

**Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Неконвенционални поступци обраде

Број индекса: 360/2015

Марко М. Карић

**УТИЦАЈ ПОХАБАНОСТИ ГОРИОНИКА И БРЗИНЕ СЕЧЕЊА НА КВАЛИТЕТ
ОБРАЂЕНЕ ПОВРШИНЕ КОД СЕЧЕЊА ПЛАЗМОМ У ФИРМИ "ATENIS
COMMERCE" У ЧАЧКУ**

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **др Богдан Недић, ред. проф.**
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 „Atenic commerce“ и да изврши експериментална испитивања. У посебном делу рада потребно је извршити израду узорака у различитим условима и мерења квалитета обраде.

Мастер рад треба да садржи:

1. Уводна разматрања,
2. Теоријска анализа процеса обраде плазмом,
3. Преглед и анализа поступка обраде плазмом,
4. Преглед и анализа опреме за обраду плазмом,
5. Експериментална испитивања,
6. Закључци,
7. Литература.

Крагујевац, новембар, 2017. године

Ментор:

Проф. др Богдан Недић

РЕЗИМЕ

Плазма луком се могу сећи било који материјали велике дебљине, уз формирање реза различитих 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 при коришћењу различито пхабаних елемената горионика.

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 in the use different burnt elements of the burner.

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

САДРЖАЈ

1. УВОД	5
2. ОБРАДА ПЛАЗМОМ.....	1
2.1 Историјски развој.....	4
3. " HYPERTHERM 260A" CNC МАШИНА ЗА СЕЧЕЊЕ ПЛАЗМОМ.....	6
2.2 Опис техничког система.....	6
2.3 Програмирање CNC машине за обраду плазмом.....	13
2.4 Операција сечења.....	22
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА	33
4.1 План испитивања	34
4.2 Узорци 1.1, 1.2 и 1.3.....	36
4.3 Узорци 2.1, 2.2 и 2.3.....	40
4.4 Узорци 3.1, 3.2 и 3.3.....	46
4.5 Узорци 4.1, 4.2 и 4.3.....	51
4.6 Узорци 5.1, 5.2 и 5.3.....	56
4.7 Узорци 6.1, 6.2 и 6.3.....	61
4.8 Узорци 7.1, 7.2 и 7.3.....	66
5. ЗАКЉУЧАК	72
6. ЛИТЕРАТУРА.....	73

1. УВОД

Техничко-технолошки напредак и константно развијање великог броја различитих техника као што су авионска, нуклеарна, рачунарска и друге технике, довео је до незаустварног развоја производње и примене новијих 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 сличне појаве.

Класичним поступцима обраде је знатно теже обрађивати новије материјале а често је то и немогуће, па се из тог разлога паралелно развијају, усавршавају и уводе нови прогресивни поступци обраде веће продуктивности и економичности обраде метала.

Константан развој нових и усавршавање постојећих поступака обраде условио је појаву великог броја различитих поступака разврстаних у две основне групе као што су поступци механичке обраде (обрада метала резањем и деформисањем) и неконвенционални поступци обраде (основни и комбиновани) са и без уклањања вишка материјала [1].

Што се поступака механичке обраде тиче, читава технологија се бави проучавањем проблематике израде и обликовања готових делова механичким путем односно деловањем алата на предмет обраде [1].

Поступци механичке обраде се деле на:

- Поступке са уклањањем вишка материјала (са скидањем струготине) и
- Без уклањања вишка материјала (без скидања струготине).

Обрада без скидања струготине обезбеђује обраду и обликовање без или са незнатним уклањањем вишка материјала.

То су поступци:

- Обраде ливењем ;
- Обраде спајањем ;
- Обраде деформисањем.

Обрада са скидањем струготине подразумева поступке обраде код којих се обликовање остварује уклањањем вишка материјала а то су следећи поступци:

- Браварски радови - ручна обрада (сечење, турпијање ...);
- Обрада метала резањем.

Обрада метала резањем је поступак обликовања уклањањем вишка материјала механичким путем алатима, најчешће знатно веће тврдоће од тврдоће материјала предмета обраде.

Основни поступци обраде метала резањем су: стругање, бушење, глодање, тестерисање (одсецање), рендисање, провлачење, брушење и глачање (леповање, суперфиниш, хоновање и полирање) [1].

Ови поступци се међусобно разликују по геометријском облику резних алата и кретањима при обрди. Систем за обраду резањем чине радни предмет, резни алат, машина алатка и прибор. Главно кретање код ових поступака обраде може бити кружно или праволинијско и њиме се директно обезбеђује образовање струготине, док помоћно кретање такође може бити кружно и праволинијско и њиме се обезбеђује да се процес образовања струготине одвија континуално.

Негативни утицаји механичких поступака обраде на животну и радну средину огледају се у виду буке и вибрација, стварању струготине и честичне прашине односно продуката обраде као и примена средстава за хлађење и подмазивање и других испарљивих материја.

Као неке од заштитних мера за решавање ових недостатака могу се навести примена склоништа као заштита од буке, постављање машина на одговарајуће ослоње, измена конструкције машина, аутоматизација процеса, коришћење мање штетних средстава за подмазивање на бази биљака или водених раствора итд.

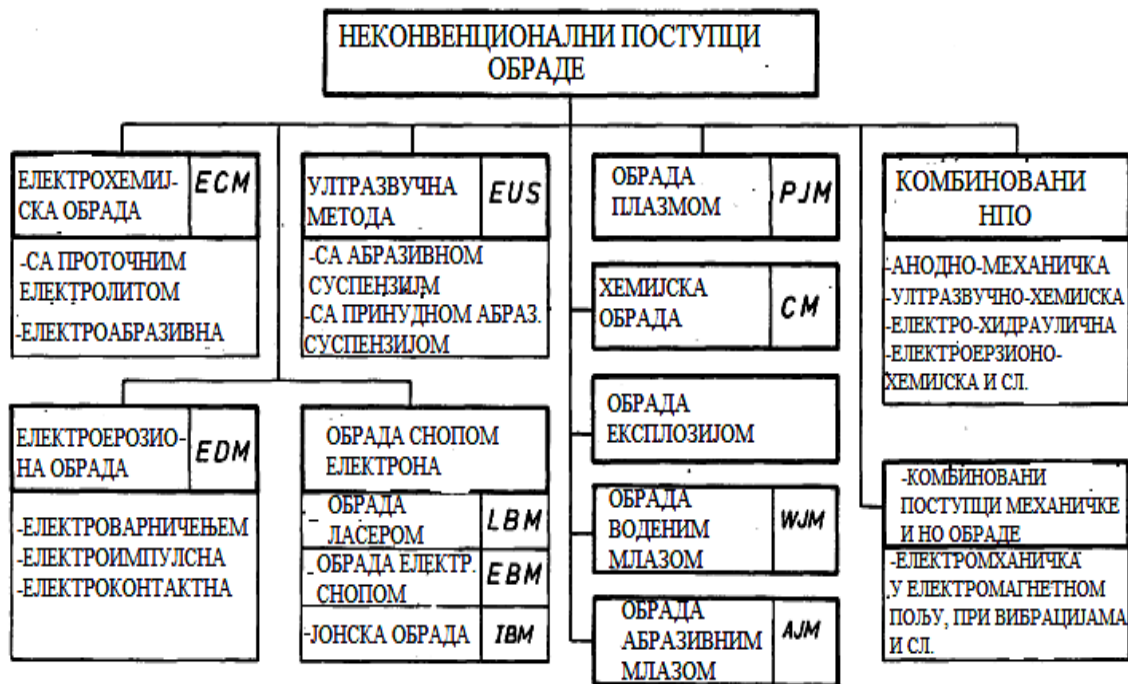
Неконвенционални поступци обраде - НПО су поступци обликовања уклањањем вишка материјала различитим физичко-хемијским механизмима, коришћењем електричне, хемијске, светлосне, магнетне и других видова енергије [2].

Најчешће се неконвенционални поступци разврставају према врсти енергије и типу уклањања вишка материјала па тако имамо поделу на следеће поступке:

- 1) Обрада ласером (LBM);
- 2) Обрада плазмом (PJM);
- 3) Обрада воденим млазом (WJM);
- 4) Обрада абразивним млазом (AJM);
- 5) Електрохемијска обрада (ECM);
- 6) Електроерозиона обрада (EDM);
- 7) Ултразвучна обрада (EUS);

- 8) Обрада електронским снопом (EBM) ;
- 9) Хемијска обрада (CM) ;
- 10) Обрада експлозијом ;
- 11) Електромеханичка обрада ;
- 12) Анодномеханичке обраде ;
- 13) Електрохидрауличне обраде ;
- 14) Обраде у елетромагнетном пољу ;
- 15) Комбиновани поступци обраде.

Доста сложенија и прецизнија подела неконвенционалних поступака обраде дата је на слици 1.1.



Слика 1.1 Једна од подела неконвенционалних поступака обраде [2]

Када бисмо направили паралелу између конвенционалних и неконвенционалних поступака обраде, могли бисмо да издвојимо велики број предности које неконвенционални поступци имају у односу на старије поступке обраде.

Неке од најважнијих предности су следеће:

- Одсуство потребе за постојањем алата веће тврдоће од тврдоће материјала обрадка ;
- Могућност обраде изузетно сложених површина ;

- Могућност обраде тешкообрадљивих материјала ;
- Практично нема контакта и механичких сила између алата и обратка ;
- Независност квалитета обрађене површине и производности од механичких својстава материјала обратка (тврдоћа, жилавост, ..) ;
- Значајно је смањење одстрањеног материјала у односу на конвенционалне поступке обраде итд. [2].

Такође, ови поступци обраде имају и своје мане а неке од најбитнијих су:

- Релативно мала производност у односу на конвенционалне поступке обраде ;
- Висок утрошак енергије по јединици запремине ;
- Висока цена машина на којима врши обрада [2].

Као и код конвенционалних поступака, и неконвенционални поступци обраде имају негативан утицај на животну и радну средину који се огледа у манипулацији са опасним материјама, опасном зрачењу углавном за очи, испарењима елемената материјала који се обрађује (појава паре и гасова), у појави буке и вибрација, појави металних честица и металне прашине, као и појави високих температура у процесу обраде.

Заштитне мере за смањење негативних утицаја код ових поступака су доследно придржавање сигурносних прописа, примена заштитних помоћних средстава, аутоматизација и роботизација процеса обраде итд.

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 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 [2].

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 ТНС уређајем који пружа могућност кретања по Z-оси, и на тај начин обезбеђује аутоматску калибрацију висине горионика приликом сечења чиме се елиминише проблем неравних табли.

У другом поглављу рада описан је историјски развој плазма поступка обраде, подврсте и принцип рада плазме. Описан је принцип рада машине за сечење плазмом и описана је суштина процеса.

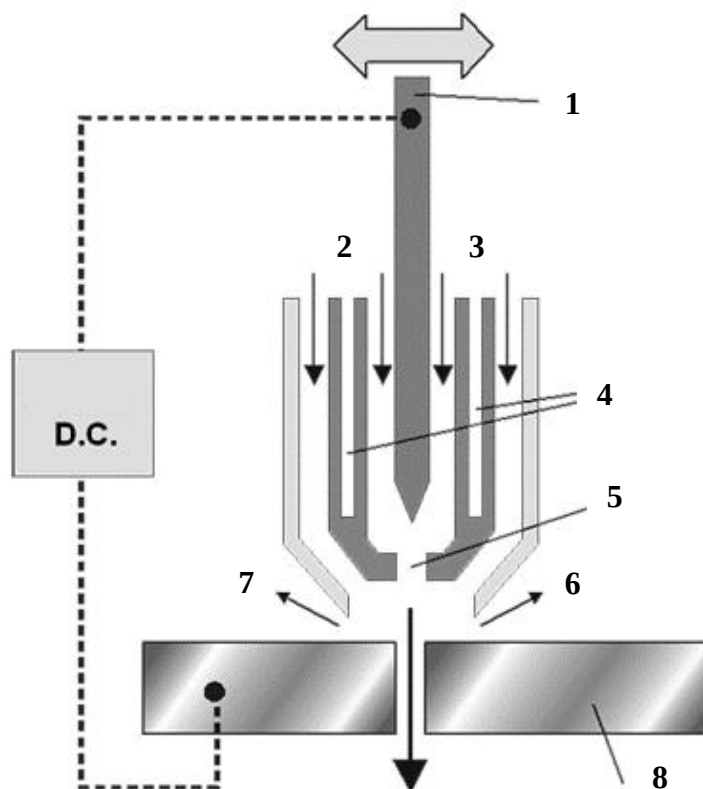
У трећем поглављу рада детаљно је описан поступак програмирања машине, дат је приказ најбитнијих делова машине, описан поступак замене електроде и сечења CNC- плазма машином.

У четвртном поглављу рада приказано је испитивање утицаја похабаности горионика и брзине резања на квалитет обрађене површине код сечења плазмом. Испитивање је вршено са седам горионика различитих нивоа похабаности и са различитим оштећењима. Сечење, сваким од горионика, је изведено у три различите брзине, које су узете процентуално од препоручене вредности која је износила 1900 милиметара у минути, сечење је вршено са 60%, 80% и 100% препоручене вредности. За сваки узорак су дате фотографије из више углова као и дијаграми за утицај задатих параметара на средње аритметичко одступање од средње линије профила, за максималну висину неравнина, као и утицај задатих параметара на дебљину треске.

У петом поглављу су приказани закључци и резултати свих испитивања спроведених током овог рада.

2. ОБРАДА ПЛАЗМОМ

Обрада плазмом се у савременим производним условима користи за реализацију производних операција које захтевају високу концентрацију топлотне енергије. То су процеси топљења, заваривања, сечења метала и неметала, наношење превлака отпорних на хабање, како на металне тако и на неметалне површине, итд. Плазма је у суштини свака материја загрејана на високу температуру довољну да се претвори у јонизовано гасно стање (четврто агрегатно стање). У таквом стању материја се понаша по законима карактеристичним за нормалне гасове, а њене основне карактеристике су: веома висока температура појединих зона, енергетска нестабилност, електропроводљивост, врло велика брзина кретања честица које сачињавају плазму итд. За обраду метала односно за наведене производне операције користе се тзв. „ниско-температурне“ плазме, са температуром појединих зона од 1000-100000 К, плазме које представљају делимично јонизовани гас [2].



Слика 2.1 Шема процеса формирања плазме: 1- електрода, 2 и 3- заштитни гас, 4- водено хлађење, 5- отвор за лак, 6 и 7- заштитни гас, 8- радни комад [3]

Плазма се састоји од позитивно и негативно наелектрисаних честица (јона и анјона). Пропуштањем плазма гасова (аргон, водоник, кисеоник и сл.) преко електричног лука (слика 2.21), створеног између аноде и катоде, формира се плазма. Тако формирана материја садржи молекуле, атоме, јоне, електроне и квантне светлости. У 1 cm^3 плазме налази се око 10^9 - 10^{10} наелектрисаних честица. Јонизација је

результат губитка једног или више електрона из спољашње љуске атома плазма гасова. Губитак настаје као резултат дејства спољашњих сила изазваних високом температуром или јаким електричним пољем. То значи да плазма може бити лучна или високо-фреквентна. За процес прераде метала посебно је значајна лучна плазма [2].

Лучно пражњење односно формирање електрона плазме може бити зависно и независно. Код зависног пражњења електрични лук настаје између електроде и предмета обраде, а код независних унутар плазма уређаја, између аноде и катоде. У условима зависног пражњења предмету обраде се предаје знатно већа количина топлоте, што је посебно значајно код производних операција које захтевају одговарајуће загревање предмета обраде. Независни лук обезбеђује за 30% веће температуре лука плазме, али је интензитет топлотног флуksа нижи и до 70% [2].

Појава високих температура у плазма луку, уз велику брзину кретања честица у струји плазме, омогућује извођење низа производних операција као што су: стругање, сечење метала и неметала, израда делова различитих конфигурација од материјала у виду прага, топљење метала и сл. Под дејством високих температура плазме долази до топљења, а често и до испаравања материјала. Уклањањем растопљеног метала створени су услови за извођење одговарајућих операција.

Плазма лук са одговарајућим системом механизације и аутоматизације обезбеђује сечење материјала велике дебљине, формирање реза било које конфигурације, сечење било којих материјала, високу производност, која не зависи од механичких особина материјала итд. Плазма поступком је могуће сечење материјала дебљине и до 250-300 mm, а разликују се два основна поступка: раздвајање и површинско сечење. У основи процеса сечења је локално топљење метала и уклањање растопљеног материјала под дејством хидродинамичких сила формираних струјом плазме. Сам режим обраде одређен је јачином и напоном електричне струје, снагом лука плазме, врстом и потрошњом плазма гаса, дебљином материјала, пречником отвора млазнице и другим факторима.

Као плазма-радни гасови користе се: аргон, азот, хелијум, водоник, смеша водоника и аргона, азота и водоника, азота и кисеоника, азота и 10-30% водоника за сечење легираних челика, азота и до 50% водоника за сечење алуминијума и легура алуминијума, затим угљендиоксид, хелијум, аргон, смеша хелијума и 7% водоника, аргона и 7% водоника за заваривање и сл.

Плазмом се могу сећи било који материјал велике дебљине, уз формирање реза било које конфигурације и уз високу производност која не зависи од механичких особина материјала, могуће је сећи материјал дебљине 250 - 300 mm (слика 2.22).



Слика 2.2 Сечење плазмом [4]

Плазма се користи за извођење читавог низа производних операција од којих су најважније:

- Сечење плазмом,
- Заваривање плазмом,
- Наношење тврних превлака,
- Ливење применом плазме,
- Обрада резањем уз помоћ плазме и
- Израда делова плазма технологијом.

На слици 2.23 приказана је машина за обраду плазмом.

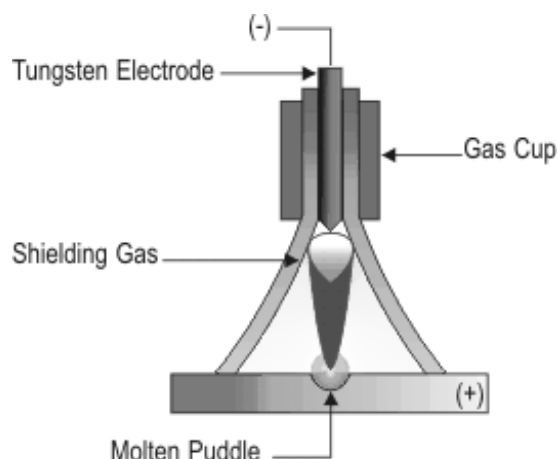


Слика 2.3 Машина за обраду плазмом [5]

2.1 Историјски развој

У Сједињеним Америчким Државама 1941 год. Настаје нови поступак спајања лаквих 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 Инертан Гас/Тунгстен-Волфрам) поступак.

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.



Слика 2.4 Шема сечења плазмом

Резање плазмом је започело педесетих година прошлог века, да би се од 1957. почео примењивати такозвани суви поступак. Користио је врло скупе мешавине аргона и водоника, које су пролазиле поред волфрамове електроде, и кроз млазницу би се плин сабијао. Волфрамова електрода је била негативна катода, а радни комад је био позитивна анода. Пиштољ за резање се морао поставити што је могуће ближе радном предмету. Недостатак је била појава косих и заобљених ивица реза, због расипања топлотне енергије на врху лука. Обично су се резали лимови до 50 mm.

Од 1962. године се почело са применом лука плазме са дуалним током. Код овог типа резања, додат је секундарни гас око млазнице с плазмом. Секундарни плин је покривао зону резања и побољшавао квалитет и брзину резања, а такође је и хладио млазницу и керамичку заштиту. Обично се за резање користио азот, а секундарни плин је зависио од материјала који се реже, рецимо кисеоник за меке челике, угљен диоксид за нерђајуће челике, затим аргон/водоник за алуминијум итд. Брзина резања је била

боља за меке челике, али не и за нерђајуће челике и алуминијум. Ни квалитет реза није био задовољавајући за све примене.

Од 1965. године се започело резање плазмом с воденом заштитом, која је слична техници с дуалним током, али се уместо заштитног плина користила вода. Изглед реза и век млазнице су побољшани због ефекта хлађења водом.

Од 1977. године се развило резање плазмом испод воде, које користи велике снаге са јачином струје изнад 100 А, које је постало врло популарно. Радни комад се потапао под воду на дубину од 50 до 75 mm, па се онда вршило резање. Предност је била у томе што је смањена бука, елиминисано је стварање дима и бљесак електричног лука је значајно смањен. Недостатак је био смањење брзине резања, немогућност оцене квалитета резања по звуку плазме, као и разлагање воде на водоник и кисеоник. Кисеоник тежи да се спаја с растављеним металом (осим код алуминија и лаких метала), па се стварају метални оксиди. Водоник остаје у води, па се вода мора стално мешати, да не дође до накупљања водоника и малих експлозија у додиру с плазмом.

Од 1985. постоји и поступак резање плазмом с убризгавањем кисеоника. За резање се користи азот, а кисеоник се убризгава на излазу из млазнице. Искључиво се користио за меке челике и нешто је повећао брзине резања. Недостатак је неправилан облик резања и ограничена примена.

Од деведесетих година па до почетка новог миленијума обрада метала плазмом и неконвенционалним поступцима уопште доживела је велики напредак. Данас, савремене производне услове карактерише све шира примена машина за обраду плазмом.

Ту су машине и најновији различити поступци који обезбеђују обраду најтеже обрадивих материјала уз изузетно подизање нивоа продуктивности и економичности као и знатно ширу примену нових материјала, што ће детаљно бити објашњено и обрађено у једном од наредних поглавља овог рада.

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

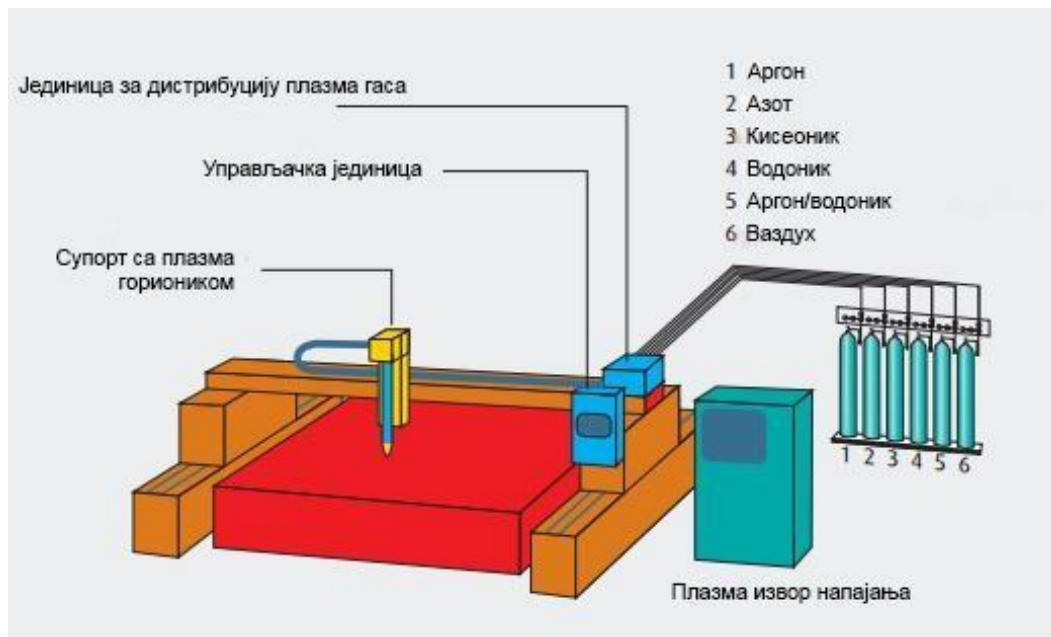
Технички систем "Hypertherm 260A" CNC машина за сечење плазмом у фирми "Atenic commerce" у Ћаčku (Слика 3.1).



Слика 3.1 "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.

