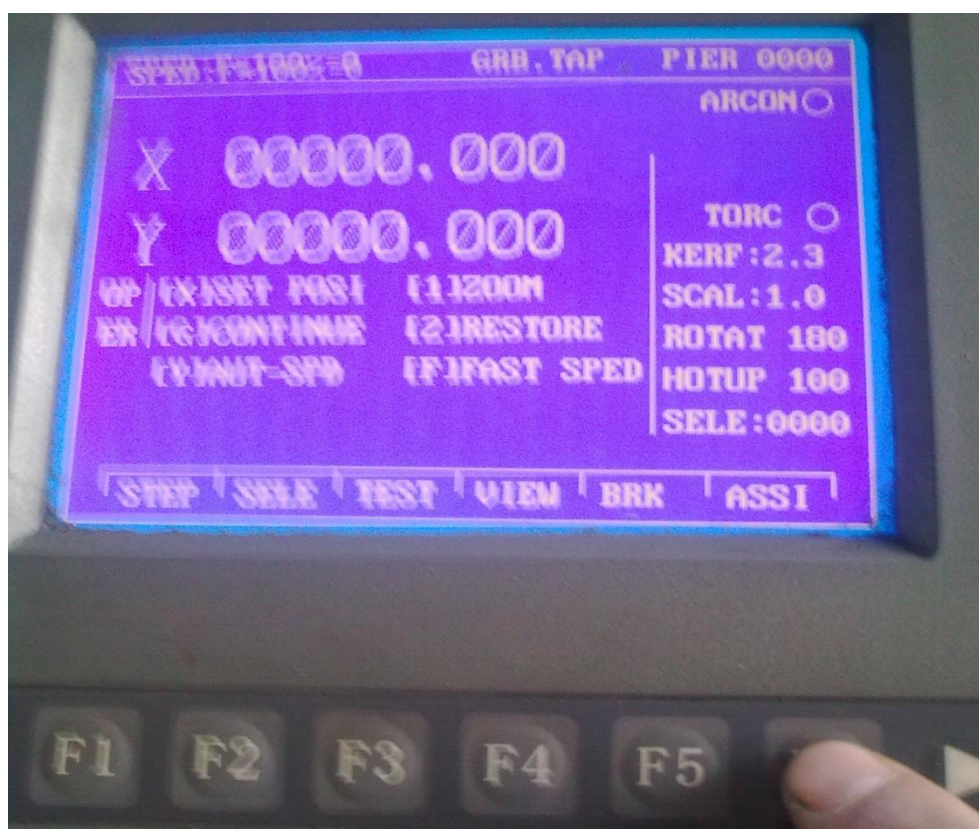
Слика 75– Потврда вредности X координате



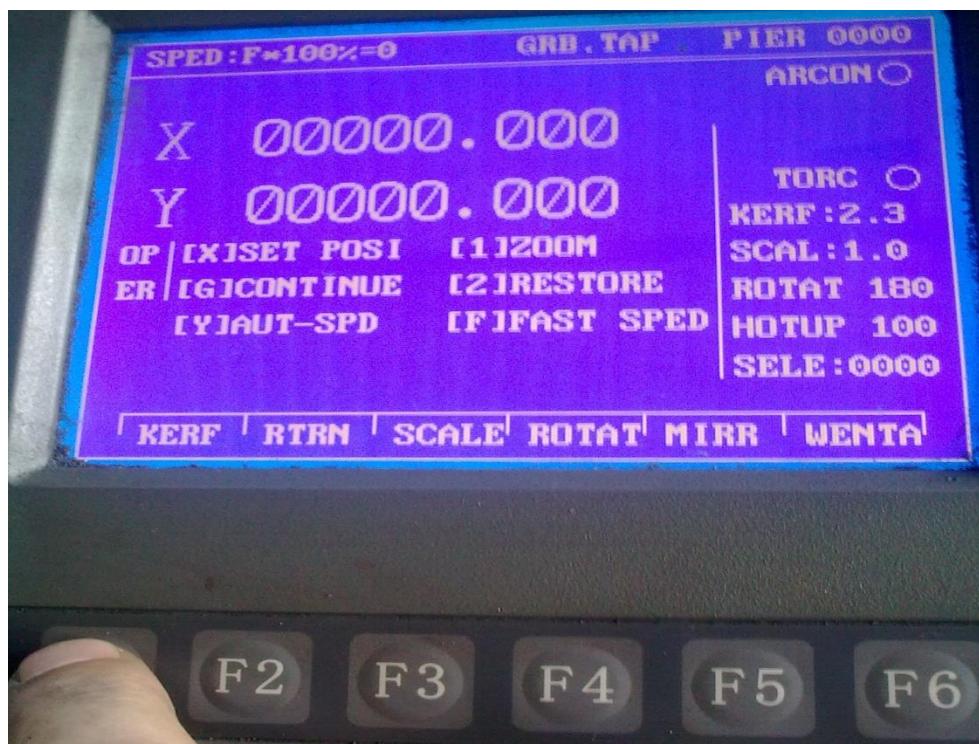
Слика 76– Приказ вредности Y координате



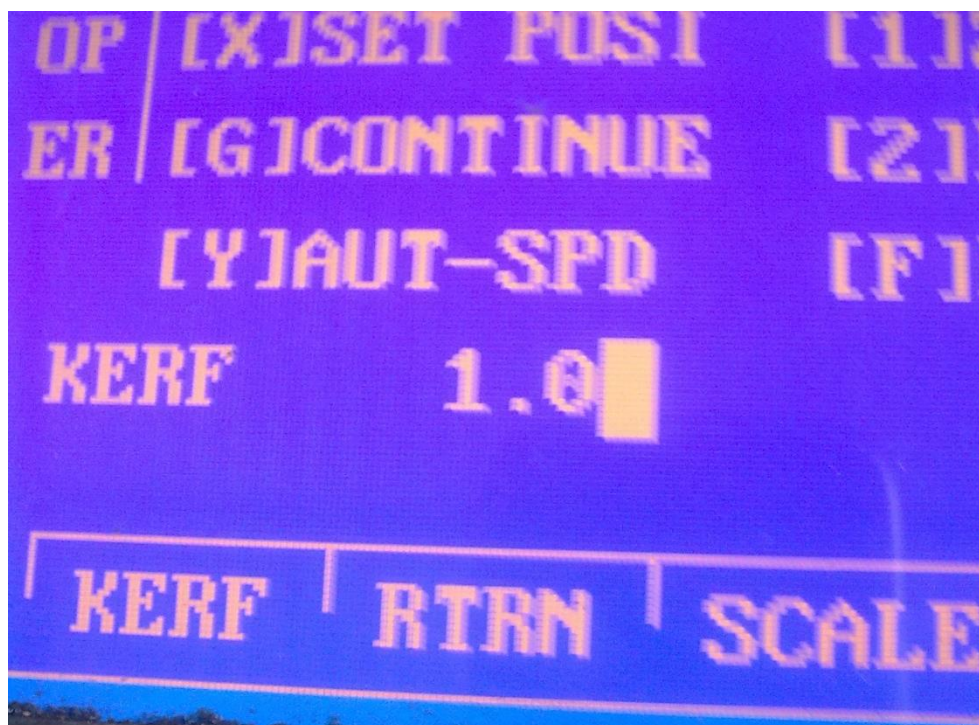
Слика 77 - Приказ вредности координата бренера



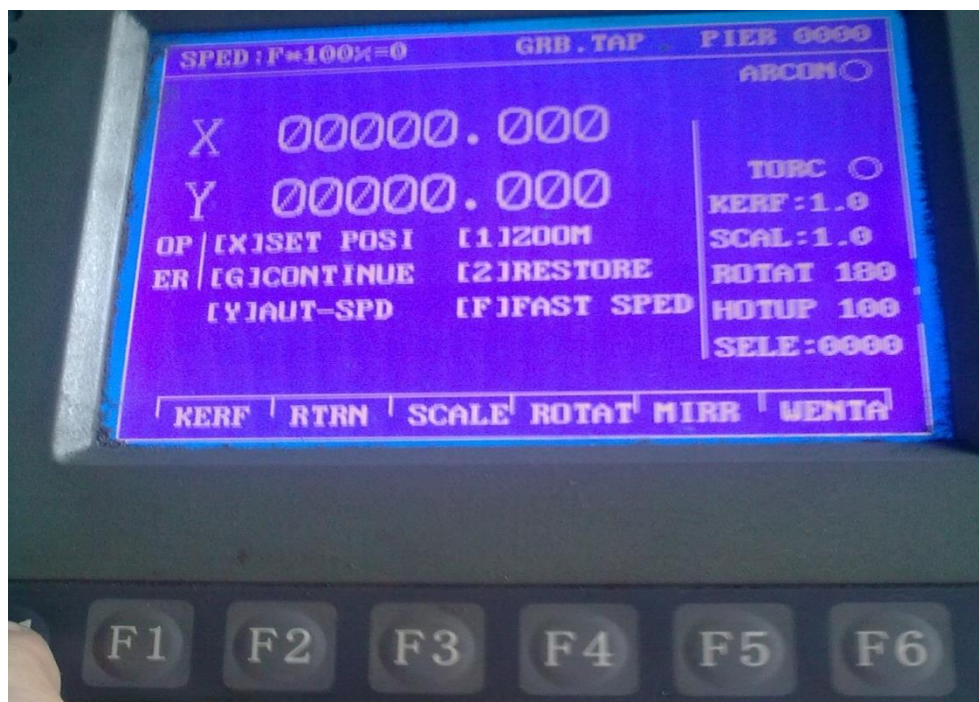
Слика 78– Улаз у „асистент“ мод



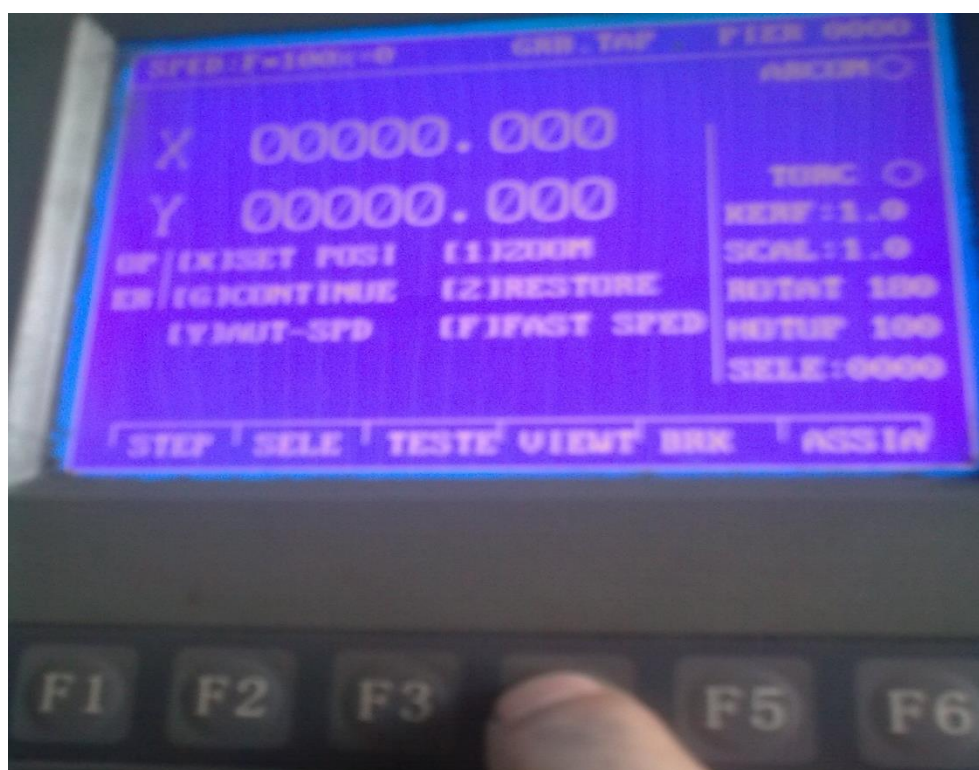
Слика 79– Одабир опције за дефинисање керфа



Слика 80– Приказ вредности керфа (mm)