2.2 Опис техничког система



Слика 3.2 Структура тенхичког система за плазма сечење [6]

Основни подсклопови приказане машине алатке (слика 3.2):

- радни сто (2000x6000 мм)- Слика 3.3,
- двостране шине за кретање по Х оси,
- попречне шине за кретање по Y оси- Слика 3.4,
- Управљачка јединица са ТНС уређајем- Слика 24,
- Горионик,
- Напајање.



Слика 3.3 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 "Т" 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 комадним таблом и гориоником. На попречном мосту налази се зупчаста летва са зупчаником, и на тај начин омогућено је кретање горионика дуж Y осе (Слика 3.4).



Слика 3.4 Попречна шина за кретање по Y осе

Управљачка јединица -командна табла (Слика 3.5) 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 учитавање, верификација, визуелни приказ програма, подешавање параметара обраде, контрола програма, као и само програмирање једноставнијих облика за сечење.



Слика 3.5 Управљачка јединица

ТНС уређај (Слика 3.6) 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 3.6 ТНС 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 3.7). 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 3.7 "Командна табла за подешавање гасова"

Горионик за сечење (Слика 3.8) 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 3.9), сачињена од следећих компоненти: електроде, керамичког прстена, дизне, капе дизне, штита и капе штита.



Слика 3.8 Горионик за плазма сечење



Слика 3.9 "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.

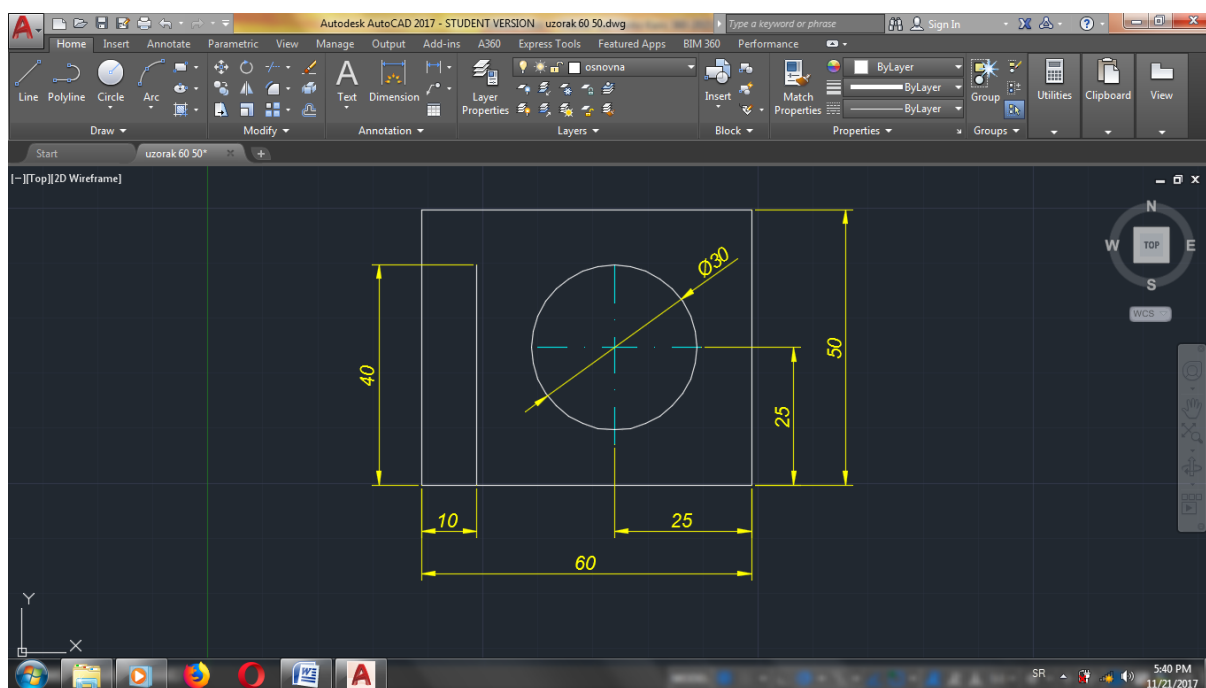
Сечење плазмом је процес који се користи за сечење челика, али и осталих метала користећи плазма пламеник. У овом процесу инертни гас (компресовани ваздух) се издувава кроз мали отвор, док истовремено електрична варница се пошаље кроз гас према површини која се сече, и тај ваздух прелази из гасног у 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 појефтиније се производња због смањења људске радне снаге и појаве шкарта у процесу производње.

2.3 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 3.10). 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 (слика 3.11) од стране произвођача машине.

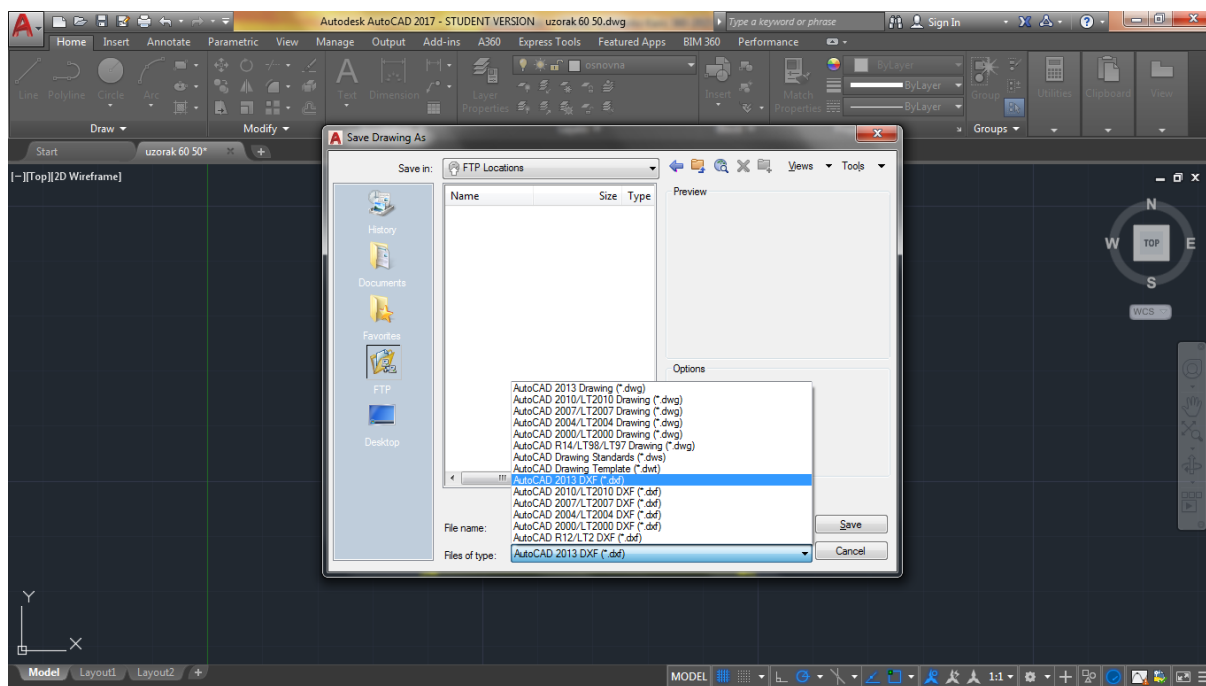


Слика 3.10 Геометрија готовог комада за сечење у "Auto Cad" програму

	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					

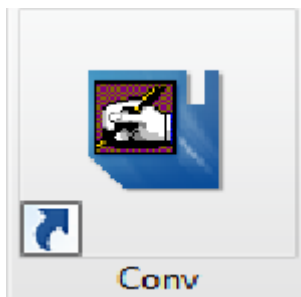
Слика 3.11 – Ширина реза за типичне дебљине резања и одређену амперажу по препоруци произвођача

Након дефинисања геометрије радног комада, у размери 1:1, цртеж се снима у DXF формату (Слика 3.12).



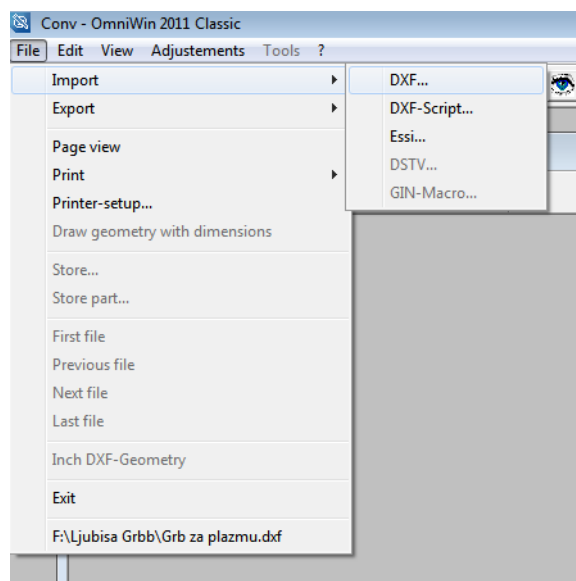
Слика 3.12 – Конвертовање цртежа у DXF формат

Следећи корак састоји се у отварању цртежа у DXF формату помоћу програма "Omni Conv" (Слика 3.13) чија је улога да конвертује DXF формат у формат "Omni Nest" програма.

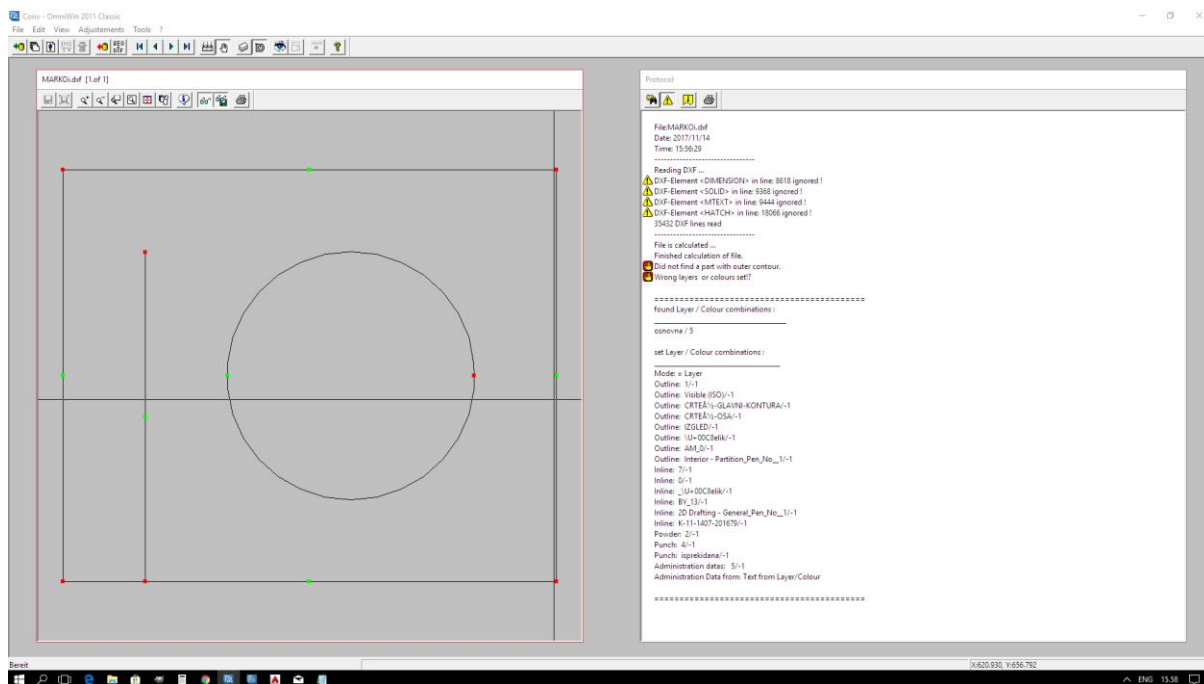


Слика 3.13- Иконица "Omni Conv" програма

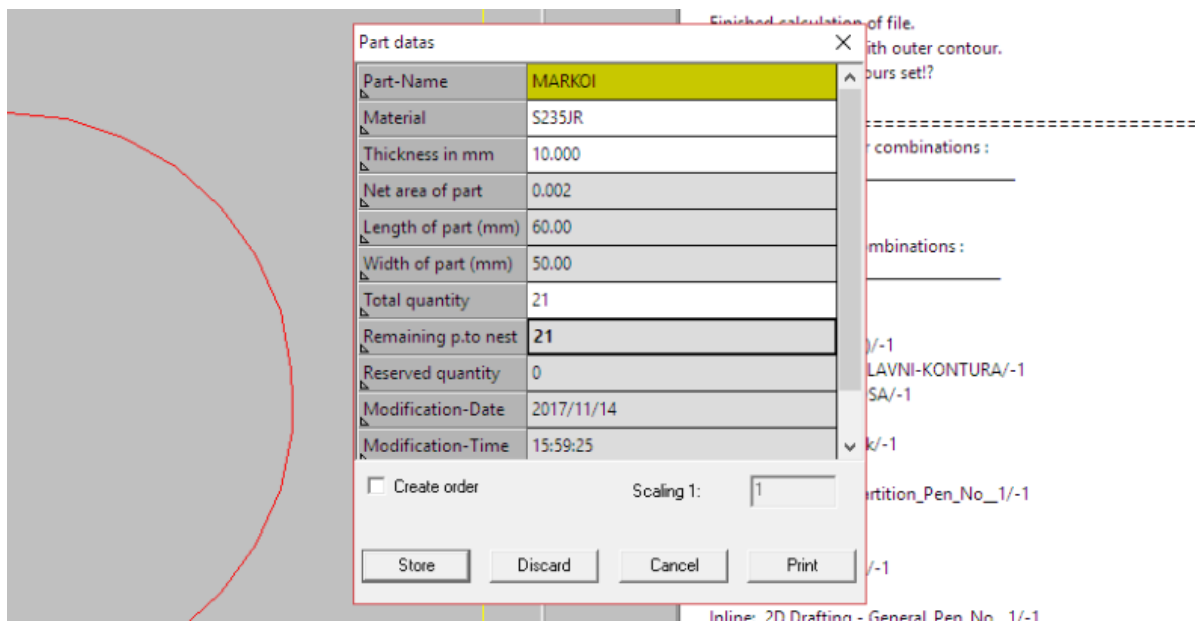
Након стартовања "Omni Conv" врши се увоз DXF цртежа (Слика 3.14), затим се врши провера контуре, дуплих линија, отворених контура, и на крају генерисање геометрије путање (Слика 3.15) и чување у базу података приликом чега се дефинише назив дела, врста материјала, дебљина материјала и број комада (Слика 3.16).



Слика 3.14 – Увоз цртежа у програм



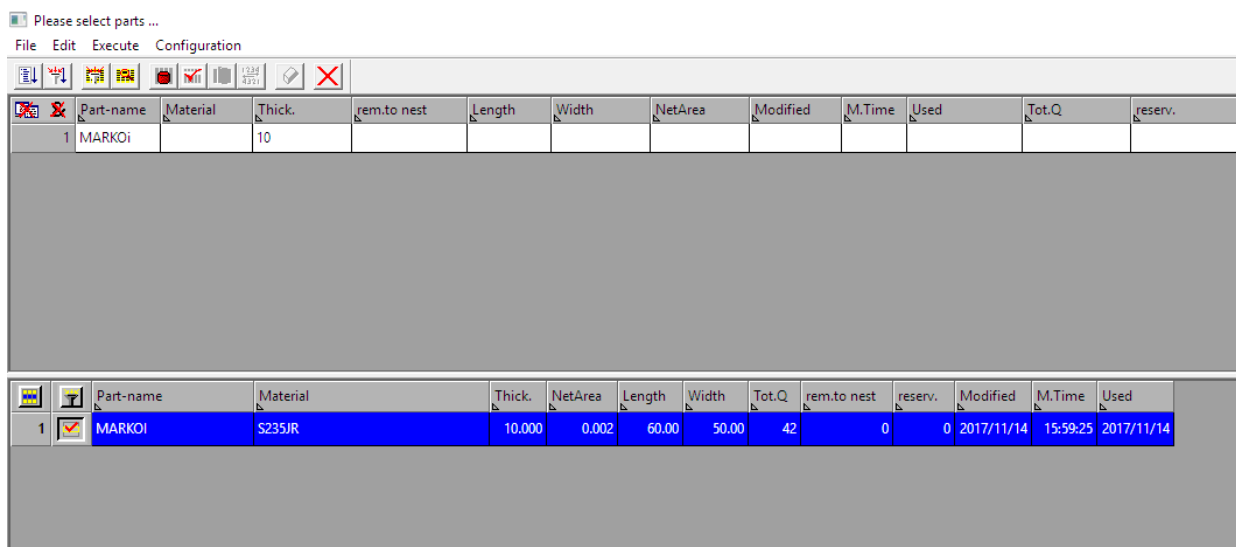
Слика 3.15 – Окружење "Отпн Сопн" програма и геометрија комада



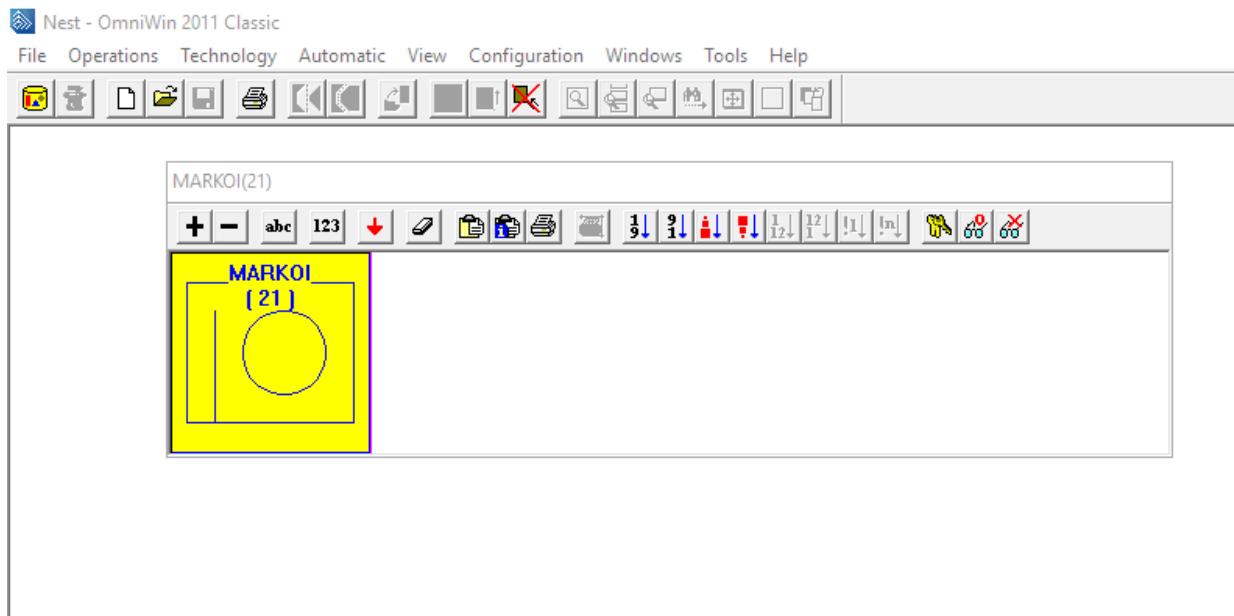
Слика 3.16 Чување у базу подата

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 3.17). Затим се комад увози (Слика 3.18) у програм и дефинише се:

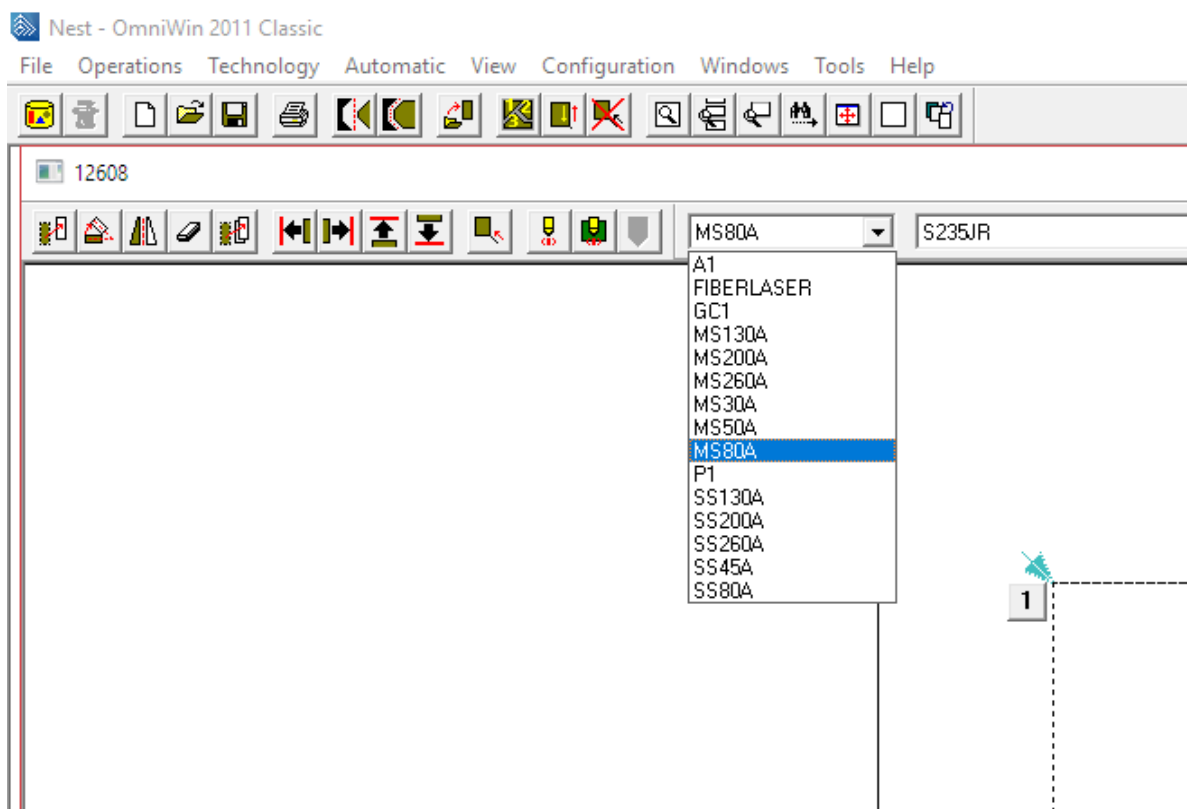
- Јачина струје плазме (ампеража) – Слика 3.19 у нашем случају 80А за дебљину 5мм дефинисана од стране произвођача машине.
- Димензије табле на којој се комад сече –Слика 3.20
- Параметара:
 - Растојање између комада, растојања између ивице табле и комада (Слика 3.21)
 - Облик и димензије улаза/излаза на спољашњој контури (Слика 3.22)
 - Облик и димензије улаза/излаза на унутрашњој контури (Слика 3.23)



Слика 3.17 Окружење "Omni Nest"-а



Слика 3.18 Увоз комада у програм



Слика 3.19 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 3.20 Уношење димензија табле

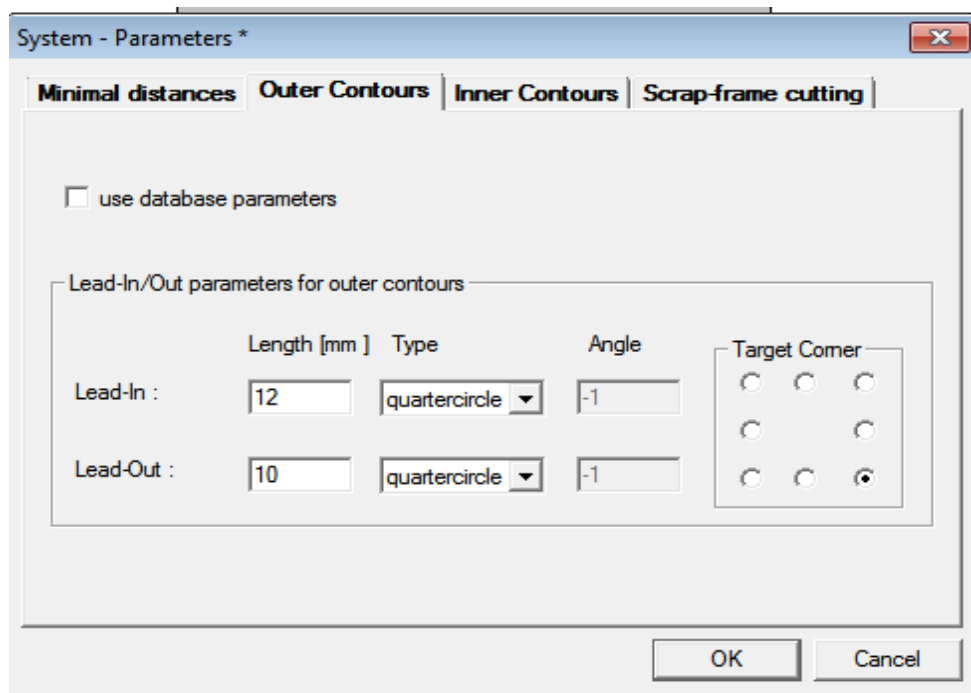
System - Parameters *

Minimal distances | **Outer Contours** | **Inner Contours** | **Scrap-frame cutting**