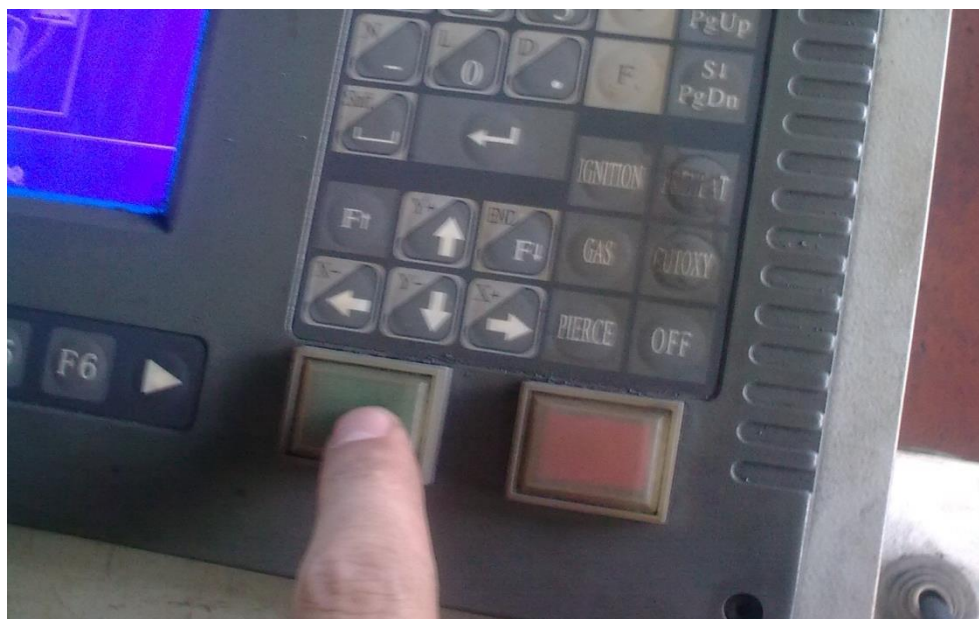
Слика 81– Излаз из „асистент“ мода – повратак у мод за аутоматско сечење



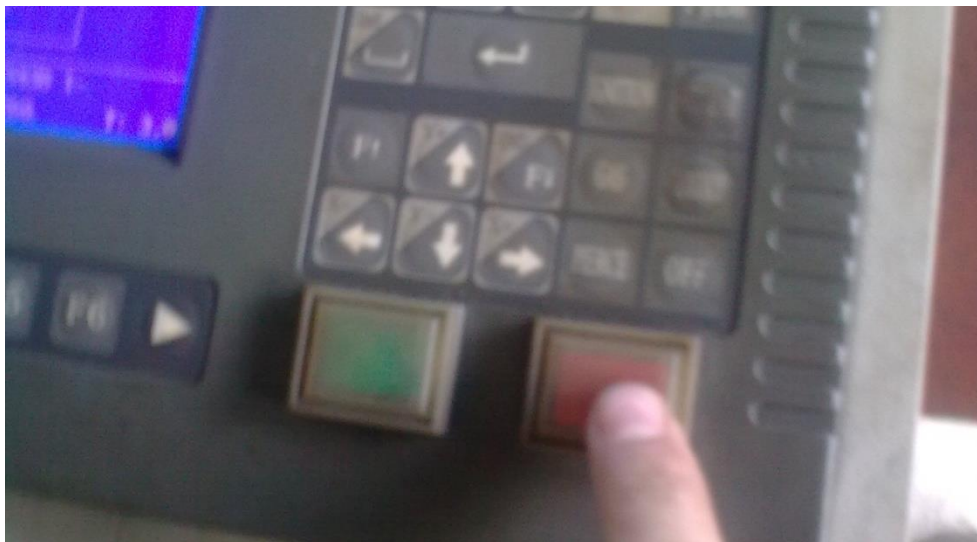
Слика 82– Опција за графички приказ програма



Слика 83– Графички приказ програма



Слика 84– „Старт“ тастер



Слика 85– „Стоп“ тастер



Слика 86– Сечење плазмом



Слика 87– Искренут комад



Слика 88– Исечен комад



Слика 89- Исечен комад



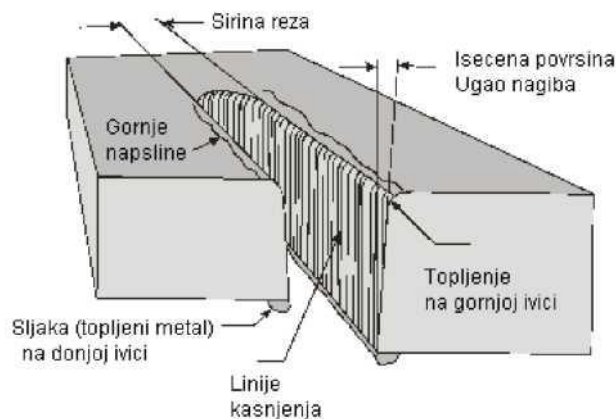
Слика 90 - Исечен комад

Информационе и ЦНЦ технологије су на овај начин обезбедиле неупоредиво већи квалитет и неупоредиво краће време израде у односу на мануелне машине. Ниво аутоматизације је подигнут на највиши могући ниво.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА

4.1. Стандард ЕН ИСО 9013

Европски стандард "ЕН ИСО 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 91).



Слика 91- Параметри квалитета код сечења плазмом

Стандард "ЕН ИСО 9013" дефинише квалитет површине преко следећих параметара:

- Одступање управности и угластости (ћошкост)
- 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 бренера приликом пробијања (sec)
- висина бренера у току пробијања (mm)
- висина бренера у току сечења (mm)
- време задржавања бренера 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. Експеримент променљивих јачина струје и брзина сечења, при константним осталим параметрима

У приказаном експерименту извршено је сечење плазмом различитим јачинама струје и брзинама сечења. Направљено је 12 узорак на којима ће визуелно да се процени квалитет реза. Сечен је челичан плочаст материјал дебљине 15 mm. Коришћене су јачине струје од 60A, 80A, 100A и 120A у комбинацији са табличним, 20% мањим и 20% већим брзинама (Табела 4).

Р. Б. УЗОРКА	ЈАЧИНА СТРУЈЕ	БРЗИНА СЕЧЕЊА	НАПОМЕНА
1	60A	530 mm/min	Таблична вредност
2	60A	425 mm/min	80% од табличне вредности
3	60A	635 mm/min	120% од табличне вредности
4	80A	610 mm/min	Таблична вредност
5	80A	490 mm/min	80% од табличне вредности
6	80A	730 mm/min	120% од табличне вредности
7	100A	870 mm/min	Таблична вредност
8	100A	695 mm/min	80% од табличне вредности
9	100A	1055 mm/min	120% од табличне вредности
10	120A	1320 mm/min	Таблична вредност
11	120A	1055 mm/min	80% од табличне вредности
12	120A	1585 mm/min	120% од табличне вредности

Табела 4 – Опис различитих параметара узорак

На следећим сликама приказани су узорци сечења и пробијања, као и таблице параметара за одређене јачине струје. Након контроле квалитета реза извешће се закључак о најпогоднијој комбинацији параметара.

На слици 92 приказане су тачке пробијања материјала различитим јачинама струје. Јачином струје 60A није могуће пробити челичну плочу од 15mm, што потврђује и таблица параметара за 60A (Табела 5), на којој је назначено да се та дебљина мора започети са ивице плоче. Са слике се може закључити да је најбољи квалитет тачке пробијања остварен јачином струје од 80A.



Слика 92 – Пробијање различитим јачинама струје

Material Thickness	Gas Pressure (Air)	Arc Voltage	Torch Working Height	Travel Speed	Initial Piercing Height	Pierce Delay	Kerf Width @ Rec. Speed
(mm)	Bar (torch lead length)	Volts	(mm)	(mm/min)	(mm)	(sec)	(mm)
1	5.9 (7.6m) 6.2 (15.2m)	115	4.8	7540	4.8	0	2.1
2		120	4.8	7015	4.0	0.10	1.9
3		118	4.8	4570	4.8	0.10	0.1
4		120	4.8	3650	4.8	0.20	1.9
5		121	4.8	2465	4.8	0.20	2.1
6		122	4.8	2145	4.8	0.30	2.0
8		123	4.8	1635	4.8	0.40	2.2
10		125	4.8	1180	4.8	0.60	2.4
12		130	4.8	795	4.8	0.75	2.4
15		134	4.8	530	Edge Start		2.4
20		138	4.8	325	Edge Start		2.2
25		149	4.8	165	Edge Start		2.7

BOLD TYPE indicates maximum piercing parameters. **BOLD ITALIC** indicates edge starts only.

Табела 5 – Параметри сечења јачином струје 60А

На слици 93 приказан је узорак који је сечен јачином струје од 60А и брзином од 530mm/min, што је таблични параметар. Квалитет реза може се окарактерисати као веома лош због велике насlage отпадног материјала на доњој страни плоче. Дакле неопходна је додатна обрада реза, а само сечење је веома споро.

За узорак 2 (слика 94) може се рећи да је истих карактеристика као узорак 1, осим шти је брзина 20% мања, дакле обрада је спорија и та комбинација параметара је лошија варијанта од претходне.

Узорак 3 је покушај сечења брзином од 635 mm/min (120% од табличне) и види се да је такво сечења немоугуће, одвајање материјала уопште није остварено.



Слика 93 – Узорак 1 – 60A – 530 mm/min



Слика 94 – Узорак 2 – 60A – 425 mm/min



Слика 95 – Узорак 3 – 60A – 635 mm/min

Material Thickness	Gas Pressure (Air)	Arc Voltage	Torch Working Height	Travel Speed	Initial Piercing Height	Pierce Delay	Kerf Width @ Rec. Speed
(mm)	Bar (torch lead length)	Volts	(mm)	(mm/min)	(mm)	(sec)	(mm)
1	5.9 (7.6m) 6.2 (15.2m)	109	4.8	8915	5.1	0.00	1.5
2		111	4.8	7415	5.1	0.10	1.7
3		113	4.8	5915	5.1	0.10	1.8
4		110	4.8	4095	5.1	0.30	1.7
5		111	4.8	3325	5.1	0.30	1.8
6		114	4.8	2745	5.1	0.40	2.2
8		120	4.8	1775	5.1	0.50	2.3
10		125	4.8	1060	5.1	0.50	2.3
12		123	4.8	1025	5.1	0.60	2.3
15		130	4.8	610	5.1	0.75	2.5
20		143	6.4	395	Edge Start		2.7
25		152	6.4	210	Edge Start		3.2

BOLD TYPE indicates maximum piercing parameters. **BOLD ITALIC** indicates edge starts only.

Табела 6 – Параметри сечења јачином струје 80А

На слици 96 приказан је узорак који је сечен јачином струје од 80А и брзином од 610mm/min, што је таблични параметар. Квалитет реза може се окарактерисати као прихватљив. Има отпадних честица са доње стране, али не у великој мери. Потребна је додатна обрада реза, а само сечење је споро.

Узорак 5 може се окарактерисати као идентичан претходном узорку, изузев тога што је брзина обраде мања.

Узорак 6 је најбржа обрада од испитаних у оквиру струје од 80А. Мало је лошије стање доње стране плоче од узорка са табличном брзином, али додатна обрада је потребна исто колико и за узорак 4, тако да се овај узорак може сматрати бољим.



Слика 96 - Узорак 4 – 80A – 610 mm/min



Слика 97 - Узорак 5 – 80A – 490 mm/min



Слика 98 - Узорак 6 – 80A – 730 mm/min

Material Thickness	Gas Pressure (Air)	Arc Voltage	Torch Working Height	Travel Speed	Initial Piercing Height	Pierce Delay	Kerf Width @ Rec. Speed
(mm)	Bar (torch lead length)	Volts	(mm)	(mm/min)	(mm)	(sec)	(mm)
6	5.2 (7.6m) 5.2 (15.2m)	110	4.6	2200	5.1	0.10	2.3
8		111	4.6	2030	5.1	0.10	2.3
10		112	4.6	1790	5.1	0.20	2.3
12		114	4.6	1310	5.1	0.40	2.5
15		117	4.6	870	5.1	0.60	2.7
20		120	4.6	490	5.0	1.20	3.0
25		123	4.6	390	Edge Start		3.0
30		127	4.6	250	Edge Start		3.2

BOLD TYPE indicates maximum piercing parameters. **BOLD ITALIC** indicates edge starts only.

Табела 7 – Параметри сечења јачином струје 100А

На слици 99 приказан је узорак који је сечен јачином струје од 100А и брзином од 870mm/min, што је таблични параметар. Квалитет реза може се окарактерисати као солидан. Има отпадних честица са доње стране, али не у великој мери. Потребна је додатна обрада реза, а само сечење је споро.

Узорак на слици 100 је спорија обрада за 20%, али и сам рез је бољи. Потребна је знатно мања додатна обрада. Може се сматрати да је укупна оцена на истом нивоу као и узорак 7.