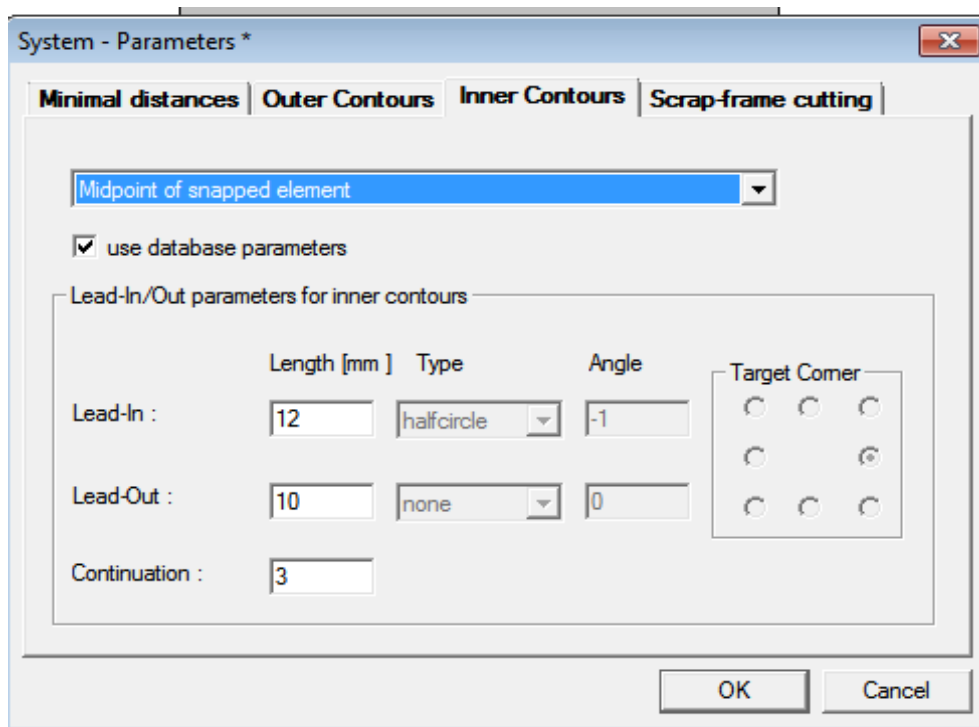
minimal part / part distance [mm]

minimal part / plate distance [mm]

Слика 3.21 Дефинисање растојања између комада, као и растојања између ивице табле и комада



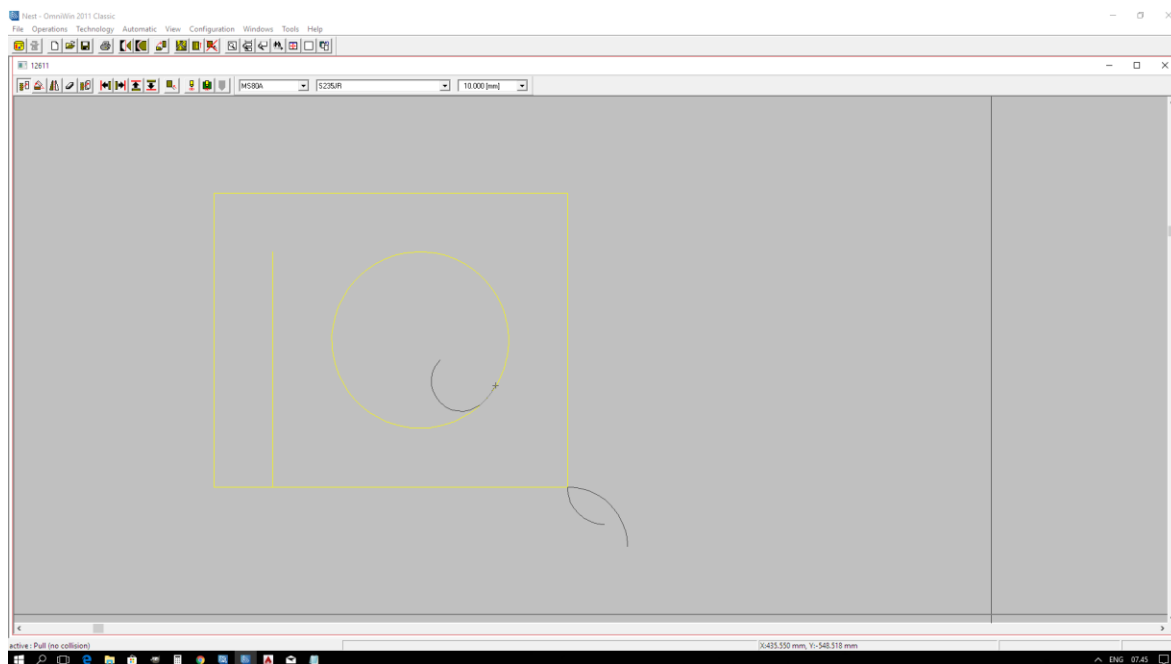
Слика 3.22 Дефинисање облика и димензија улаза/излаза на спољашњој контури



Слика 3.23 Дефинисање облика и димензија улаза/излаза на унутрашњој контури

Након дефинисања наведених параметара, врши се уклапање комада на дефинисану димензију табле (Слика 3.24) .

Затим се врши постављање улаза на одговарајућем месту, како би се избегло "уједање" комада на месту пробијања односно улаза.



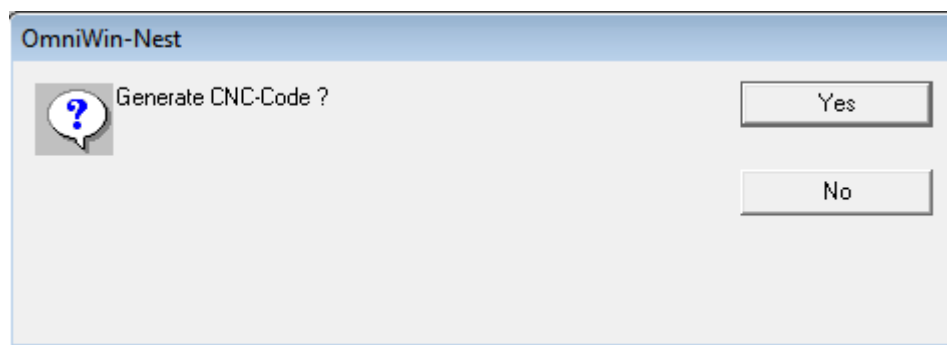
Слика 3.24 Аутоматски дефинисани улази од стране софтвер

Следећи корак представља чување процеса обраде (Слика 3.25), приликом чега именујемо процес. Након тога, генеришемо CNC код (Слика 3.26 и 3.27) 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 3.28) са свим информацијама о процесу сечења које обухватају:

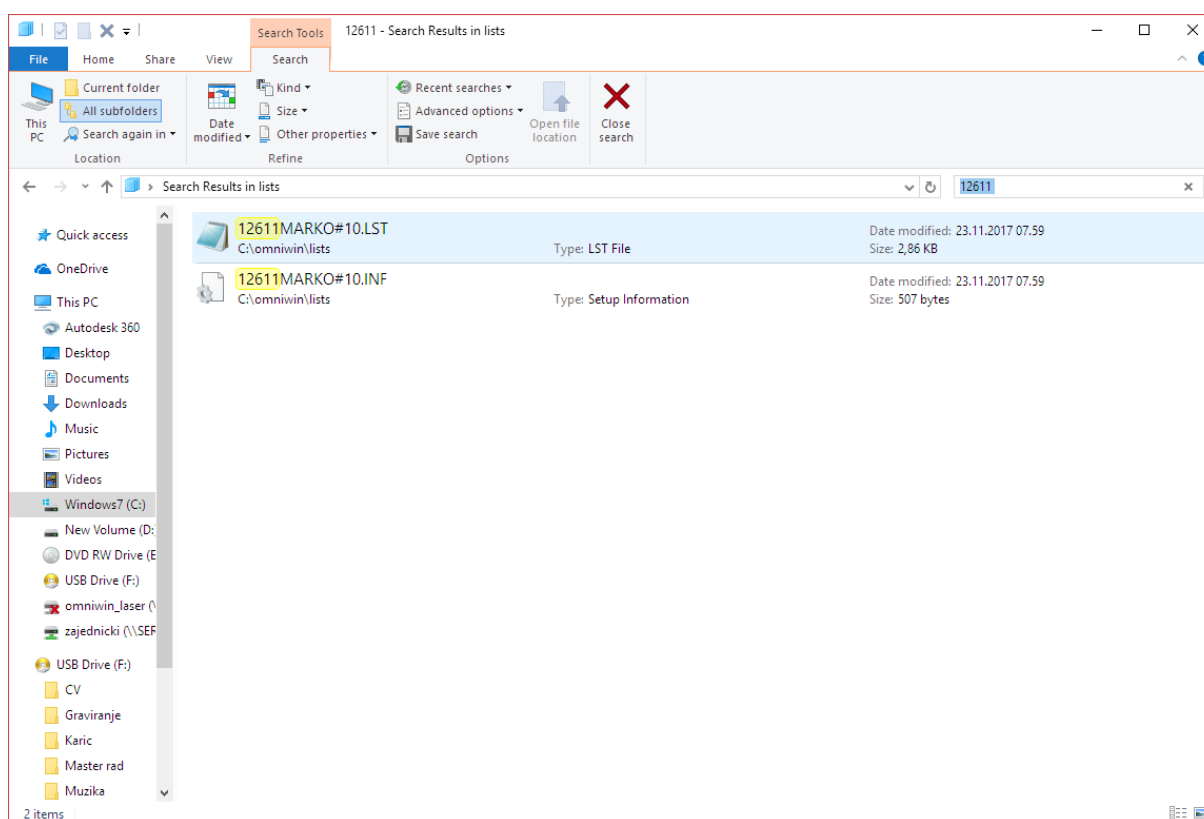
- време трајања процеса сечења (6.3 min)
- тежину готовог дела (7.24 kg)
- тежину припремке (36 kg)
- тежину отпада (7.24 kg)
- искоришћење табле
- дужину реза (6.96 м)

Store ...	
Plan-name	12611
In work at	
Thickness in mm	10.000
Material	S235JR
Store Discard Cancel	

Слика 3.25 Чување процеса обраде



Слика 3.26 Генерисање CNC кода



Слика 3.27 Чување CNC кода

PLAN NAME : 12611MARKO#10

MACHINE : MS80A
THICKNESS (mm) : 10.000
QUALITY : S235JR SPEC. WEIGHT : 8.000
NUMBER of par.PLATES: 1 TOR, per PLAN (max) : 1 NUMBER OF USAGES : 1

Support Nr : 1 PLATE NAME : MESSER
LENGTH (mm) : 520.0 WIDTH : 210.0 PLATE AREA : 0.109
USED LENGTH : 494.1 CREAT. REMNANTS AREA: 0.000 USED WIDTH : 204.3

NR. PART QUANT. AREA total AREA total WEIGHT tot. WEIGHT tot. HPR260-80-O to.TIME
net (m²) gross(m²) net (kg) gross (kg) total(m) (min)

NR. PART	QUANT.	AREA total	AREA total	WEIGHT tot.	WEIGHT tot.	HPR260-80-O to.TIME
		net (m ²)	gross(m ²)	net (kg)	gross (kg)	total(m) (min)
1 MARKOI	21	0.04	0.11	3.36	8.74	8.40 8.7
0	21	0.04	0.11	3.36	8.74	8.40 8.7

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

RAPID TRAVERSE WAY	I	I	2.34 I	I
NORMAL TRAVERSE	I	I	1.28 I	I
CODE STOPS	I	3 I	I	I
HPR260-80-O2	I	0 I	8.40 I	63 I

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

NET AREA	: 0.04 m ²	GROSS AREA	: 0.11 m ²
NET WEIGHT	: 3.36 kg	GROSS WEIGHT	: 8.74 kg
SCRAP	: 61.54 % (5.38 kg)		

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

NET AREA	: 0.04 m ²	GROSS AREA	: 0.11 m ²
NET WEIGHT	: 3.36 kg	GROSS WEIGHT	: 8.74 kg
SCRAP	: 61.54 % (5.38 kg)		

KERFWEIGHT : 1.075 kg

Слика 3.28 "Листа" са информацијама о процесу обраде

Процес програмирања се завршава пребацивањем CNC програма односно датотеке на USB меморију.

2.4 Операција сечења

Покретање комплетног система за плазма сечење врши се укључивањем управљачке јединице прекидачем (Слика 3.29), укључивањем плазме (Слика 2.30) и укључивањем вентилационог система.



Слика 3.29 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 3.31). Потенциометрима на дну командне табле врши се избор врсте плазма и инертног гаса. Вредности притиска гасова узимамо из Табеле (слика 3.32) 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 3.33) као и осталих пропратних компоненти и постављање главе на машину.



Слика 3.30 Укључивање плазме



Слика 3.31 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		
					12		
					15		
					20		

Слика 3.32 Вредности гасова за јачину струје 80А

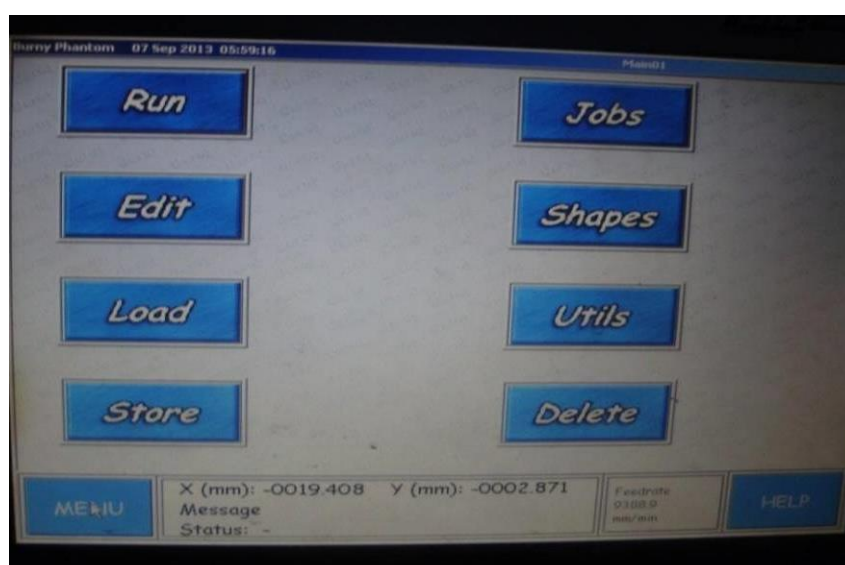


Слика 3.33 Скидање главе и монтирање електроде од 80А

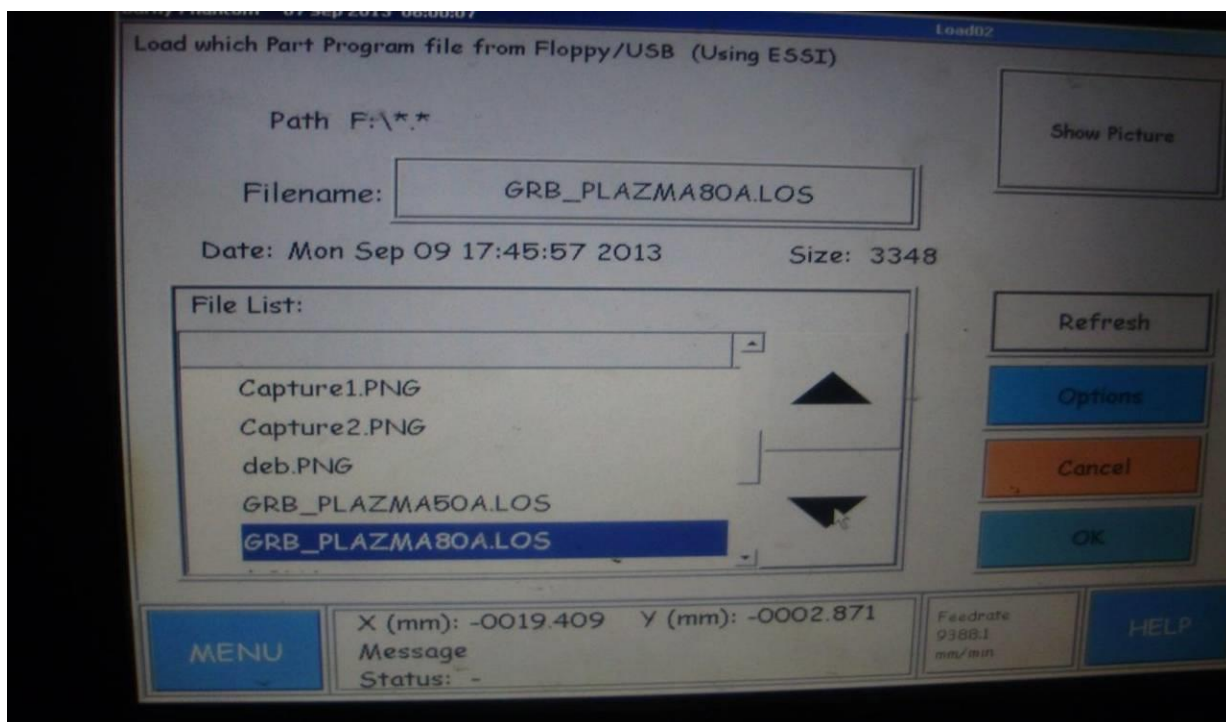
По завршетку подешавања плазма апарата, прелази се на учитавање програма и подешавање осталих параметара. Следећи корак је прикључивање USB меморије на порт (Слика 3.34). На дисплеју управљачке јединице је приказан главни мени (Слика 3.35), где се учитавање програма започиње улазом у "Edit" мод Слика (Слика 3.36), одакле се притиском на опцију "Ок" програм учитава у меморију машине (Слика 3.37).



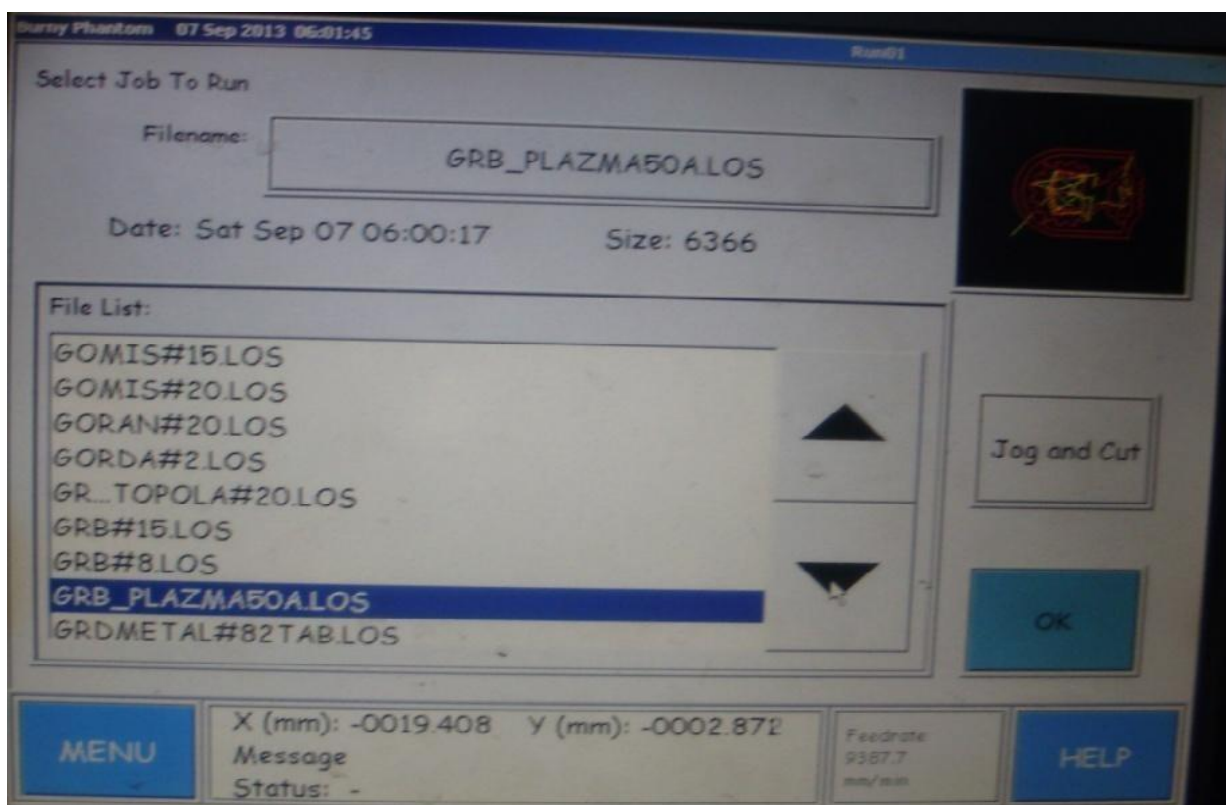
Слика 3.34 Прикључивање USB меморије на порт