Узорак 8 има исти квалитет као узорак 6, а брзину 20% већу. Дакле најбоља комбинација до сада.



Слика 99 - Узорак 7 – 100A – 870 mm/min



Слика 100 - Узорак 8 – 100A – 695 mm/min



Слика 101 - Узорак 9 – 100A – 1055 mm/min

Material Thickness	Gas Pressure (Air)	Arc Voltage	Torch Working Height	Travel Speed	Initial Piercing Height	Pierce Delay	Kerf Width @ Rec. Speed
(mm)	Bar (torch lead length)	Volts	(mm)	(mm/min)	(mm)	(sec)	(mm)
6.0	5.5 (7.6m) 5.5 (15.2m)	133	4.8	3990	6.4	0.1	2.5
8.0		138	4.8	2950	6.4	0.2	2.7
10.0		141	4.8	2100	6.4	0.4	2.8
12.0		141	4.8	1860	6.4	0.6	2.9
15.0		145	4.8	1320	6.4	1.0	3.0
20.0		153	4.8	720	6.4	1.2	3.2
25.0		163	6.4	500	Edge Start		3.6
30.0		167	6.4	355	Edge Start		3.8
35.0		170	6.4	255	Edge Start		4.0
40.0		173	6.4	175	Edge Start		4.2

BOLD TYPE indicates maximum piercing parameters. **BOLD ITALIC** indicates edge starts only.

Табела 8 – Параметри сечења јачином струје 120А

На слици 102 приказан је узорак који је сечен јачином струје од 120А и брзином од 1320 mm/min, што је таблични параметар. Квалитет реза може се окарактерисати као веома добар.

Узорак 11 је идентичног квалитета као и узорак 10, али је поступак 20% спорији.

Узорак 12 је такође веома доброг квалитета и представља најбржи поступак од свих 12 узорака, тако да се сматра најбољом комбинацијом параметара.



Слика 102 - Узорак 10 – 120A – 1320 mm/min



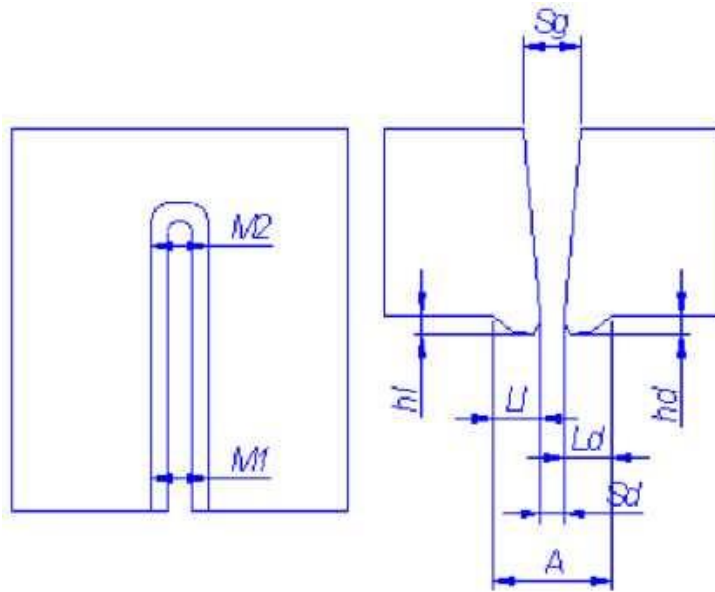
Слика 103 - Узорак 11 – 120A – 1055 mm/min



Слика 104 - Узорак 12 – 120A – 1585 mm/min

Након визуелног поређења извршена су мерења карактеристичних величина узорака, у која спадају:

- површинска храпавост R_a , мерена уређајем „Талисурф 6“, на различитим местима на површини реза (слика 105)
 - близу горње ивице (g)
 - у средини (s)
 - близу доње ивице (d)
- ширина реза, мерена на два места M1 и M2 (слика 106)
- димензије растопљеног метала на доњој површини реза (слика 106)



Слика 105 – Мерење ширине реза и растопљеног метала на доњој ивици



Слика 106 – Мерење у три тачке

Узорци	A	mm/ min	Мерне тачке	Ra, nm	sg1, mm	sg2, mm	sd1, mm	sd2, mm	hl, mm	hd, mm	A, mm	H, mm	ld, mm	Напомена
1	60	530	g	12,4	2,29	2,06	1,25	1	5,11	5,11	7,18	-	-	Много шљаке, спојена са доње стране
			s	21,3										
			d	40,4										
2	60	425	g	10,5	2,21	2,06	1,3	1,1	4,78	4,78	7,12	2,5	2,9	Много шљаке, спојена са доње стране
			s	17										
			d	30,7										
3	60	635				1,78	1,92	радни комад није пробијен						
4	80	610	g	15,2	2,49	2,4	1,36	1,39	0,95	0,77	4,97	2,61	1,45	Рез добар, мало шљаке
			s	35,8										
			d	23										
5	80	490	g	17,5	2,6	2,51	1,61	1,6	1,05	0,5	5,63	3,23	0,74	Рез добар, мало шљаке
			s	29,4										
			d	26,6										
6	80	730	g	14,1	2,28	2,33	1,18	1,17	2,23	1,43	6,64	3,78	3,19	Много шљаке
			s	24,3										
			d	24,7										
7	100	870	g	12,4	2,42	2,48	1,39	1,34	0,93	0,85	7,29	3,29	2,53	Рез добар, додатна обрада
			s	8,8										
			d	13										
8	100	695	g	13	2,52	2,56	1,5	1,59	0,64	1,16	5,21	2,32	1,89	Рез добар, мало шљаке
			s	13										
			d	9,8										
9	100	1055	g	12	2,39	2,34	1,28	1,18	0,93	0,8	8,4	5,01	1,94	Рез добар, додатна обрада
			s	12,4										
			d	10,1										
10	120	1320	g	10,8	2,6	2,49	1,39	1,19	не по- стој	0,66	3,24	не по- стој	3,24	Рез одличан
			s	9,9										
			d	12,9										
11	120	1055	g	10,3	2,68	2,6	1,48	1,42	0,52	не по- стој	3,07	3,07	не по- стој	Рез одличан
			s	11										
			d											
12	120	1585	g	8,3	2,48	2,3	1,07	0,98	не постоји					Рез добар, мало одступање
			s	10,1										
			d	9,8										

Табела 9 – Измерене вредности

На основу упоређивања свих 12 узорак изведен је закључак да су узорци 10, 11 и 12 идентично веома доброг квалитета, а узорак 12 је сечен највећом брзином, па се сматра за најбољу комбинацију јачине струје и брзине сечења. Дакле 120А, 1585mm/min, што је 120% од табличне вредности брзине.