Слика 3.35 Главни мени управљачке јединице



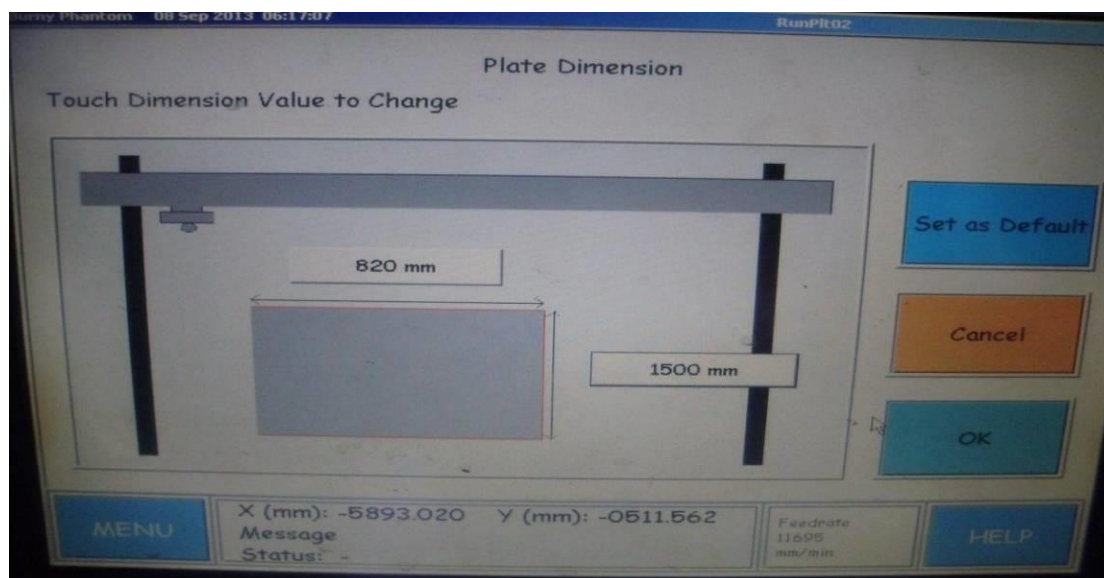
Слика 3.36 – "Edit" мод



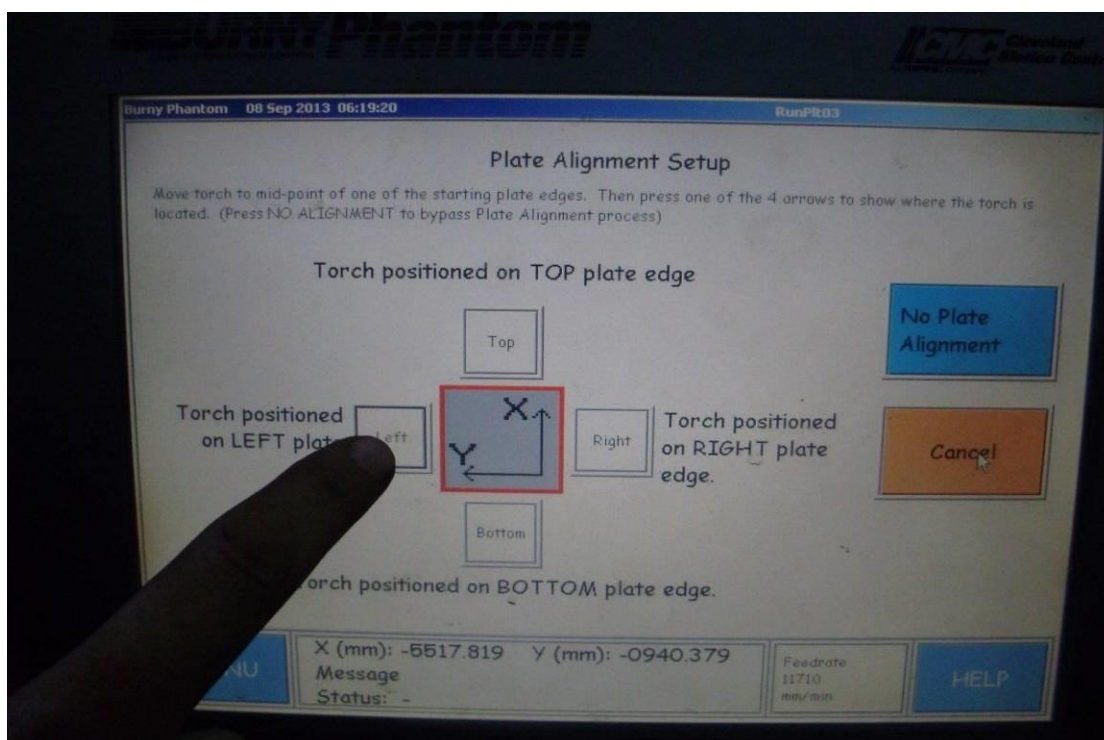
Слика 3.37 Програм учитан у меморији машине

Након учитавања програма, врши се уношење димензија (Слика 3.38) 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 3.39). Умеравање се врши у две тачке на одабраној страни

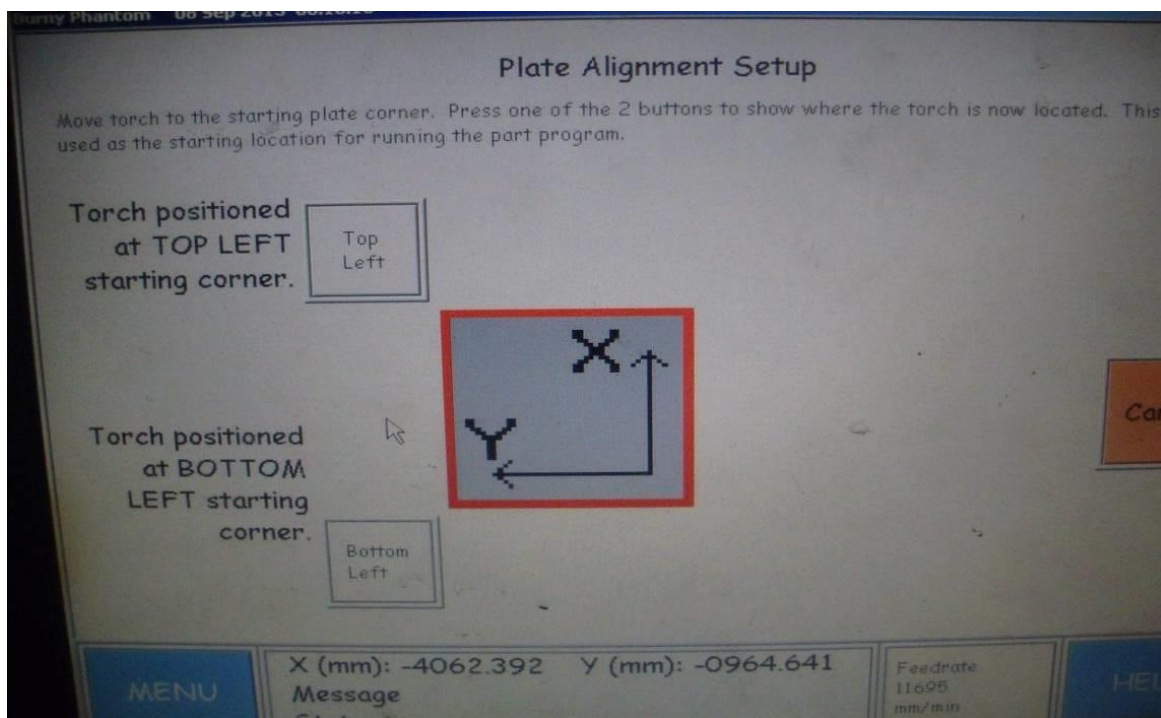
табле, горњој и доњој тачки (Слика 3.40) довођењем ласерског показивача на наведена места. Након тога добијамо графички приказ позиционираног комада на табли.



Слика 3.38 Уношење димензија табле



Слика 3.39 Одабир ивице табле са које се врши умеравње

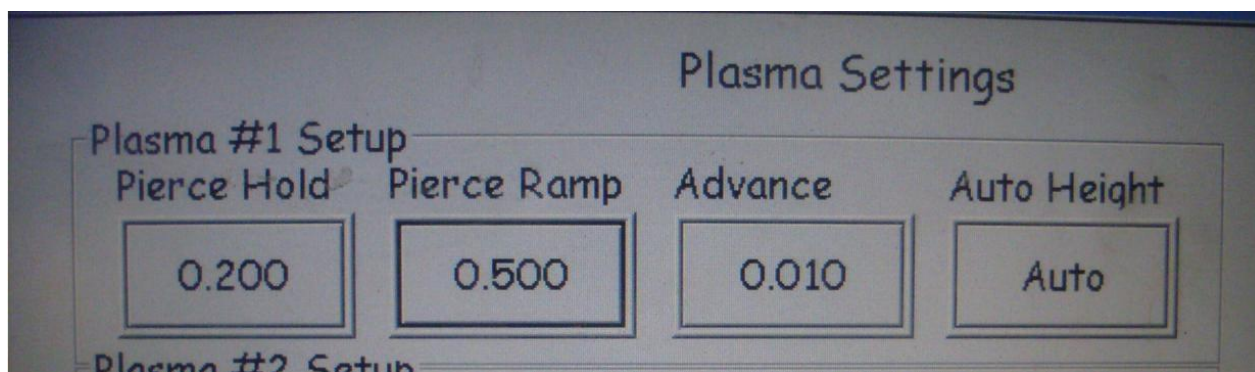


Слика 3.40 Тачке умервања табле

Следећи корак представља подешавање одређених параметара процеса сечења (Слика 3.41):

- "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 (слика 3.42).

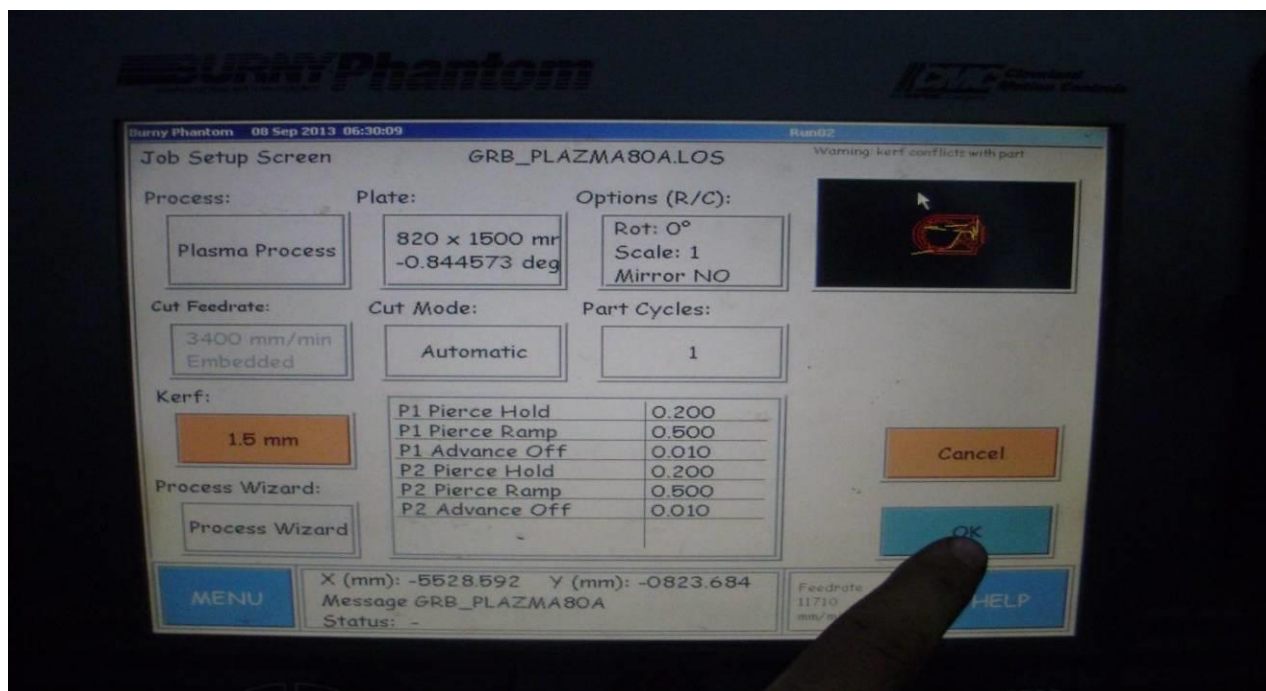


Слика 3.41 Параметри процеса сечења

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

Слика 3.42 "Pierce hold" време пробијања

Даље се врши подешавање ширине реза "керф" чија се вредност узима из прве табеле, као и одабир аутоматског мода сечења (" Cut Mode: Automatic") - слика 3.43, а затим се врши потврђивање подешених параметара.



Слика 3.43 Подешавање ширине реза и мода сечења

Следећи корак представља подешавање ТНС уређаја (Слика 3.45), дефинисањем следећих параметара из табеле (слика 3.44):

- "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		0.7	5.0	250
15		0.8		
20	2.5	0.9	6.3	

Слика 3.44 Параметри за подешавање ТНС уређаја



Слика 3.45 ТНС уређај

Након подешавања параметара ТНС 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 3.46). Машина се може у сваком моменту зауставити притиском на тастер "Stop" (Слика 3.46) 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 3.47 је приказан процес сечења, док је на слици 3.48 приказан 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.

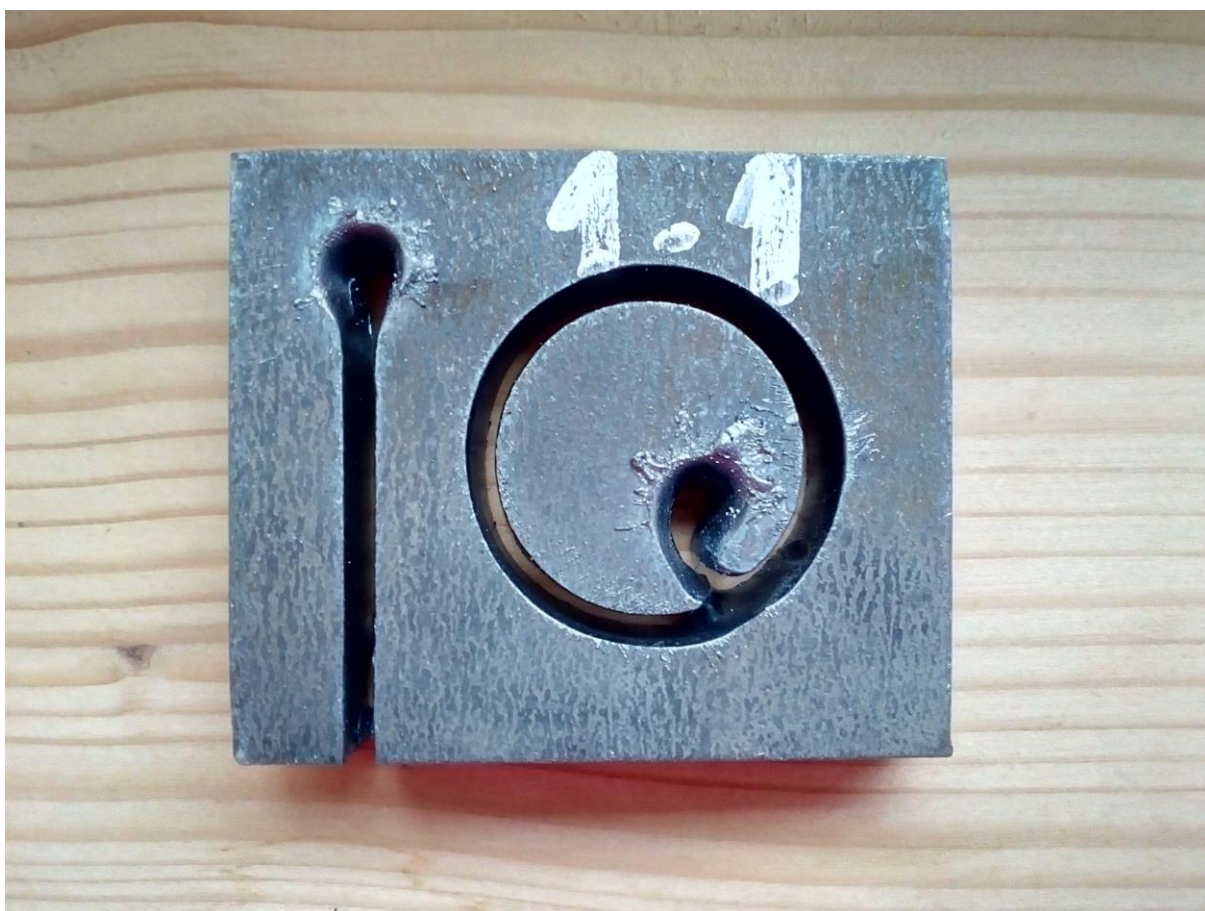
Ипак, прецизност и квалитет не могу се упоредити са мануелним машинама.



Слика 3.46 "GO" и "Stop" тастер



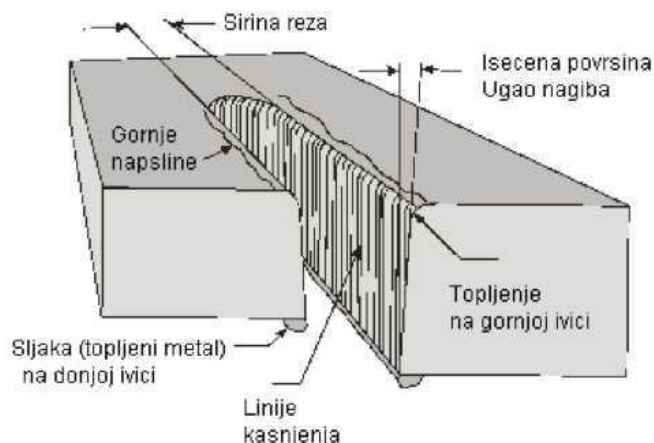
Слика 3.47 Сечење



Слика 3.48 Први узорак након сечења

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА

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 3.11).



Слика 4.1 Параметри квалитета код сечења плазмом [7]

Стандард " EN ISO 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.

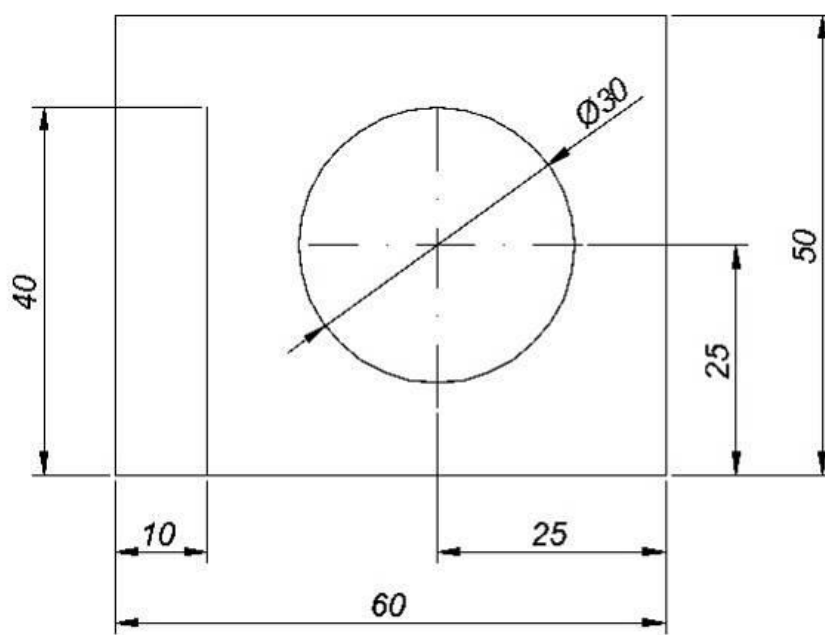
Основни параметри и фактори утицаја, који се дефинишу приликом припреме ЦНЦ машине за сечење плазмом су:

- 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 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)

4.1 План испитивања

У оквиру овог експерименталног испитивања приказан су резултатти утицаја похабаности горионика и брзине сечења на квалитет обрађене површине, дебљину реза, количину троске и одступање димензија обрађеног комада од задатих мера. За потребе експеримента је исечен двадесет један комад од угљеничног челика $\check{C}0361$ димензија 10x50x60mm (слика 3.12).

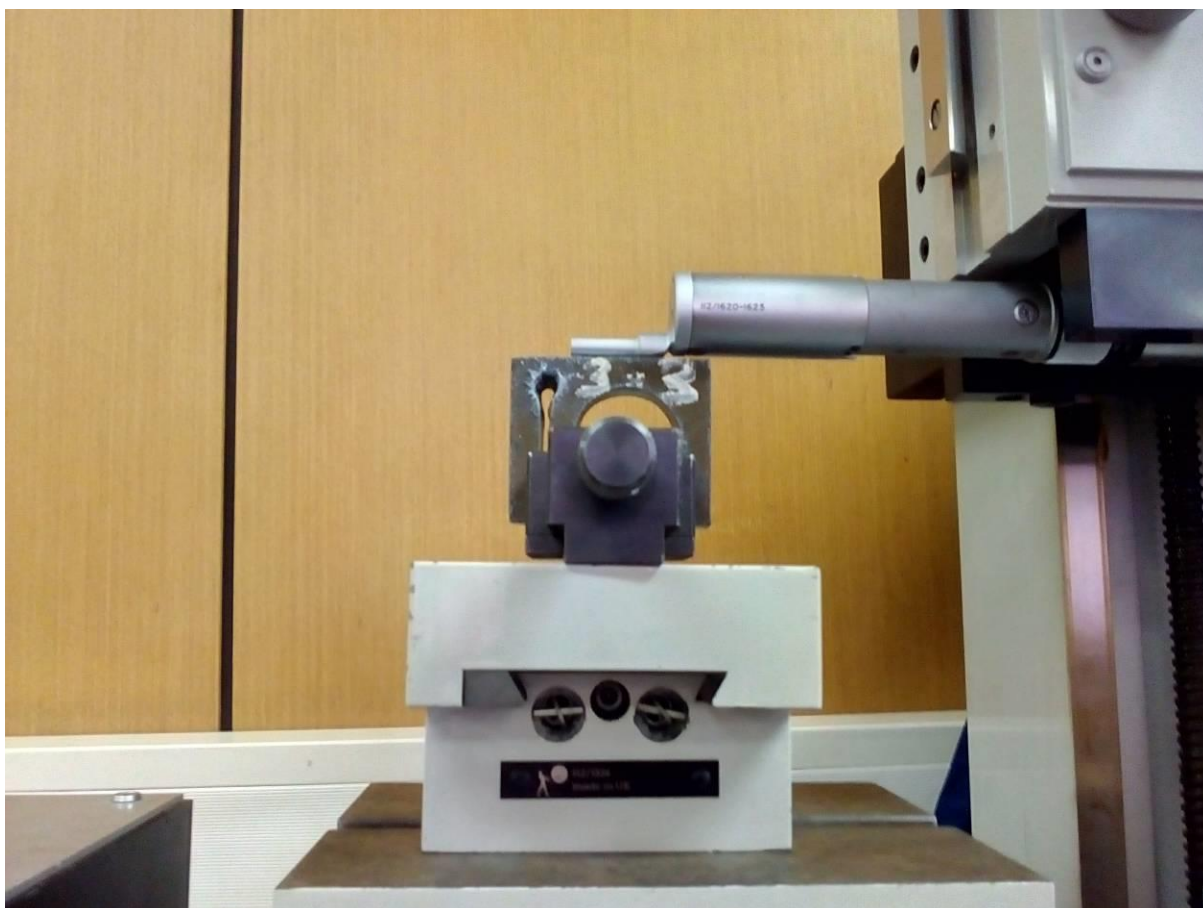


Слика 3.12 Цртеж узорка

Испитивање храпавости реза је извршено на Факултету инжењерских наука на уређају Talysurf (слика 3.13, слика 3.14 и слика 3.15). Испитивањем је добијено средње аритметичко одступање профила од средње линије профила (R_a) и максимална висина неравнина (R_{max} или R_y).



Слика 3.13 Talysurf



Слика 3.14 Испитивање узорка 3.3



Слика 3.15 Увеличан приказ испитивања

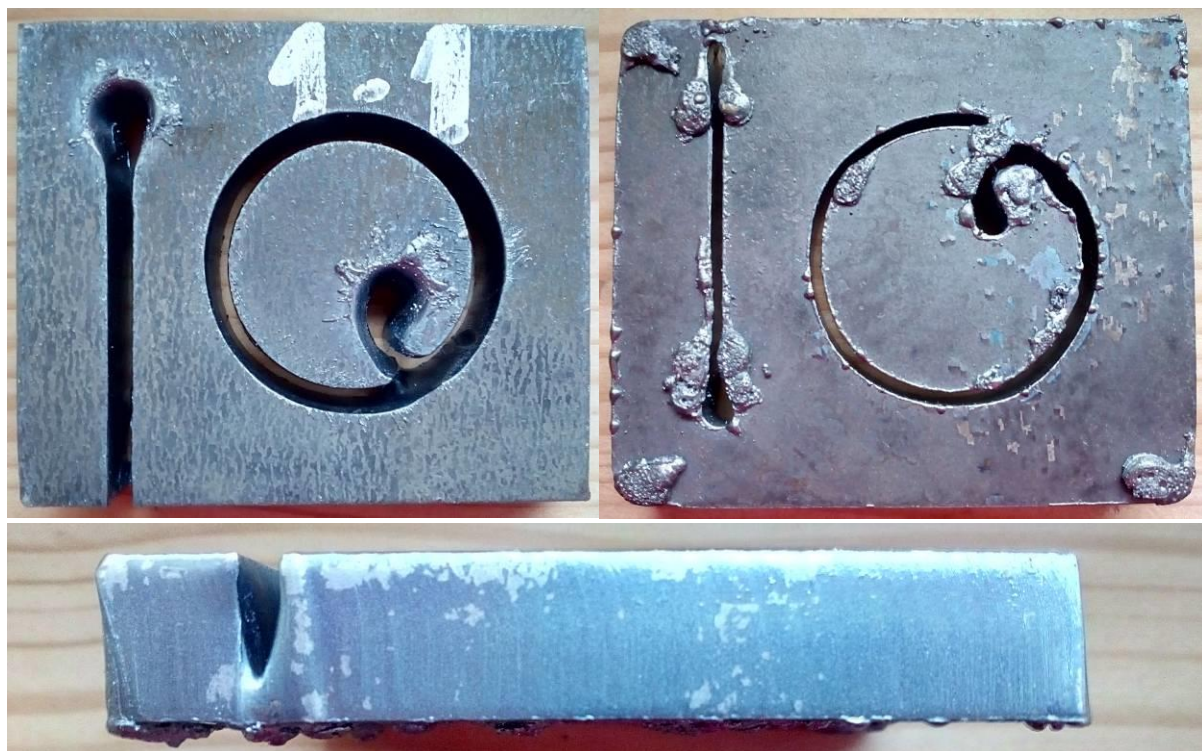
4.2 Узорци 1.1, 1.2 и 1.3

За сечење узорака 1.1, 1.2, 1.3 је коришћена нова електрода, нова дизна и нов горионик (слика 3.16). Узорци су сечени различитим брзинама, 100% (слика 3.18), 80% (слика 3.17), и 60% (слика 3.19), од препоручуне вредности од 1900 mm/min. За остале узорке ће се такође користити нова електрода и нова дизна, док ћемо мењати горионике различитих нивоа похабаности.