4.3. Експеримент променљивих висина сечења и брзина сечења, при константним осталим параметрима

У приказаном експерименту извршено је сечење плазмом различитим висинама сечења и брзинама сечења. Направљено је 6 узорак на којима ће визуелно да се процени квалитет реза. Сечен је челичан плочаст материјал дебљине 15 mm. Коришћене су висине сечења 10% веће и 10% мање од табличних вредности у комбинацији са брзинама сечења табличним, 20% мањим и 20% већим (Табела 10).

Р. Б. УЗОРКА	ВИСИНЕ СЕЧЕЊА	БРЗИНА СЕЧЕЊА
13	5,28 mm (110%)	530 mm/min (100%)
14	5,28 mm (110%)	425 mm/min (80%)
15	5,28 mm (110%)	635 mm/min (120%)
16	4,32 mm (90%)	530 mm/min (100%)
17	4,32 mm (90%)	425 mm/min (80%)
18	4,32 mm (90%)	635 mm/min (120%)

Табела 10 – Опис различитих параметара узорак

На следећим сликама приказани су узорци сечења. Након контроле квалитета реза извешће се закључак о најпогоднијој комбинацији параметара.

На слици 107 приказан је узорак којем је висина сечења 110% од табличне (5,28 mm) и брзина 530mm/min, што је таблични параметар. Квалитет реза може се окарактерисати као прихватљив за област грубе обраде. Рез не одступа од предвиђене геометрије у великој мери, али постоје насlage отпадног материјала на доњој страни плоче. Дакле неопходна је додатна обрада реза, а само сечење је прихватљиве брзине. У поређењу са узорком 1 из претходног експеримента (који има табличну вредност висине сечења), може се закључити да сечење висином 10% већом од табличне даје знатно боље резултате него сечење препорученом висином.

За узорак 14 (слика 108) може се рећи да је истих карактеристика као узорак 13, осим што је брзина 20% мања, дакле обрада је спорија и та комбинација параметара је лошија варијанта од претходне.

Узорак 15 такође има исте карактеристике квалитета, а највећу брзину, па се сматра најбољим узорком у оквиру висине од 110%.



Слика 107 – Узорак 13 – 5,28 mm – 530 mm/min



Слика 108 – Узорак 14 – 5,28 mm – 425 mm/min



Слика 109 – Узорак 15 – 5,28 mm – 635 mm/min

На слици 110 приказан је узорак којем је висина сечења 90% од табличне (4,32 mm) и брзина 530mm/min, што је таблични параметар. Квалитет реза може се окарактерисати као лош. Рез на горњој страни не одступа од предвиђене геометрије у великој мери, али је видљиво ужи на доњој страни. Такође се осе реза са доње и горње стране не поклапају, што значи да се јавља закошење. Самим тим и мере узорка не задовољавају одређен степен тачности. Постоје насlage отпадног материјала на доњој страни плоче. Дакле неопходна је додатна обрада реза, а само сечење је прихватљиве брзине.

За узорак 17 (слика 111) може се рећи да је истих карактеристика као узорак 16, осим што је брзина 20% мања, дакле обрада је спорија и та комбинација параметара је лошија варијанта од претходне.

Узорак 18 такође има исте карактеристике квалитета, а највећу брзину, па се сматра најбољим узорком у оквиру висине од 90%.

У овом тесту можемо приметити да варијације брзине немају видљив утицај на квалитет реза. Сви узорци овог експеримента су сечени струјом од 60 А. Најбољи узорак је узорак број 15, јер има најквалитетнији рез, при висини од 110% и брзини од 120%. Резултат брзине потврђује и претходни тест.



Слика 110 – Узорак 16 – 4,32 mm – 530 mm/min



Слика 111 – Узорак 17 – 4,32 mm – 425 mm/min



Слика 112 – Узорак 18 – 4,32 mm – 635 mm/min

4.4. Експеримент променљивих нивоа похабаности дизне и брзина сечења, при константним осталим параметрима

У приказаном експерименту извршено је сечење плазмом дизнама различитих нивоа похабаности и брзинама сечења. Направљено је 9 узорак на којима ће визуелно да се процени квалитет реза. Сечен је челичан плочаст материјал дебљине 15 mm. Коришћене су дизне 3 нивоа похабаности у комбинацији са табличним, 20% мањим и 20% већим брзинама (Табела 11).

Р. Б. УЗОРКА	НИВО ПОХАБАНОСТИ	БРЗИНА СЕЧЕЊА
19	I	530 mm/min
20	I	425 mm/min
21	I	635 mm/min
22	II	530 mm/min
23	II	425 mm/min
24	II	635 mm/min
25	III	530 mm/min
26	III	425 mm/min
27	III	635 mm/min

Табела 11 – Опис различитих параметара узорак

Дизна I нивоа похабаности има 110 пробијања и 24 m реза (слика 113).

Дизна II нивоа похабаности има 215 пробијања и 48 m реза (слика 114).