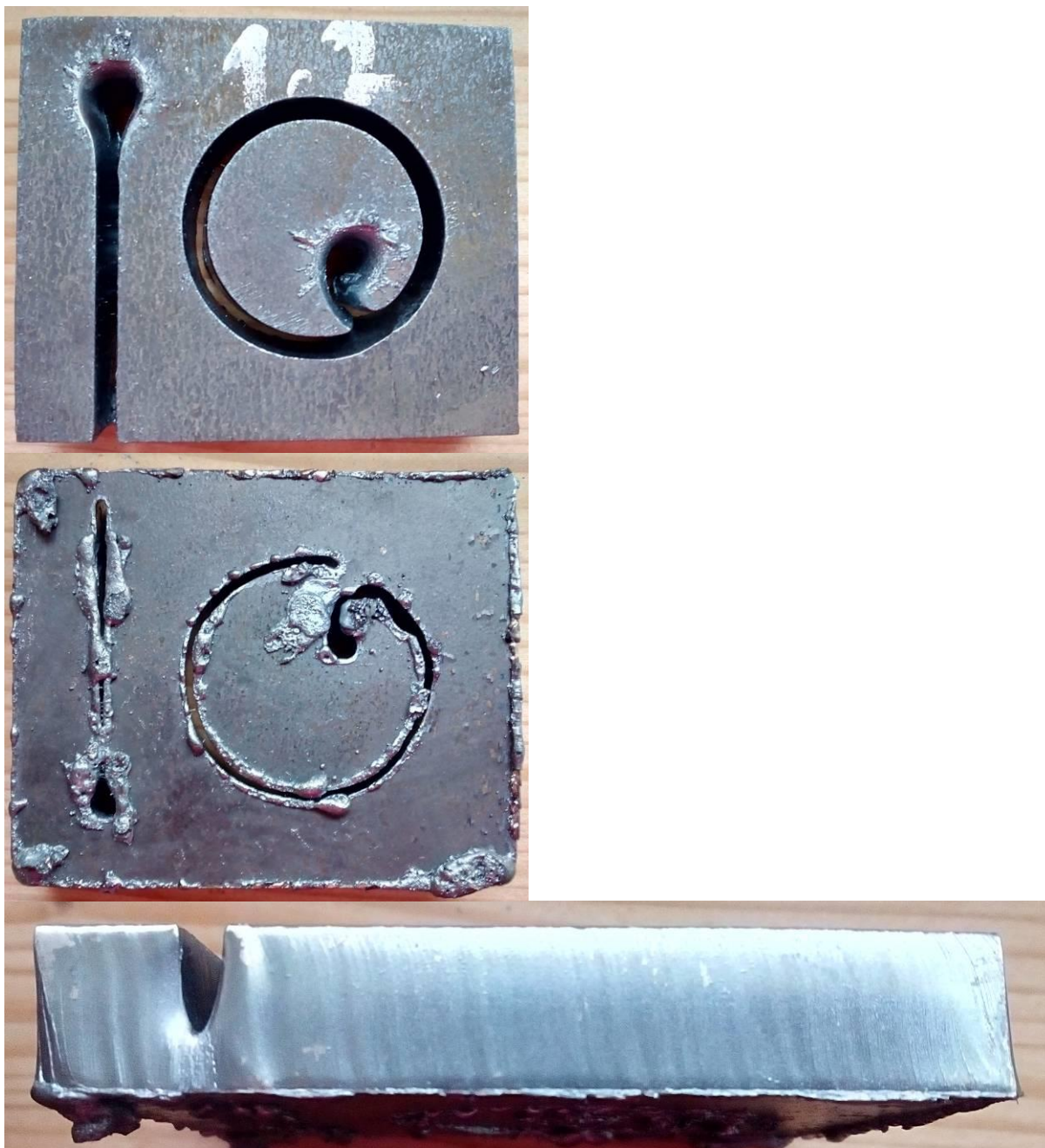
Слика 3.16 Нов горионик од 80А

Испитивањем узорка 1.1 (слика 3.17) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $R_a=1.15 \mu\text{m}$, максимална висина неравнина $R_{\text{max}}=5.6 \mu\text{m}$. Максимална дебљина комада са троском је 12.2 mm, док је средња вредност дебљине комада са троском 11.74 mm. Ширина реза са горње стране је 2 mm, а са доње стране је 1 mm. Дужина узорка са горње стране је 59.5 mm, дужина са доње стране је 59.8 mm. Ширина узорка са горње стране је 49.7 mm, а са доње стране 49.8 mm. Код овог узорка није дошло до потпуног просецања отвора. Узорак 1.1 је сечен брзином од 1520 mm/min, тј. 80% од препоручене вредности од 1900 mm/min.



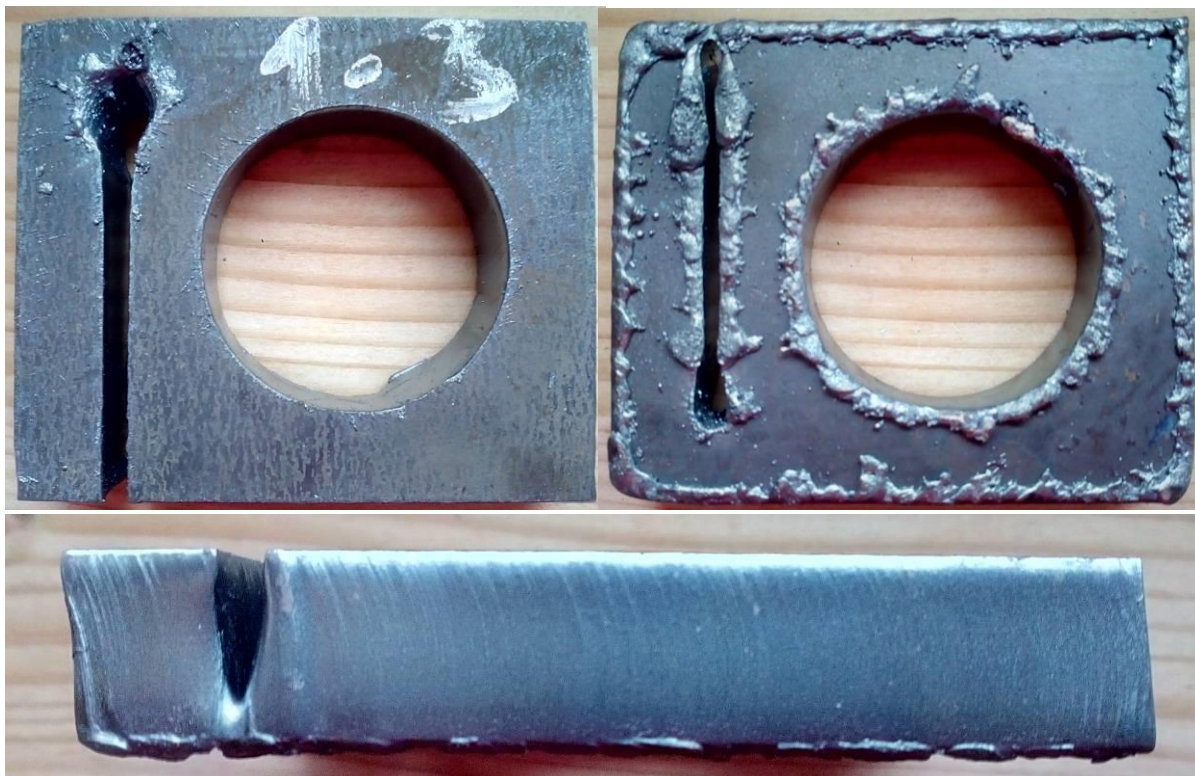
Слика 3.17 узорак 1.1

Испитивањем узорка 1.2 (слика 3.18) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $R_a=1.46 \mu\text{m}$, максимална висина неравнина $R_{\text{max}}=9.7 \mu\text{m}$. Максимална дебљина комада са троском је 13.3 mm, док је средња вредност дебљине комада са троском 12.38 mm. Ширина реза са горње стране је 1.9 mm, а са доње стране је 1.1 mm уз непотпуно просецање. Дужина узорка са горње стране је 59.6 mm, дужина са доње стране је 60 mm. Ширина узорка са горње стране је 49.8 mm, а са доње стране 50.1 mm. Код овог узорка није дошло до потпуног просецања отвора. Узорак 1.1 је сечен брзином од 1900 mm/min, тј. 100% од препоручене вредности од 1900 mm/min.



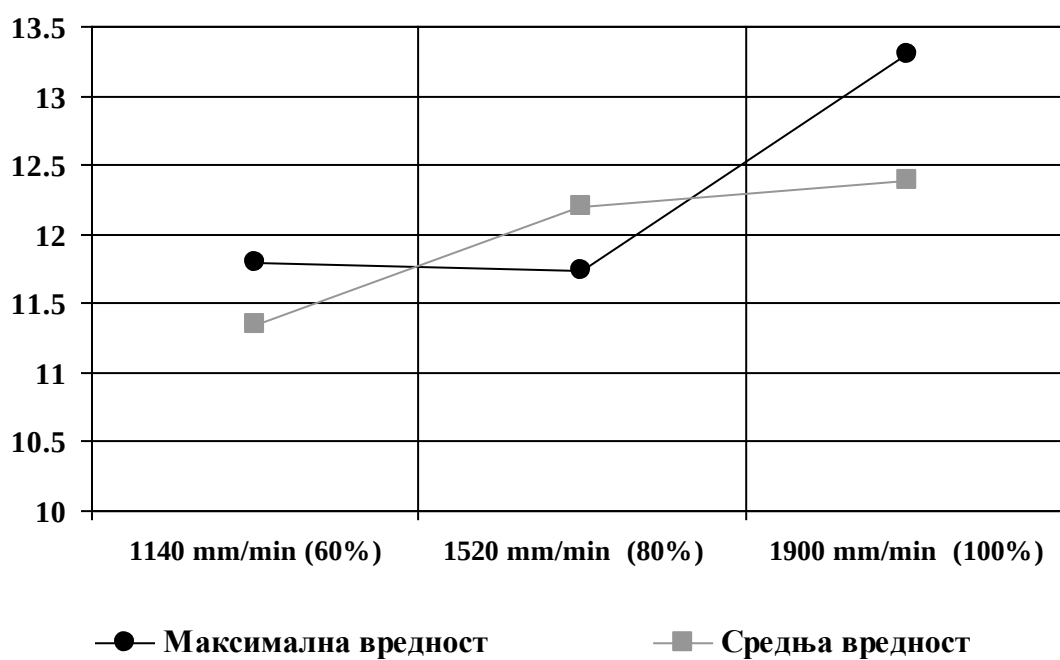
Слика 3.18 Узорак 1.2

Испитивањем узорка 1.3 (слика 3.19) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $Ra=0.85 \mu m$, максимална висина неравнина $R_{max}=7.9 \mu m$. Максимална дебљина комада са троском је 11.8 mm , док је средња вредност дебљине комада са троском 11.34 mm . Ширина реза са горње стране је 2.1 mm , а са доње стране је 1.5 mm . Дужина узорка са горње стране је 59.1 mm , дужина са доње стране је 60 mm . Ширина узорка са горње стране је 49.8 mm , а са доње стране 50.1 mm . Највећа ширина отвора са горње стране је 30.3 mm док је са доње стране 30 mm . Узорак 1.3 је сечен брзином од 1140 mm/min , тј. 60% од препоручене вредности од 1900 mm/min .



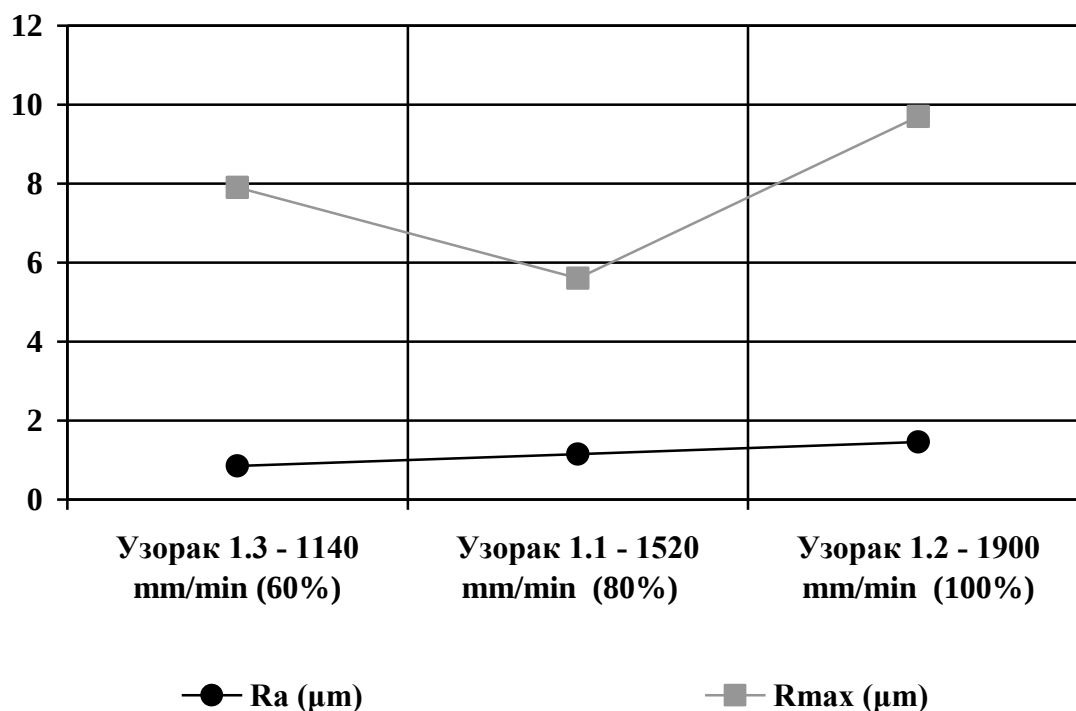
Слика 3.19 Узорак 1.3

На слици 3.20 је приказан дијаграм са којег се може видети да са повећањем брзине сечења расте средња вредност дебљине треске. Максимална вредност дебљине треске је највише изражена код максималне брзине од 100% од задате вредности, док је дебљина треске за брзине од 80% и 60% приближне вредности.



Слика 3.20 Узорци 1.1, 1.2, 1.2 - зависност дебљине троске од брзине резања

На слици 3.21 приказан је дијаграм зависности средњег аритметичког одступања профила од средње линије профила и максималне висине профила од брзине сечења. Са дијаграма се може видети да је уз примену нове електроде, нове дизне и новог горионика вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила приближна за све брзине коришћене у овом испитивању, док вредност је максималне висине профила најмања на брзини од 80% од задате.



Слика 3.21 Утицај брзине сечења и похабаности горионика на храпавост обрађене површине

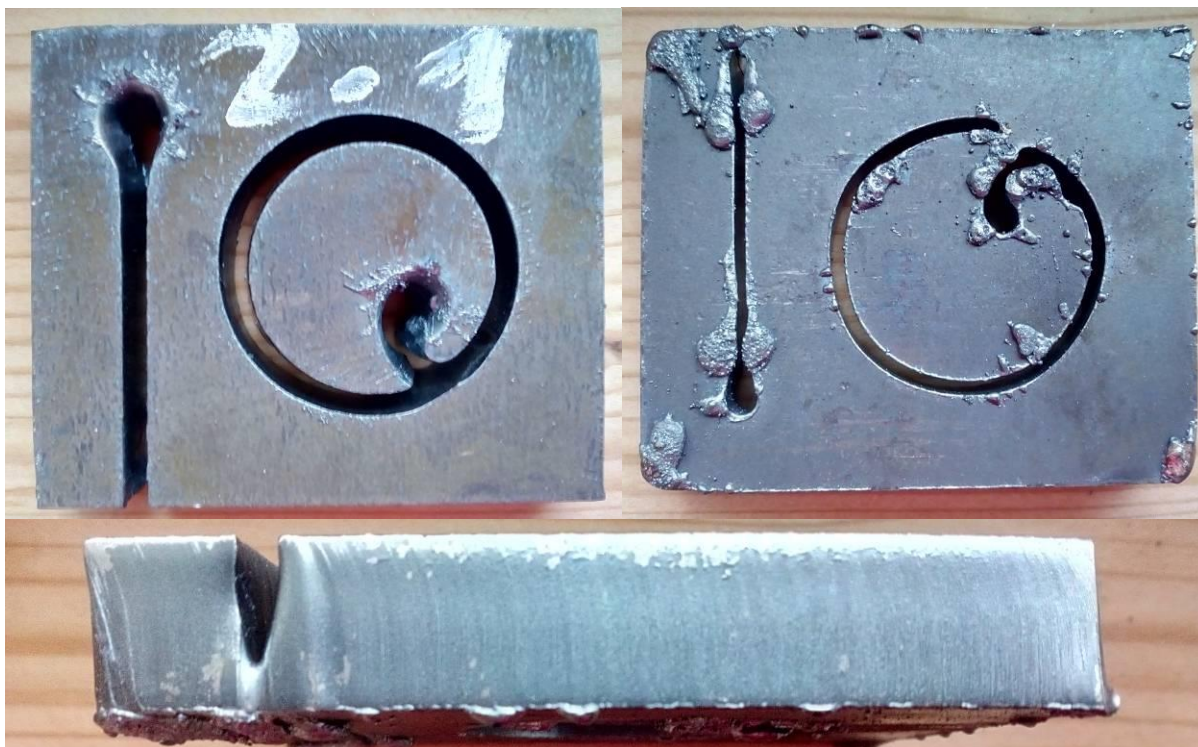
4.3 Узорци 2.1, 2.2 и 2.3

Узорци 2.1, 2.2 и 2.3 су сечени коришћеним гориоником који је по процени у добром стању и могао би се још употребљавати (слика 3.22).



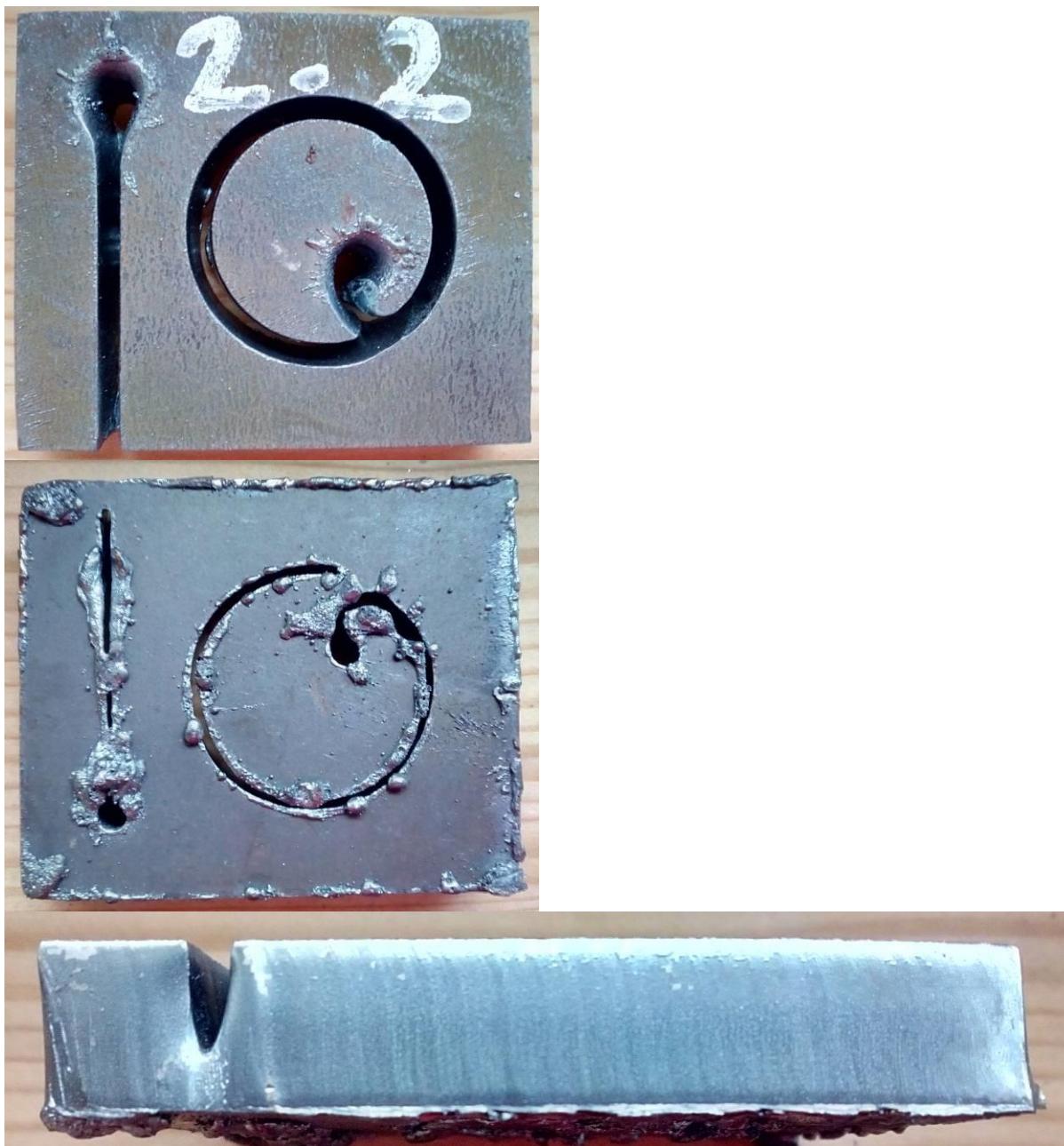
Слика 3.22 Горионик 2

Испитивањем узорка 2.1 (слика 3.23) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $R_a=0.85 \mu\text{m}$, максимална висина неравнина $R_{\text{max}}=7.9 \mu\text{m}$. Максимална дебљина комада са троском је 12 mm, док је средња вредност дебљине комада са троском 11.55 mm. Ширина реза са горње стране је 2 mm, а са доње стране је 1 mm. Дужина узорка са горње стране је 59.3 mm, дужина са доње стране је 59.7 mm. Ширина узорка са горње стране је 49.5 mm, а са доње стране 49.7 mm. Код овог узорка није дошло до потпуног просецања отвора. Узорак 2.1 је сечен брзином од 1520 mm/min, тј. 80% од препоручене вредности од 1900 mm/min.