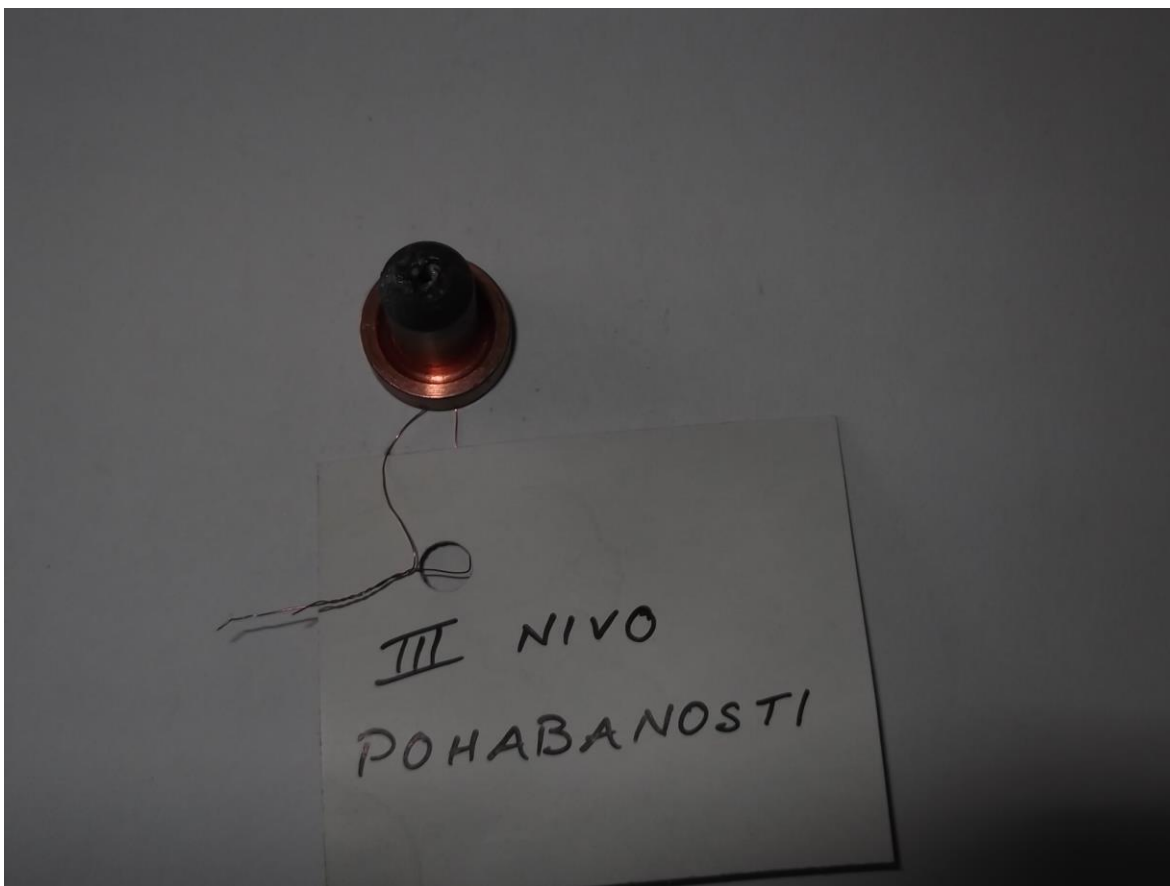
Дизна III нивоа похабаности има 320 пробијања и 74 m реза (слика 115).



Слика 113 – Дизна I нивоа похабаности



Слика 114 – Дизна II нивоа похабаности



Слика 115 – Дизна III нивоа похабаности

На следећим сликама приказани су узорци сечења. Након контроле квалитета реза извешће се закључак о најпогоднијој комбинацији параметара.

На слици 116 приказан је узорак сечен дизном I нивоа похабаности и брзином 530mm/min, што је таблични параметар. Квалитет реза може се охарактерисати као врло лош. Рез неприхватљиво одступа од предвиђене геометрије у великој мери и постоје насlage отпадног материјала на доњој страни плоче. Дакле не може се користити за комаде мање толеранције од $\pm 5\text{mm}$.

За узорак 20 (слика 117) може се рећи да је још лошијих карактеристика него узорак 19, због знатно веће насlage отпадног материјала са доње стране и брзина је 20% мања.

Узорак 21 има исте карактеристике квалитета као узорак 19, а највећу брзину, па се сматра најбољим узорком у оквиру сечења дизном I нивоа похабаности.



Слика 116 – Узорак 19 - диза I нивоа похабаности - 530 mm/min



Слика 117 – Узорак 20 - диза I нивоа похабаности - 425 mm/min



Слика 118 – Узорак – 21 диза I нивоа похабаности - 635 mm/min

На слици 119 приказан је узорак сечен дизном II нивоа похабаности и брзином 530mm/min, што је таблични параметар. Квалитет реза може се окарактерисати као још лошији од сечења дизном I нивоа похабаности. Рез неприхватљиво одступа од предвиђене геометрије у великој мери и постоје насlage отпадног материјала на доњој страни плоче. Горња страна реза је шира од предвиђене, а доња ужа. Осе реза са доње и горње стране се не поклапају и велико је одступање тачности. Дакле не може се користити за комаде мање толеранције од $\pm 5\text{mm}$.

За узорак 23 (слика 120) може се рећи да је истих карактеристика као узорак 22, осим што је брзина је 20% мања, па је та комбинација неповољнија.

Узорак 24 има највећу брзину, али најлошије геометријске карактеристике. Осим свих мана које има узорак 22, узорак 24 има и деформисан правац реза.

Дакле, најповољнија комбинација у оквиру II нивоа похабаности је узорак 22.

На слици 122 приказан је узорак сечен дизном III нивоа похабаности и брзином 530mm/min, што је таблични параметар. Квалитет реза је изненађујуће добар. Јавља се мала количина отпадног материјала са доње стране и мало закошење једне стране реза, али овај узорак представља набољи рез у експерименту. За узрок оваког резултата може да се разматра присуство фактора утицаја, на које не утиче оператер, а неки од њих су варијације јачине струје, варијације квалитета ваздуха, варијације притиска ваздуха, итд...

За узорак 26 (слика 123) може се рећи да је истих карактеристика као узорак 25, осим што је брзина је 20% мања, па је та комбинација неповољнија.

Узорак 27 открива нестабилност квалитета који имају узорци 25 и 26. Геометрија и правац реза су неприхватљиви, а ова комбинација није у стању ни да пробије материјал целом дужином реза. Дакле, то је потврда да је за изненађујуће добар резултат претходна два узорка задужена тренутна аномалија неконтролисаних фактора утицаја при сечењу. Највероватније се ради о тренутном повећању јачине струје, које настаје услед дејства спољних фактора.

Због утицаја спољних фактора не можемо да констатујемо која брзина је најадекватнија за сечење дизном III нивоа похабаности, али са сигурношћу можемо да кажемо да је квалитет нестабилан и да овакве дизне не треба користити.

Као закључак целог експеримента, може се рећи да све дизне које имају више од 110 пробијања и 24 m реза (што су карактеристике I нивоа похабаности) нису адекватне за прецизна сечења. Цео експеримент је одрађен јачином струје 60A и висином сечења 4,8mm.

Након визуелног поређења вршена су мерења карактеристичних величина узорака, као и код првог експеримента (слика 105), а измерене вредности дате су у табели 12.