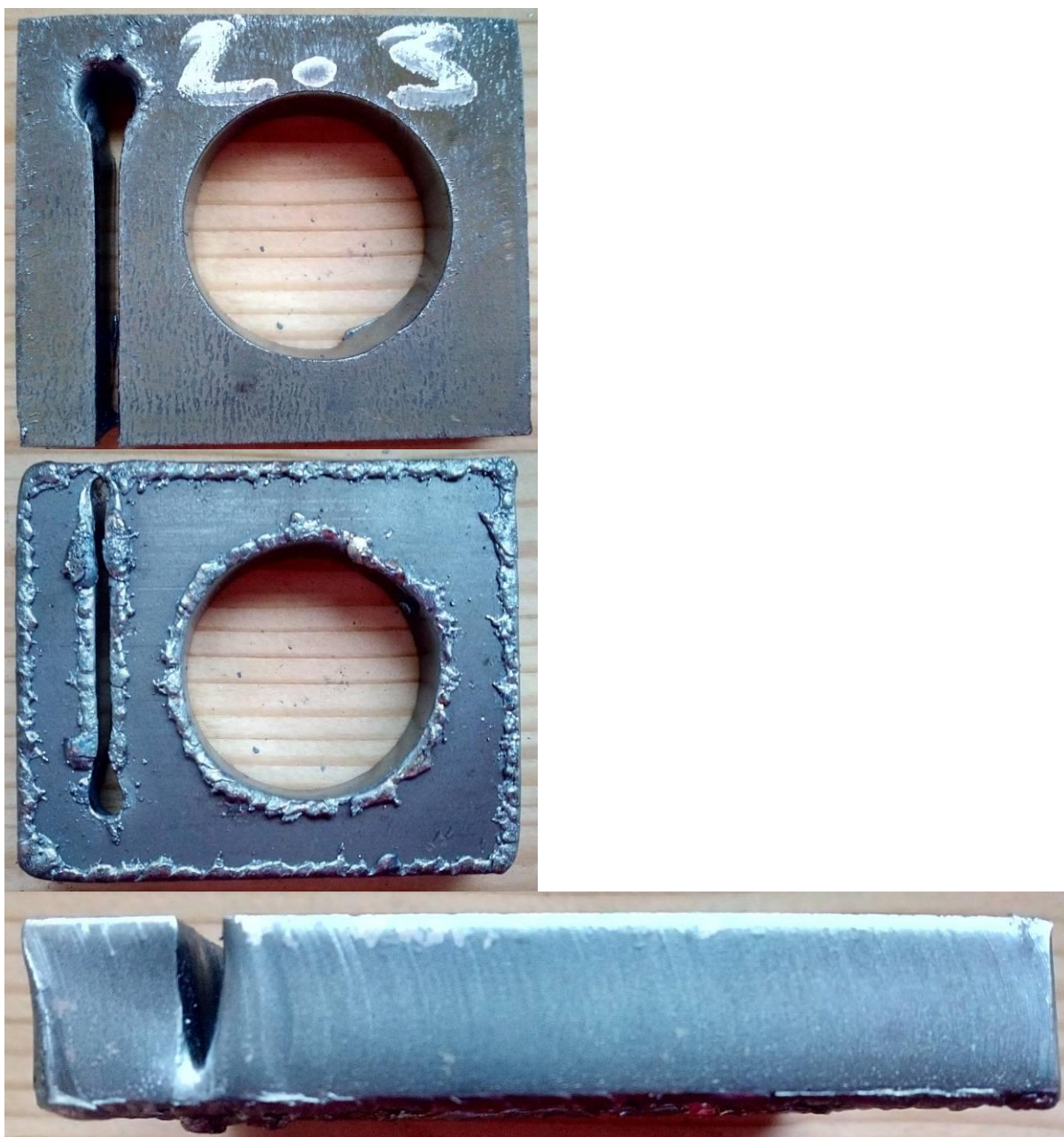
Слика 3.23 Узорак 2.1

Испитивањем узорка 2.2 (слика 3.23) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $Ra=1.35 \mu m$, максимална висина неравнина $R_{max}=6.4 \mu m$. Максимална дебљина комада са троском је 15 mm, док је средња вредност дебљине комада са троском 12.17 mm. Ширина реза са горње стране је 1.9 mm, а са доње стране је 1 mm уз непотпуно просецање. Дужина узорка са горње стране је 59.3 mm, дужина са доње стране је 59.8 mm. Ширина узорка са горње стране је 49.7 mm, а са доње стране 50.5 mm. Код овог узорка није дошло до потпуног просецања отвора. Узорак 2.2 је сечен брзином од 1900 mm/min, тј. 100% од препоручене вредности од 1900 mm/min.



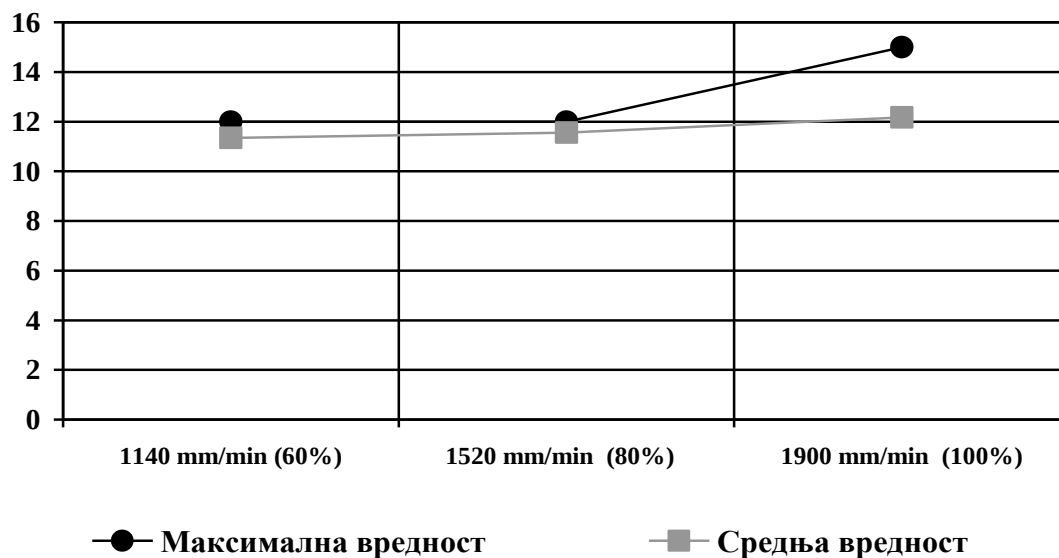
Слика 3.24 Узорак 2.2

Испитивањем узорка 2.3 (слика 3.24) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $Ra=1.03 \mu m$, максимална висина неравнина $R_{max}=6.7 \mu m$. Максимална дебљина комада са троском је 12 mm, док је средња вредност дебљине комада са троском 11.34 mm. Ширина реза са горње стране је 2.1 mm, а са доње стране је 1.5 mm. Дужина узорка са горње стране је 59 mm, дужина са доње стране је 59.2 mm. Ширина узорка са горње стране је 49.1 mm, а са доње стране 49.3 mm. Највећа ширина отвора са горње стране је 30.1 mm док је са доње стране 30 mm. Узорак 2.3 је сечен брзином од 1140 mm/min, тј. 60% од препоручене вредности од 1900 mm/min.



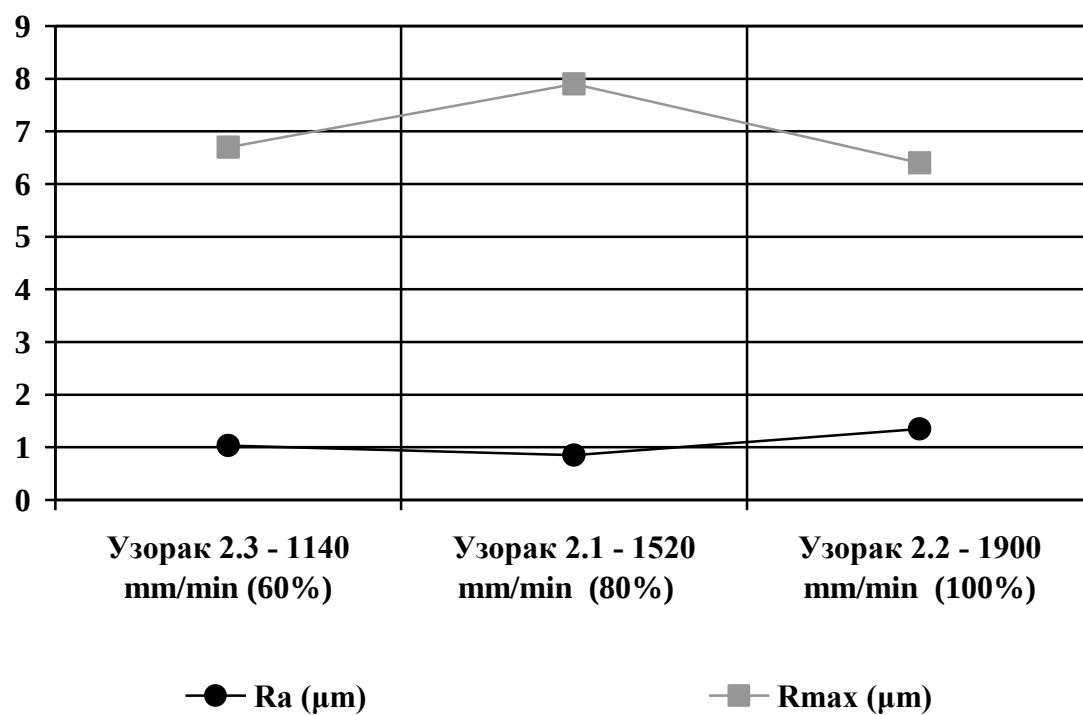
Слика 3.25 Узорак 2.3

На слици 3.26 је приказан дијаграм са којег се може видети да са повећањем брзине сечења благо расте средња вредност дебљине троске. Максимална вредност дебљине троске је највише изражена код максималне брзине од 100% од задате вредности, док је дебљина троске за брзине од 80% и 60% приближне вредности.



Слика 3.26 Зависност дебљине троске од брзине сечења

На слици 3.27 приказан је дијаграм зависности средњег аритметичког одступања профила од средње линије профила и максималне висине профила од брзине сечења. Са дијаграма се може видети да је уз примену коришћеног горионика вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила приближна за све брзине коришћене у овом испитивању, уз благо повећање за вредност од 100%, док је вредност максималне висине профила највише изражена на брзини од 80% од задате. Максимална висина неравнина за брзине од 60% и 100% је приближе вредности.



Слика 3.27 Утицај брзине сечења и похабаности горионика на храпавост обрађене површине

4.4 Узорци 3.1, 3.2 и 3.3

На слици 3.28 је приказан делимично оштећен горионик.



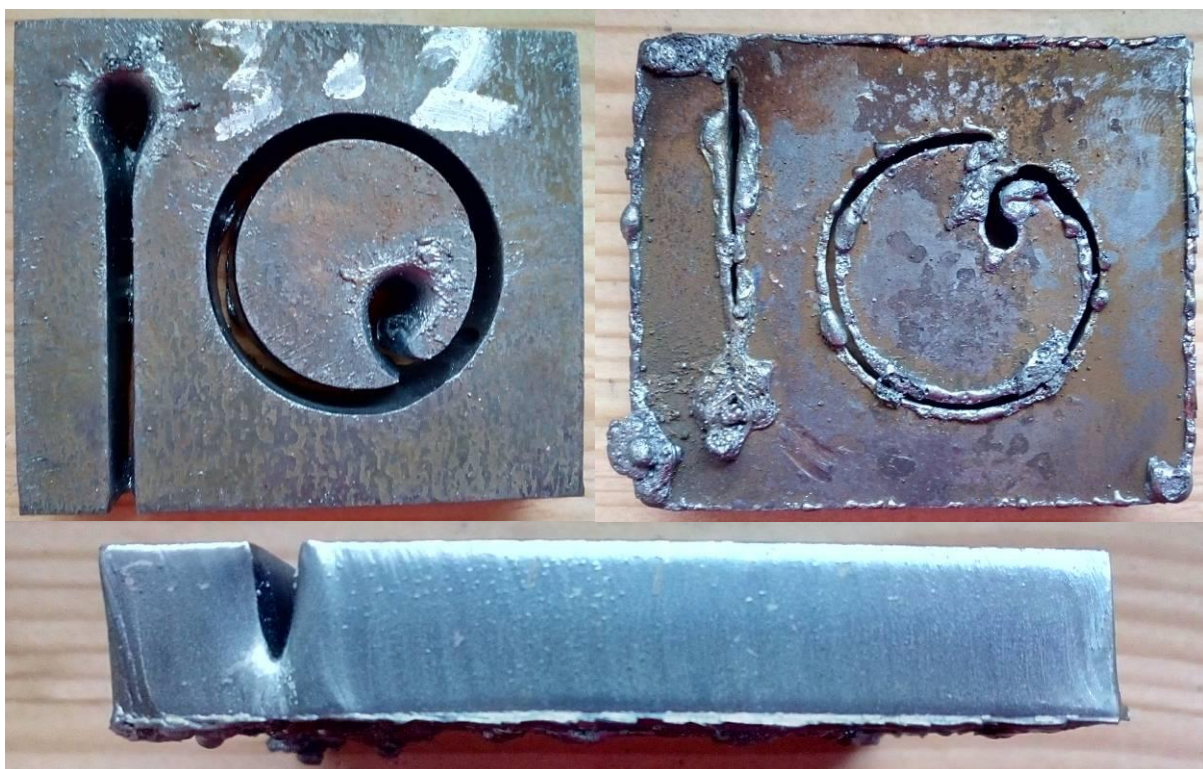
Слика 3.28 Горионик 3

Испитивањем узорка 3.1 (слика 3.29) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $R_a=1.02 \mu\text{m}$, максимална висина неравнина $R_{\text{max}}=8.1 \mu\text{m}$. Максимална дебљина комада са троском је 12.5 mm, док је средња вредност дебљине комада са троском 11.35 mm. Ширина реза са горње стране је 2 mm, а са доње стране је 1 mm. Дужина узорка са горње стране је 59.3 mm, дужина са доње стране је 59.7 mm. Ширина узорка са горње стране је 49.3 mm, а са доње стране 49.7 mm. Код овог узорка није дошло до потпуног просецања отвора. Узорак 3.1 је сечен брзином од 1520 mm/min, тј. 80% од препоручене вредности од 1900 mm/min.



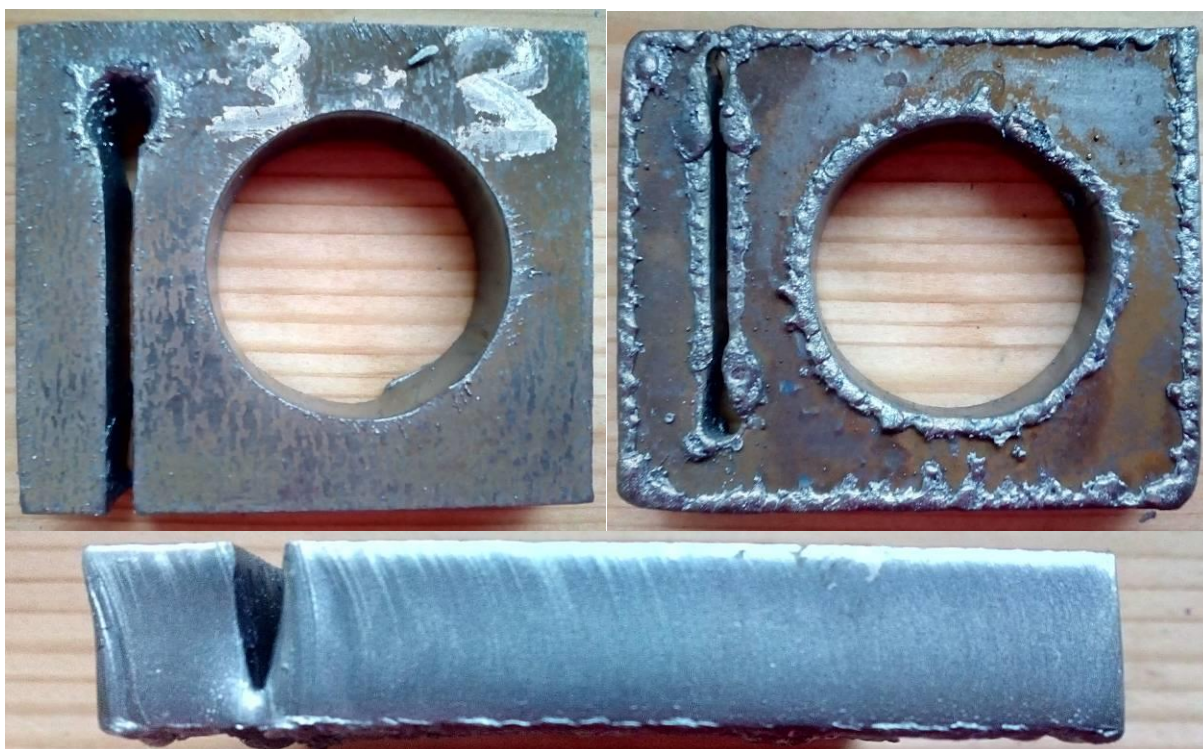
Слика 3.29 Узорак 3.1

Испитивањем узорка 3.2 (слика 3.30) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $R_a=1.32 \mu\text{m}$, максимална висина неравнина $R_{\text{max}}=6.5 \mu\text{m}$. Максимална дебљина комада са троском је 13.7 mm , док је средња вредност дебљине комада са троском 11.76 mm . Ширина реза са горње стране је 1.9 mm , а са доње стране је 1 mm уз непотпуно просецање. Дужина узорка са горње стране је 59.5 mm , дужина са доње стране је 59.9 mm . Ширина узорка са горње стране је 49.7 mm , а са доње стране 49.8 mm . Код овог узорка није дошло до потпуног просецања отвора. Узорак 3.2 је сечен брзином од 1900 mm/min , тј. 100% од препоручене вредности од 1900 mm/min .



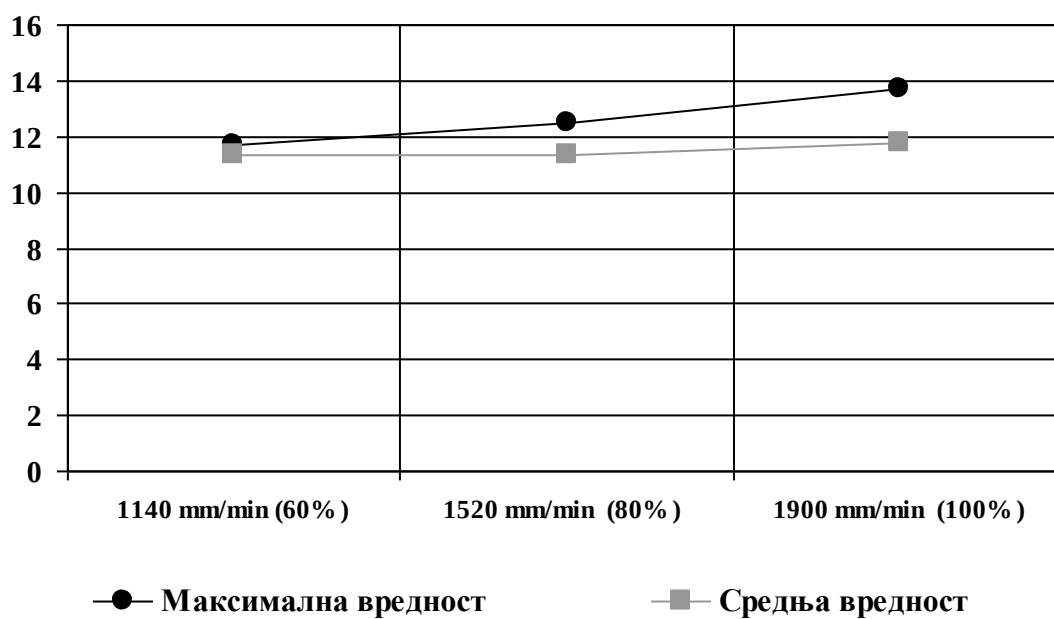
Слика 3.30 Узорак 3.2

Испитивањем узорка 3.3 (слика 3.31) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $R_a=0.89 \mu\text{m}$, максимална висина неравнина $R_{\text{max}}=7.4 \mu\text{m}$. Максимална дебљина комада са троском је 11.7 mm, док је средња вредност дебљине комада са троском 11.33 mm. Ширина реза са горње стране је 2.2 mm, а са доње стране је 1.5 mm. Дужина узорка са горње стране је 59 mm, дужина са доње стране је 59.2 mm. Ширина узорка са горње стране је 49 mm, а са доње стране 49 mm. Највећа ширина отвора са горње стране је 30.4 mm док је са доње стране 30.1 mm. Узорак 3.3 је сечен брзином од 1140 mm/min, тј. 60% од препоручене вредности од 1900 mm/min.



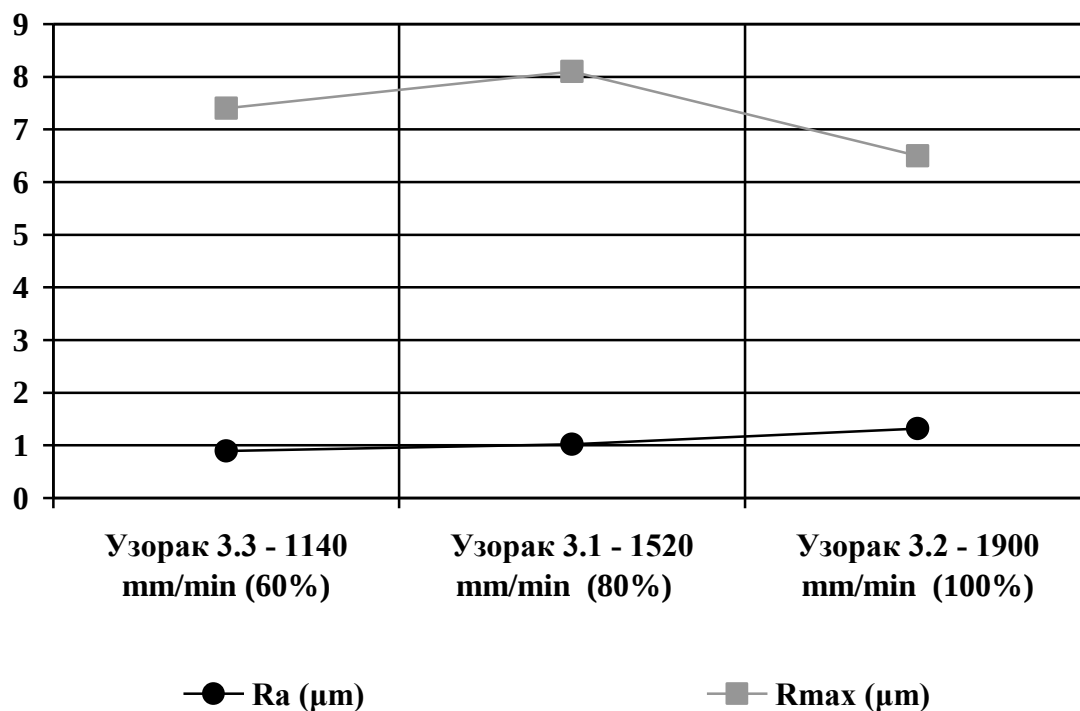
Слика 3.31 Узорак 3.3

На слици 3.32 је приказан дијаграм са којег се може видети да са повећањем брзине сечења благо расте средња вредност дебљине треске. Максимална вредност дебљине треске постепено расте са порастом брзине сечења и највише је изражена код максималне брзине од 100% од задате вредности, док је дебљина треске за брзине од 80% и 60% приближне вредности.



Слика 3.32 Зависност дебљине треске од брзине сечења

На слици 3.33 приказан је дијаграм зависности средњег аритметичког одступања профила од средње линије профила и максималне висине профила од брзине сечења. Са дијаграма се може видети да је уз примену делимично оштећеног горионика вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила приближна за све брзине коришћене у овом испитивању, уз благо повећање за вредност од 100%, док је вредност максималне висине профила највише изражена на брзини од 80% од задате. Максимална висина неравнина за брзину од 100% је најниже вредности.



Слика 3.33 Утицај брзине сечења и похабаности горионика на храпавост

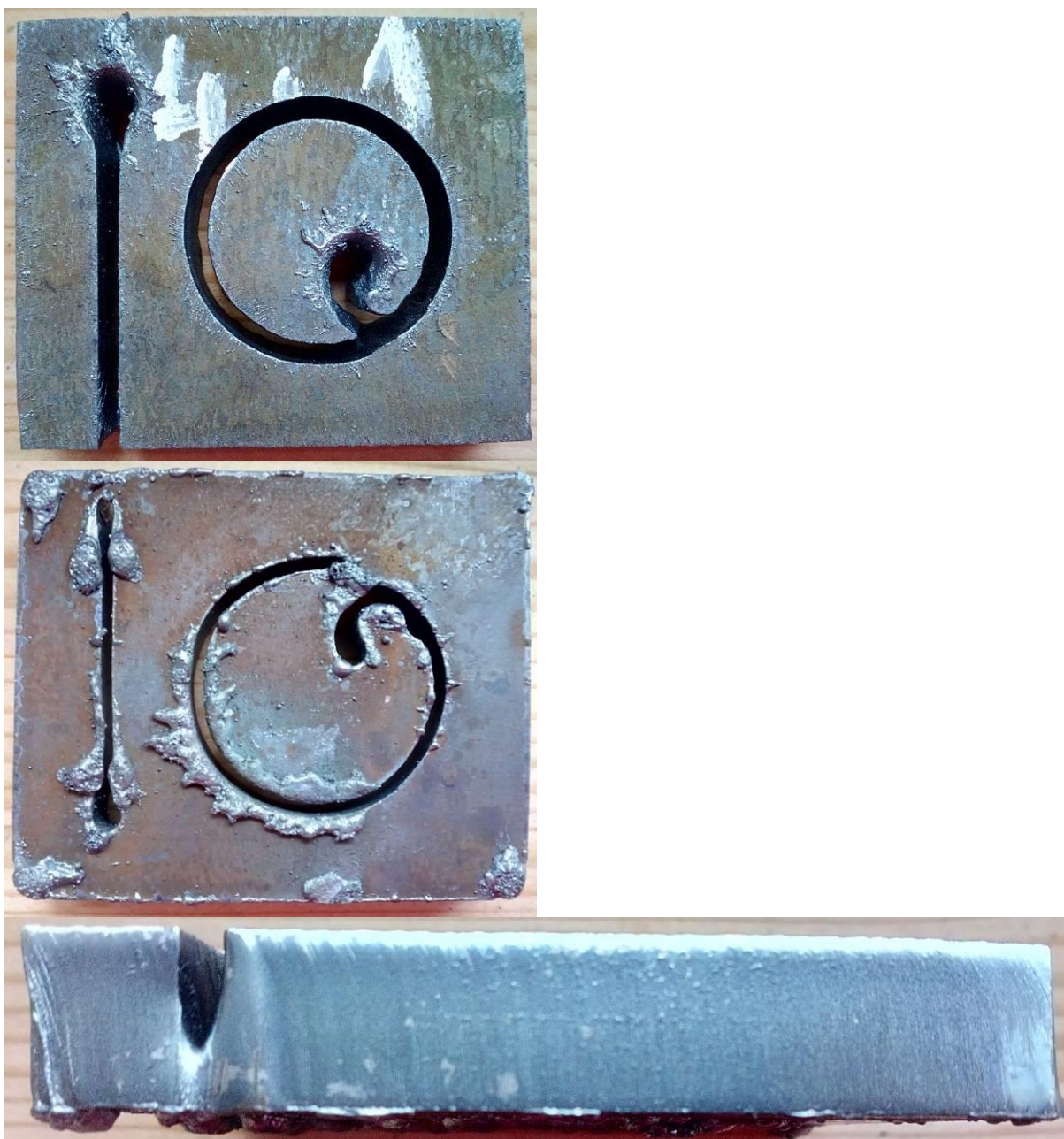
4.5 Узорци 4.1, 4.2 и 4.3

На слици 3.34 је приказан оштећен горионик са неправилним отвором.



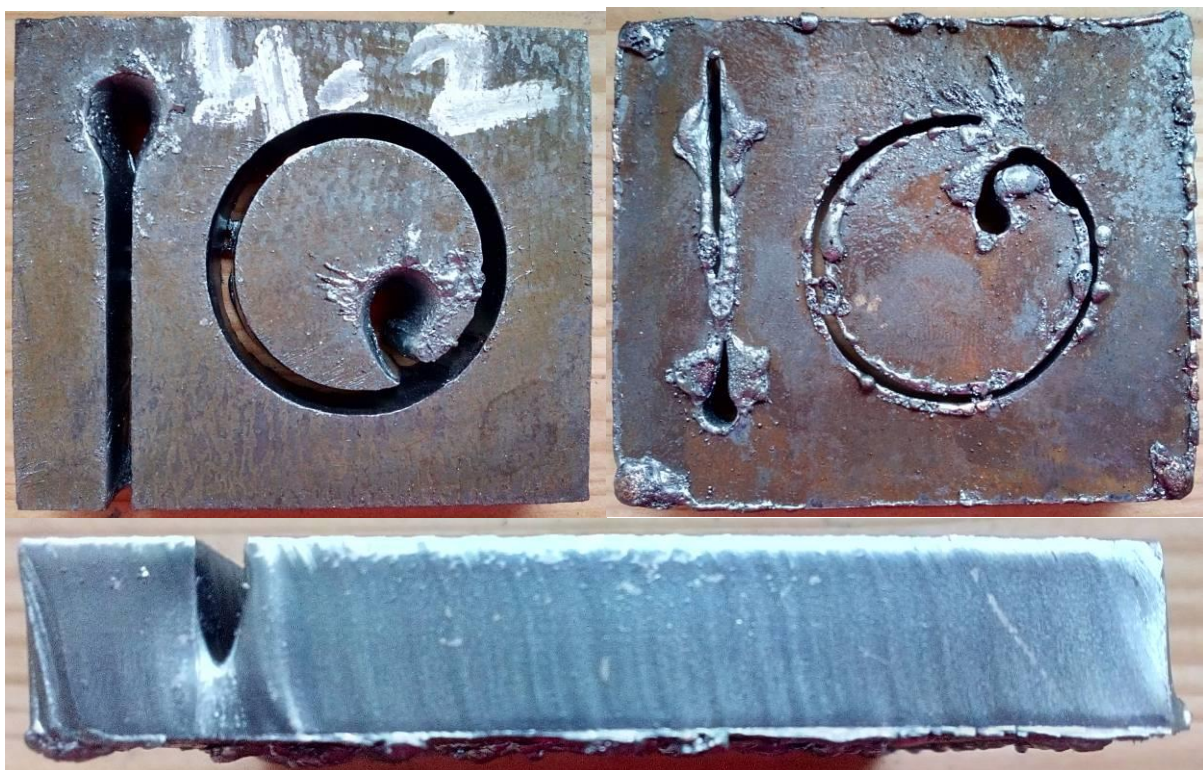
Слика 3.34 Горионик 4

Испитивањем узорка 4.1 (слика 3.35) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $Ra=1.75 \mu m$, максимална висина неравнина $R_{max}=6.8 \mu m$. Максимална дебљина комада са троском је 11.8 mm, док је средња вредност дебљине комада са троском 11.36 mm. Ширина реза са горње стране је 2.1 mm, а са доње стране је 1.1 mm. Дужина узорка са горње стране је 59.2 mm, дужина са доње стране је 59.4 mm. Ширина узорка са горње стране је 49.3 mm, а са доње стране 49.5 mm. Код овог узорка није дошло до потпуног просецања отвора. Узорак 4.1 је сечен брзином од 1520 mm/min, тј. 80% од препоручене вредности од 1900 mm/min.



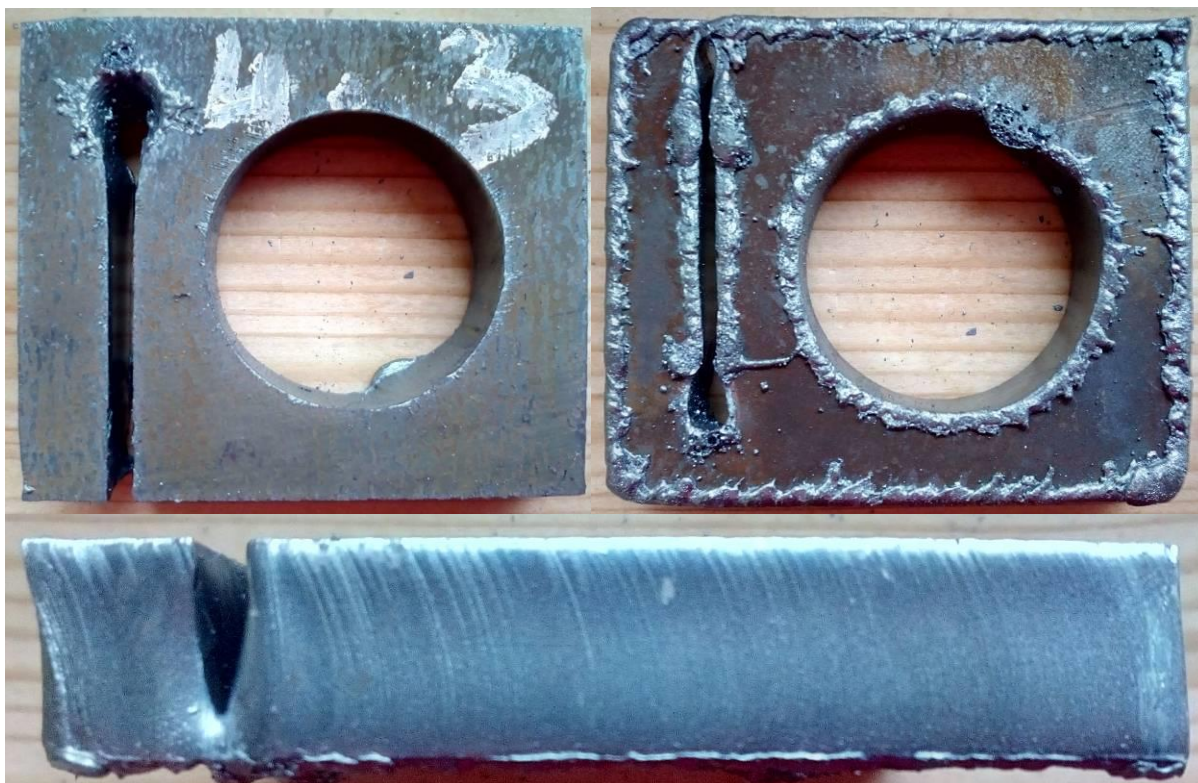
Слика 3.35 Узорак 4.1

Испитивањем узорка 4.2 (слика 3.36) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $Ra=1.88 \mu m$, максимална висина неравнина $R_{max}=15.8 \mu m$. Максимална дебљина комада са троском је 11.8 mm, док је средња вредност дебљине комада са троском 11.16 mm. Ширина реза са горње стране је 2 mm, а са доње стране је 1.2 mm уз непотпуно просецање. Дужина узорка са горње стране је 59.3 mm, дужина са доње стране је 59.7 mm. Ширина узорка са горње стране је 49.5 mm, а са доње стране 50 mm. Код овог узорка није дошло до потпуног просецања отвора. Узорак 4.2 је сечен брзином од 1900 mm/min, тј. 100% од препоручене вредности од 1900 mm/min.



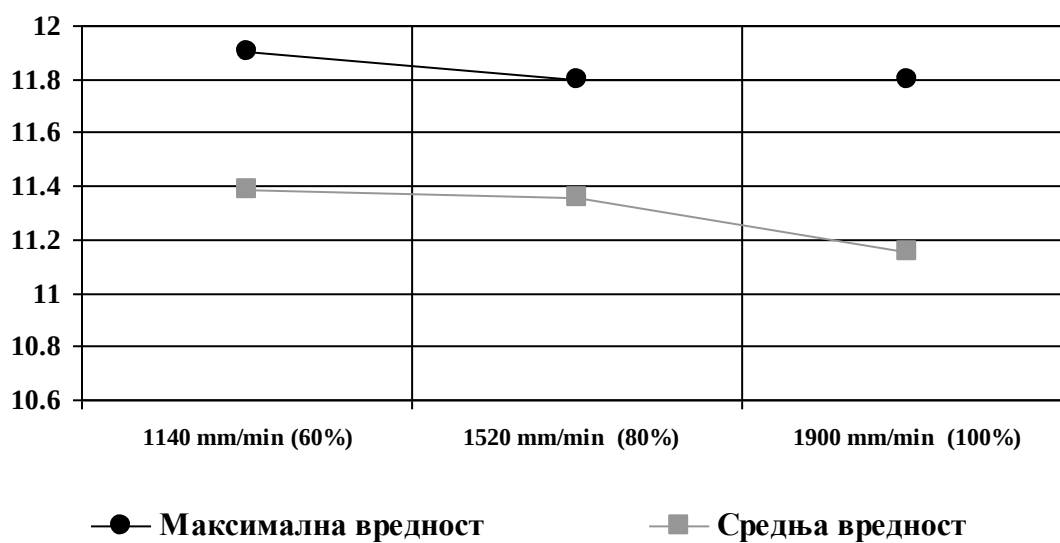
Слика 3.36 Узорак 4.2

Испитивањем узорка 4.3 (слика 3.37) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $R_a=1.15 \mu\text{m}$, максимална висина неравнина $R_{\text{max}}=17.4 \mu\text{m}$. Максимална дебљина комада са троском је 11.9 mm , док је средња вредност дебљине комада са троском 11.39 mm . Ширина реза са горње стране је 2.1 mm , а са доње стране је 1.4 mm . Дужина узорка са горње стране је 58.8 mm , дужина са доње стране је 58.9 mm . Ширина узорка са горње стране је 49 mm , а са доње стране 49.1 mm . Највећа ширина отвора са горње стране је 30.3 mm док је са доње стране 30 mm . Узорак 4.3 је сечен брзином од 1140 mm/min , тј. 60% од препоручене вредности од 1900 mm/min .



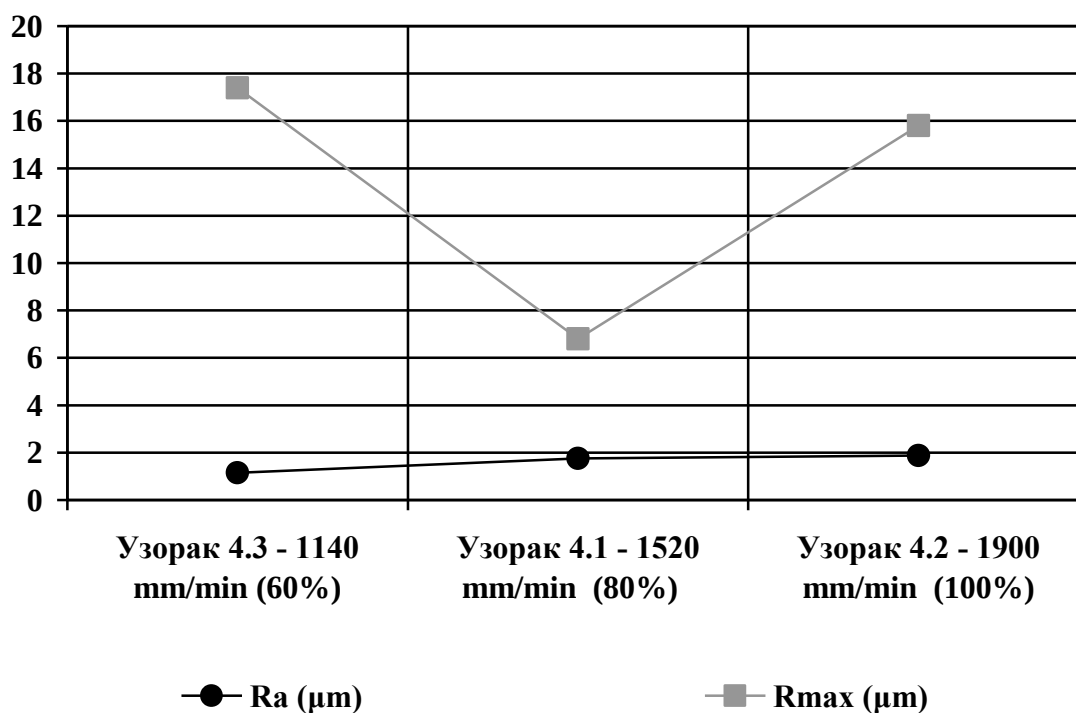
Слика 3.37 Узорак 4.3

На слици 3.38 је приказан дијаграм са којег се може видети да са повећањем брзине сечења опада средња вредност дебљине треске. Максимална вредност дебљине треске је највише изражена код минималне брзине од 60% од задате вредности, док је дебљина треске најнижа за брзине од 100%.



Слика 3.39 Зависност дебљине треске од брзине сечења

На слици 3.40 приказан је дијаграм зависности средњег аритметичког одступања профила од средње линије профила и максималне висине профила од брзине сечења. Са дијаграма се може видети да је уз примену оштећеног горионика са неправилним отвором вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила приближна за све брзине коришћене у овом испитивању, уз опадање за вредност од 60%, док је вредност максималне висине профила највише изражена на брзини од 60% од задате. Максимална висина неравнина за брзину од 80% је најниже вредности.



Слика 3.40 Утицај похабаности горионика и брзине сечења на храпавост

4.6 Узорци 5.1, 5.2 и 5.3

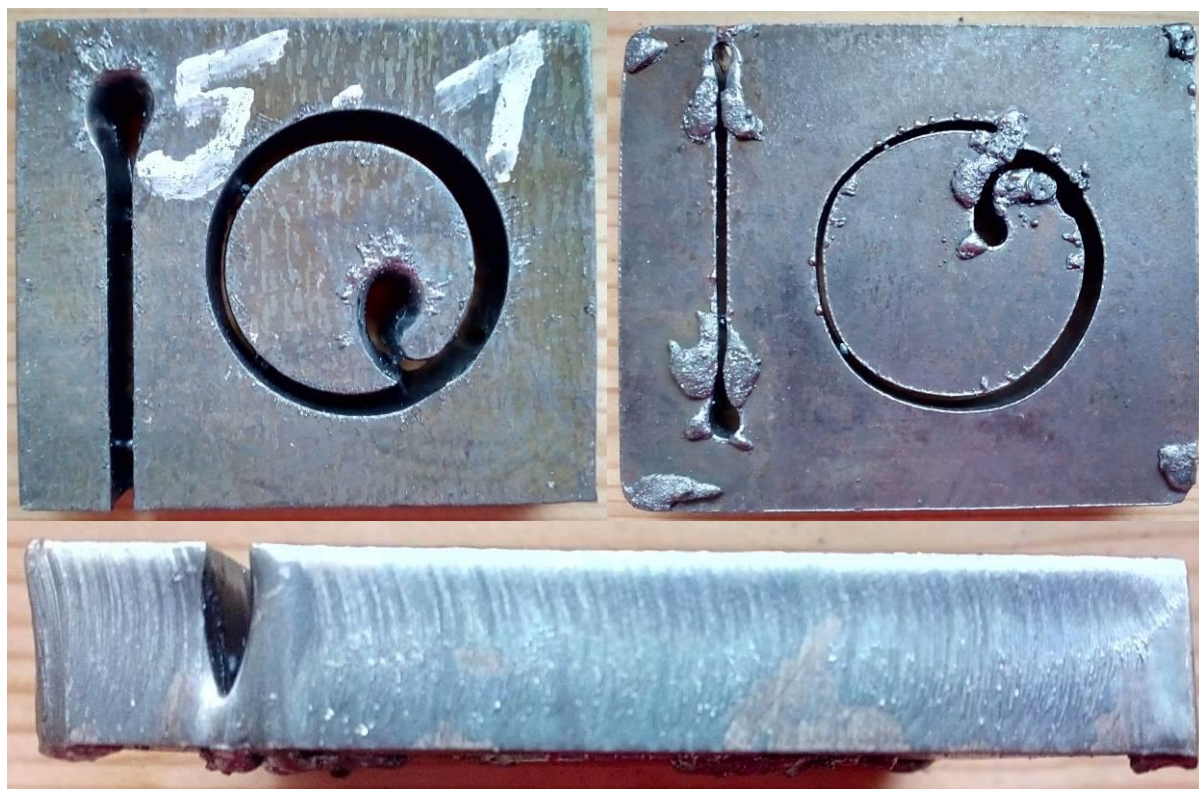
На слици 3.41 је приказан оштећен горионик са делимично истопљеним отвором.



Слика 3.41 Горионик 5

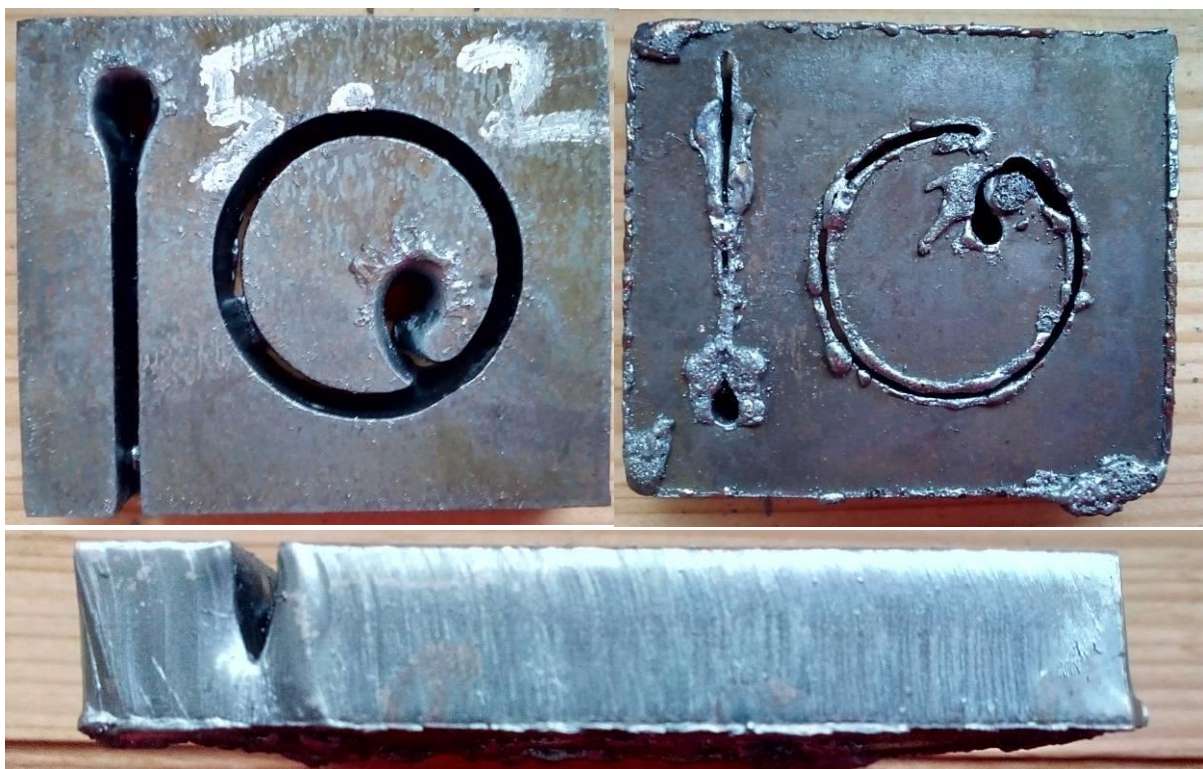
Испитивањем узорка 5.1 (слика 3.42) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $R_a=1.17 \mu\text{m}$, максимална висина неравнина $R_{\text{max}}=4.9 \mu\text{m}$. Максимална дебљина комада са троском је 11.5 mm, док је средња

вредност дебљине комада са троском 11.1 mm. Ширина реза са горње стране је 2 mm, а са доње стране је 0.9 mm. Дужина узорка са горње стране је 59.5 mm, дужина са доње стране је 59.8 mm. Ширина узорка са горње стране је 49.4 mm, а са доње стране 49.9 mm. Код овог узорка није дошло до потпуног просецања отвора. Узорак 5.1 је сечен брзином од 1520 mm/min, тј. 80% од препоручене вредности од 1900 mm/min.