Слика 119 – Узорак – 22 диза II нивоа похабаности - 530 mm/min



Слика 120 – Узорак – 23 дизна II нивоа похабаности - 425 mm/min



Слика 121 – Узорак – 24 дизна II нивоа похабаности - 635 mm/min



Слика 122 – Узорак – 25 димензија III нивоа похабаности - 530 mm/min



Слика 123 – Узорак – 26 диза III нивоа похабаности - 425 mm/min



Слика 124 – Узорак – 27 диза III нивоа похабаности - 635 mm/min

Уз.	A	mm/ min	sg1	sg2	sd1	sd2	hl	hd	A	ll	ld	Напомена
13	60	530	2.84	3.04	1.59	1.83	1.44	2.35	11.64	3.90	6.43	Лоша површина, много шљаке
14	60	425	2.98	3.06	1.71	2.11	0.5	1.81	7.75	2.17	4.11	Лоша површина, много шљаке
15	60	635	2.83	2.59	1.37	1.69	1.27	1.72	14.70	4.0	8.85	Лоша површина, много шљаке
16	60	530	2.77	2.34	1.33	1.88	1.37	0.90	8.31	3.55	3.96	Почетак реза узан, има шљаке
17	60	425	2.96	3.27	1.93	1.96	0.2	1.40	8.13	0.6	5.88	Изражена шљака на левој страни
18	60	635	2.47	2.88	1.37	1.64	1.23	1.47	9.46	5.27	3.5	Лоша површина, много шљаке
19	60	530	2.51	2.62	1.85	2.03	1.74	0.38	9.63	7.08	1.36	Изражена шљака на левој страни
20	60	425	2.68	2.69	2.31	2.12	7.01	0.37	11.74	8.12	1.36	Изражена шљака на левој страни
21	60	635	2.15	2.44	1.53	1.70	2.41	1.03	14.41	10.5	3.01	Изражена шљака на левој страни
22	60	530	3.50	3.40	1.48	1.71	1.19	1.25	8.10	2.15	4.51	Много шљаке између ивица
23	60	425	3.11	3.86	1.46	1.90	1.53	1.14	8.76	3.40	3.96	Лоша површина, много шљаке

24	60	635	3.70	3.24	1.38	1.52	0.88	1.35	8.43	3.23	5.19	Рез лош, скренуо у десно
25	60	530	2.85	2.84	1.57	1.91	1.31	1.05	8.63	3.63	3.67	Лоша површина, много шљаке
26	60	425	2.71	3.0	1.53	1.81	2.27	1.52	11.6	4.87	4.75	Лоша површина, много шљаке
27	60	635	3.0	2.55	1.32	1.63	1.63	1.56	8.45	3.11	4.67	Није прогорео на почетку

Табела 12 – Резултати мерења

5. ЗАКЉУЧЦИ

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 ЦНЦ 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, ЦАД софтверима и лако су доступни.

Аутоматизација је, путем ЦНЦ 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 ЦНЦ 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.

ЦНЦ 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 јачина струје и брзина сечења), анализом свих 12 узорак, може се закључити да је квалитетно сечење могуће и при брзини од 120% од табличне вредности. Већом брзином се осим краћег трајања процеса, добија и дужи радни век дизне и електроде за сечење, јер су ови елементи краће време изложени директном утицају високе температуре.

Из другог експеримента (експеримент променљивих висина сечења и брзина сечења), анализом 6 узорак, изводи се закључак да је најбољи рез остварен при висини сечења од 110% од табличне. Већа висина сечења такође има за резултат дужи радни век

потрошних елемената, јер су они, у овом случају, 10% удаљенији од тачке сечења, где је температура највиша.

Из ова два истраживања види се да су препоруке произвођача врло „пристрасно“ одређене. Јасно је да је присутан циљ произвођача да се потрошним елементима скрати век трајања, а да притом и даље одају утисак квалитета опреме и сечења. Ово је комерцијални фактор који је мање или више присутан на свим пољима и код свих произвођача, па је увек пожељно извршити додатна испитивања.

Трећи експеримент (експеримент променљивих нивоа похабаности дизни и брзина сечења) значајан је јер открива утицај аномалија, које се јављају услед дејства спољних фактора, на које је немогуће утицати или предвидети их. Они могу да имају утицај побољшања, као и погоршања квалитета сечења. Ови утицају се никако не могу у потпуности избећи, али је могуће довести их на минималан ниво. То се постиже свим активностима у смеру обезбеђења максималног квалитета компресованог ваздуха, пнеуматске и електро инсталације.

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] Питер Скарзински, Роуан Гипсон – „Иновација пре свега“, Финеса, Београд, 2009. ИСБН 978-86-82683-89-6
- [9] Горан Девеџић, Саша Ћуковић, Сузана Петровић, Јелена Максић – „3Д моделирање производа, методичка збирка задатака“, Машински факултет у Крагујевцу, 2009. ИСБН 978-86-86663-45-0
- [10] Вера Николић – „Машински елементи“, Машински факултет у Крагујевцу, 2004. ИСБН 86-80581-62-3
- [11] Светислав Јовичић – „Основи конструисања“, Машински факултет у Крагујевцу, 2002. ИСБН 86-80581-50-X
- [12] http://cnc-srbijaportal.net/index.php?option=com_content&task=view&id=45&Itemid=125
- [13] http://www.google.com/imgres?imgurl=http://images.kupujemprodajem.com/photos/oqlasi/9/89/439689/big-39689_1.JPG&imgrefurl=http://www.kupujemprodajem.com/NC-glodalica-439689-oqlas.htm&usq=__CSngSTwZx79hmBXHwykGIYsD1Ys=&h=412&w=550&sz=50&hl=sr&start=120&sig2=6ZIWvN74BM59I63gPdVodA&zoom=1&tbnid=8Dw9e7pezwG5GM:&tbnh=145&tbnw=201&ei=UPr8Tf65IofCswbL5PjwDQ&prev=/search%3Fq%3DNC%2Bmasina%26hl%3DSr%26biw%3D1024%26bih%3D643%26gbv%3D2%26tbnm%3Disch&itbs=1&iact=hc&vpx=336&vpy=245&dur=674&hovh=145&hovw=201&tx=115&ty=114&page=10&ndsp=12&ved=1t:429,r:9,s:120&biw=1024&bih=643

ЗАХВАЛНОСТ:

- Ментору, Проф. др Богдану Недићу,
- Предузећу „ФЕРОХАЛ“ доо