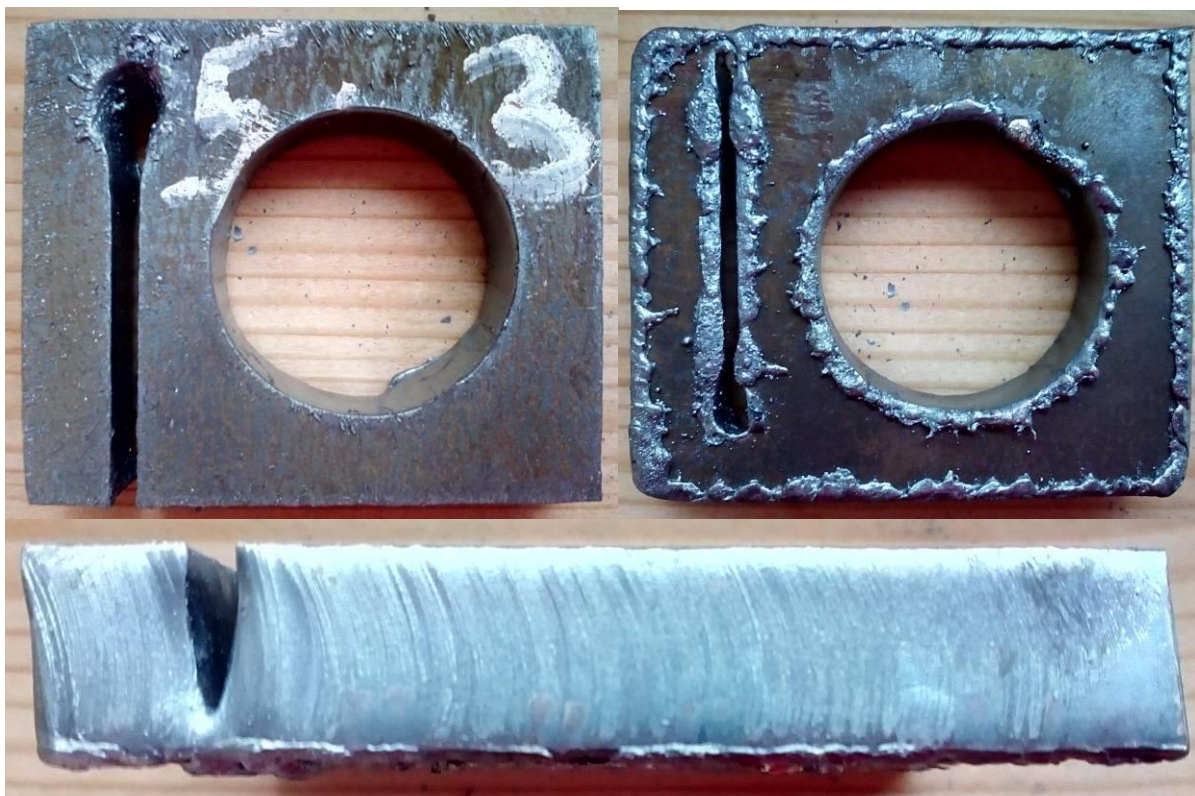
Слика 3.42 Узорак 5.1

Испитивањем узорка 5.2 (слика 3.43) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $R_a=1.18 \mu\text{m}$, максимална висина неравнина $R_{\text{max}}=14.6 \mu\text{m}$. Максимална дебљина комада са троском је 11.9 mm, док је средња вредност дебљине комада са троском 11.37 mm. Ширина реза са горње стране је 1.9 mm, а са доње стране је 1 mm уз непотпуно просецање. Дужина узорка са горње стране је 59.5 mm, дужина са доње стране је 60 mm. Ширина узорка са горње стране је 49.5 mm, а са доње стране 49.9 mm. Код овог узорка није дошло до потпуног просецања отвора. Узорак 5.2 је сечен брзином од 1900 mm/min, тј. 100% од препоручене вредности од 1900 mm/min.



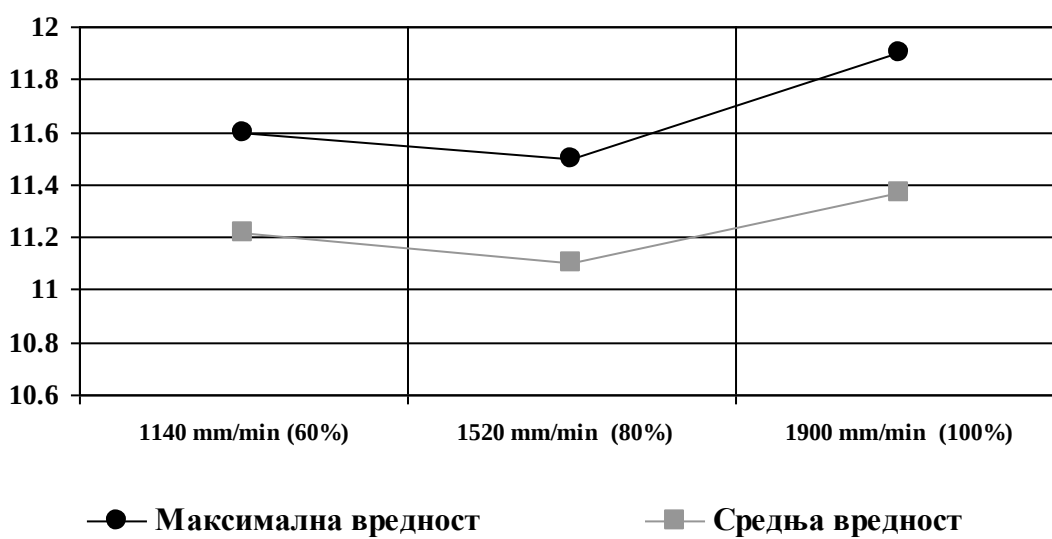
Слика 3.43 Узорак 5.2

Испитивањем узорка 5.3 (слика 3.44) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $Ra=0.71 \mu m$, максимална висина неравнина $Rmax=6.0 \mu m$. Максимална дебљина комада са троском је 11.6 mm, док је средња вредност дебљине комада са троском 11.22 mm. Ширина реза са горње стране је 2.2 mm, а са доње стране је 1.5 mm. Дужина узорка са горње стране је 59 mm, дужина са доње стране је 59.1 mm. Ширина узорка са горње стране је 48.9 mm, а са доње стране 49.5 mm. Највећа ширина отвора са горње стране је 30.5 mm док је са доње стране 30 mm. Узорак 5.3 је сечен брзином од 1140 mm/min, тј. 60% од препоручене вредности од 1900 mm/min.



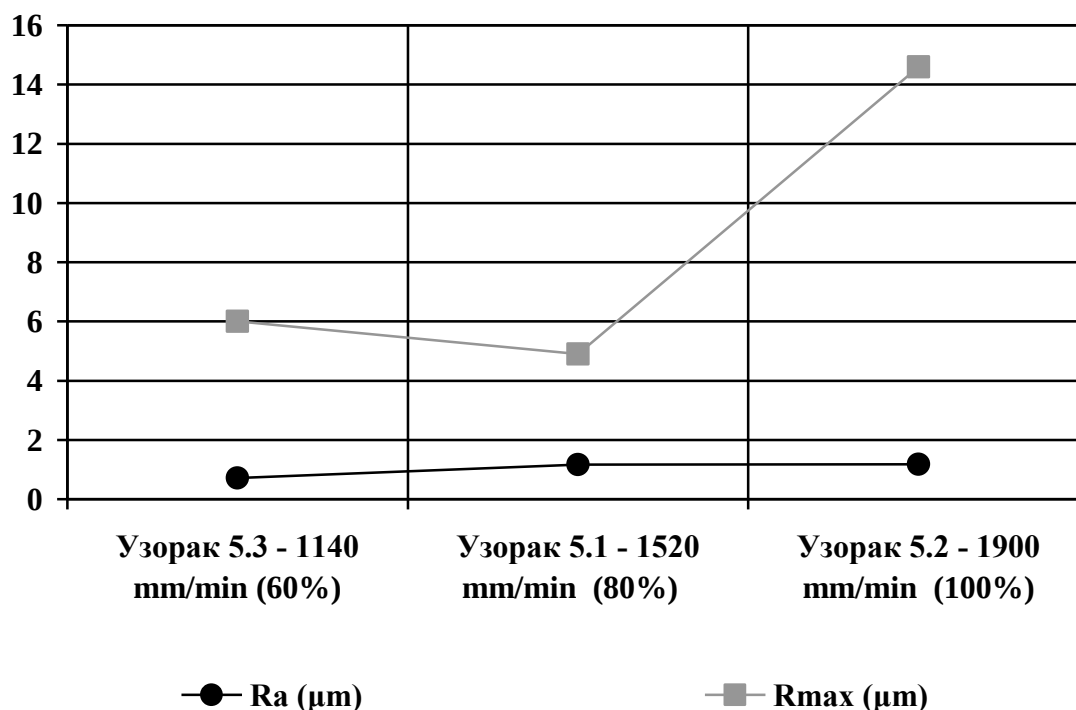
Слика 3.44 Узорак 5.3

На слици 3.45 је приказан дијаграм са којег се може видети да са повећањем брзине сечења, при брзини од 80% опада средња вредност дебљине троске, па се затим при брзини од 100% знатно повећава. Максимална вредност дебљине троске је највише изражена код брзине од 100% од задате вредности, док је дебљина троске најнижа за брзине од 80%.



Слика 3.45 Зависност дебљине троске од брзине сечења

На слици 3.46 приказан је дијаграм зависности средњег аритметичког одступања профила од средње линије профила и максималне висине профила од брзине сечења. Са дијаграма се може видети да је уз примену оштећеног горионика са делимично истопљеним отвором вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила приближна за све брзине коришћене у овом испитивању, уз благо опадање за вредност од 60%, док се вредност максималне висине профила драстично повећава при брзини од 100% од задате. Максимална висина неравнина за брзину од 60% је најниже вредности.



Слика 3.46 Утицај похабаности горионика и брзине сечења на храпавост

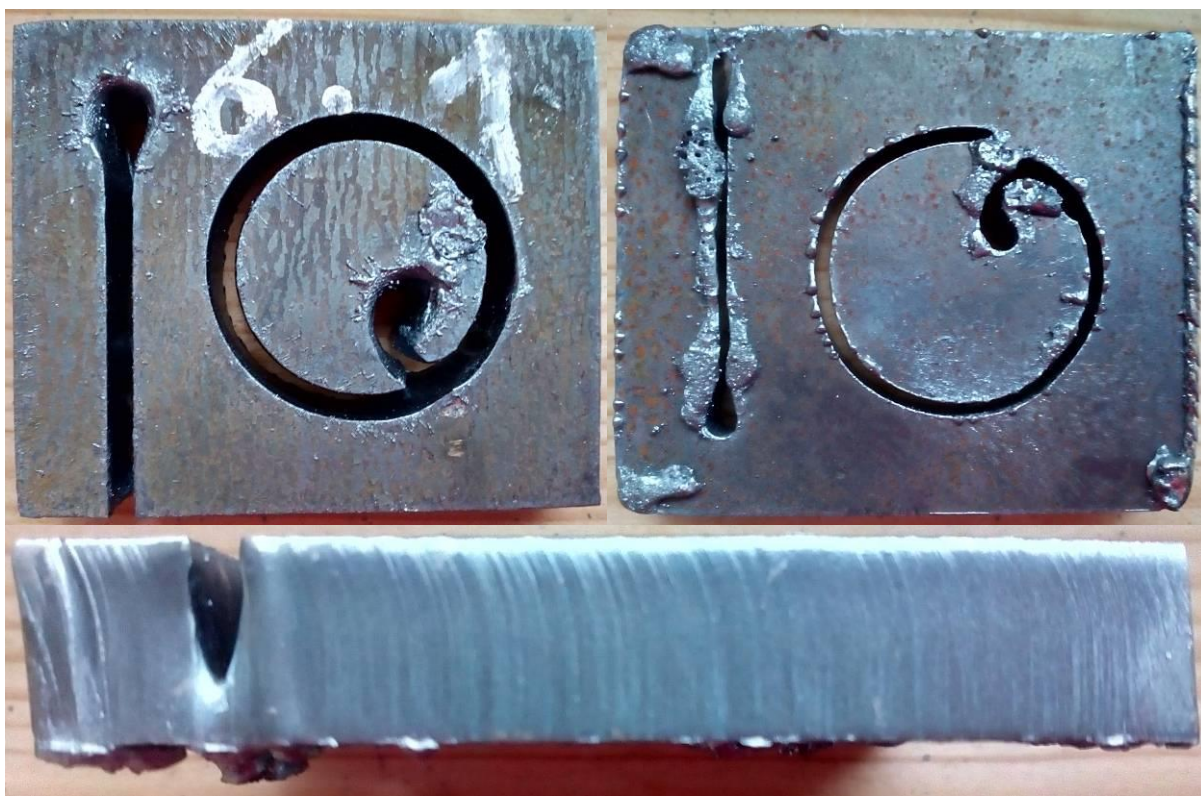
4.7 Узорци 6.1, 6.2 и 6.3

На слици 3.47 је приказан горионик за драстичним оштећењем отвора. Може се видети да је млаз плазме знатно нагризао и проширио отвор на горионику што би могло довести до неправилног млаза током даљег сечења.



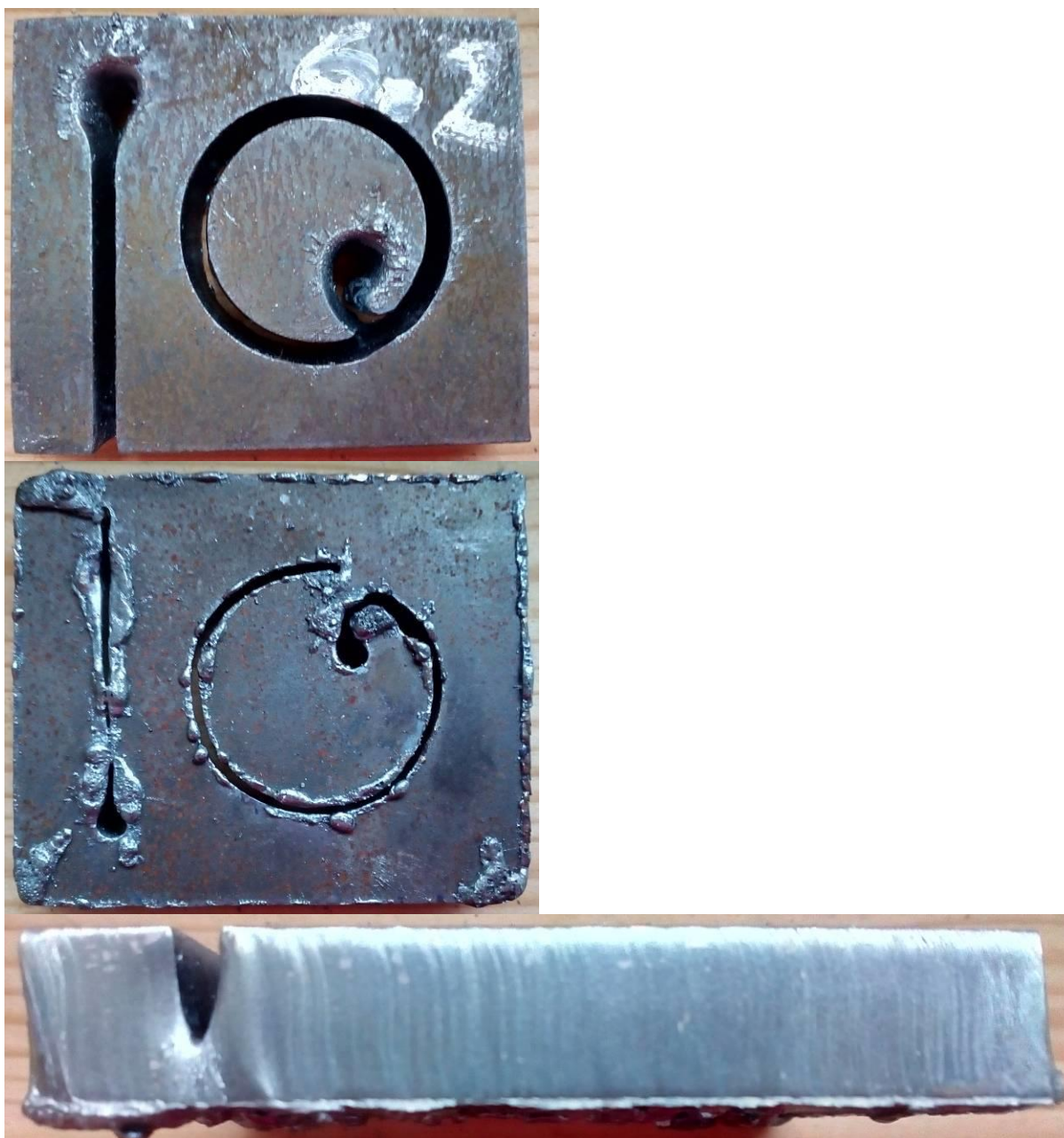
Слика 3.47 Горионик 6

Испитивањем узорка 6.1 (слика 3.48) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $R_a=1.37 \mu\text{m}$, максимална висина неравнина $R_{\text{max}}=7.8 \mu\text{m}$. Максимална дебљина комада са троском је 13 mm, док је средња вредност дебљине комада са троском 11.5 mm. Ширина реза са горње стране је 2 mm, а са доње стране је 0.7 mm. Дужина узорка са горње стране је 59.2 mm, дужина са доње стране је 59.7 mm. Ширина узорка са горње стране је 49.4 mm, а са доње стране 49.9 mm. Код овог узорка није дошло до потпуног просецања отвора. Узорак 6.1 је сечен брзином од 1520 mm/min, тј. 80% од препоручене вредности од 1900 mm/min.



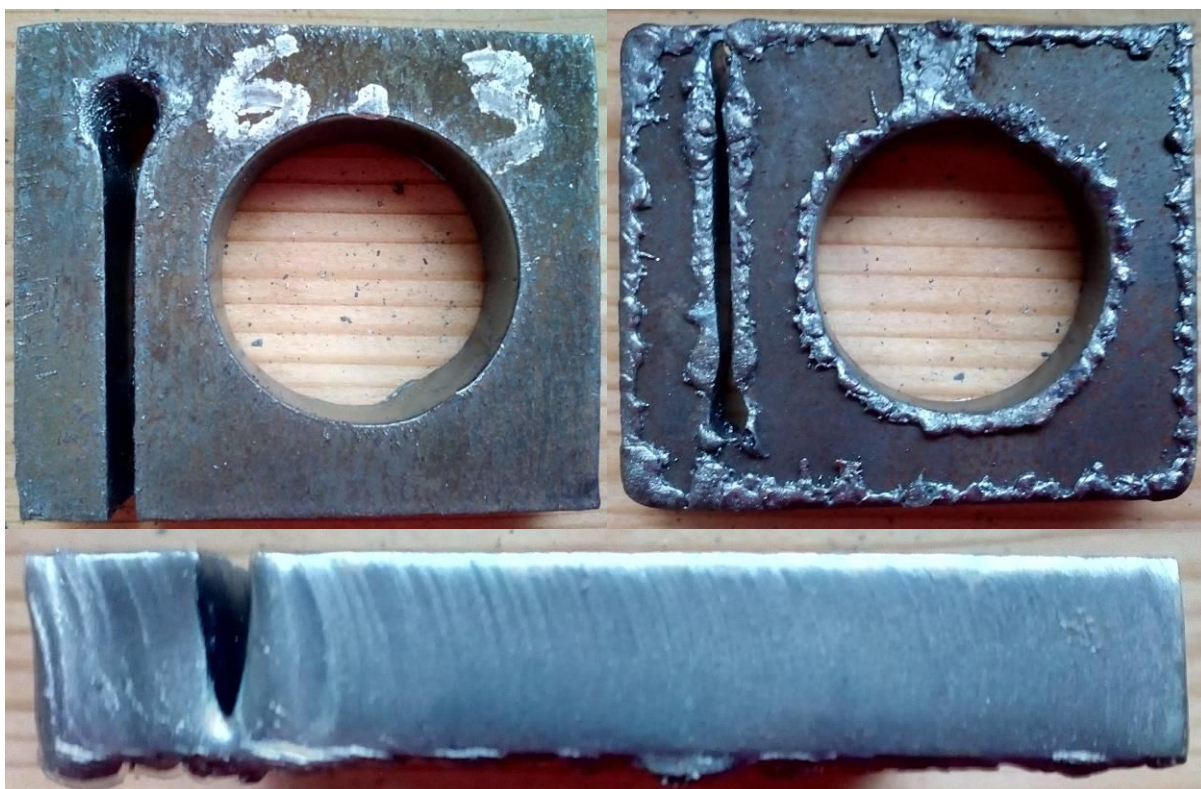
Слика 3.48 Узорак 6.1

Испитивањем узорка 6.2 (слика 3.49) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $R_a=1.98 \mu\text{m}$, максимална висина неравнина $R_{\text{max}}=7.7 \mu\text{m}$. Максимална дебљина комада са троском је 11.9 mm, док је средња вредност дебљине комада са троском 11.34 mm. Ширина реза са горње стране је 1.9 mm, а са доње стране је 0.8 mm уз непотпуно просецање. Дужина узорка са горње стране је 59.4 mm, дужина са доње стране је 59.8 mm. Ширина узорка са горње стране је 49.5 mm, а са доње стране 49.9 mm. Код овог узорка није дошло до потпуног просецања отвора. Узорак 6.2 је сечен брзином од 1900 mm/min, тј. 100% од препоручене вредности од 1900 mm/min.



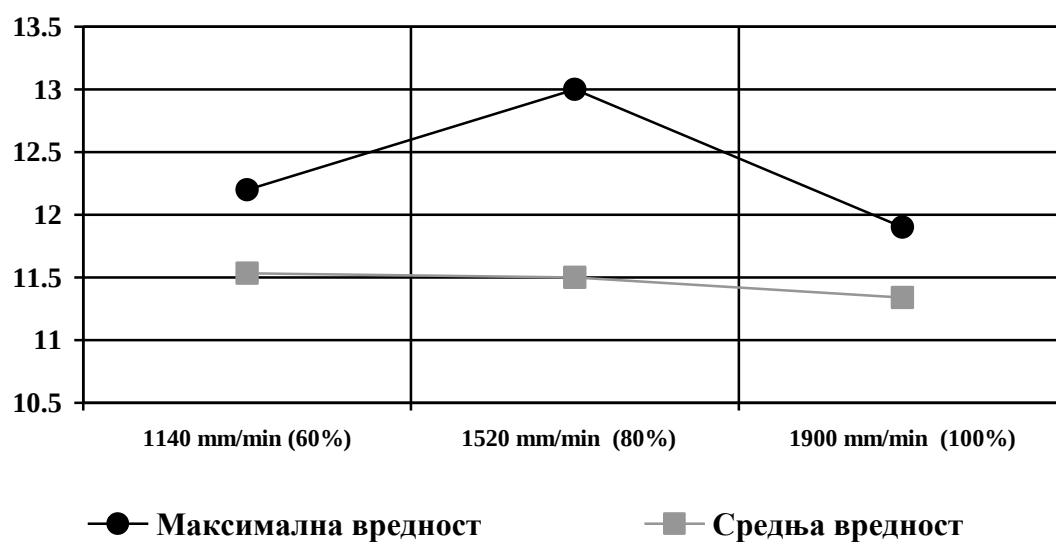
Слика 3.50 Узорак 6.2

Испитивањем узорка 6.3 (слика 3.51) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $Ra=0.71 \mu m$, максимална висина неравнина $R_{max}=5.1 \mu m$. Максимална дебљина комада са троском је 12.2 mm, док је средња вредност дебљине комада са троском 11.53 mm. Ширина реза са горње стране је 2.2 mm, а са доње стране је 1.4 mm. Дужина узорка са горње стране је 58.8 mm, дужина са доње стране је 59 mm. Ширина узорка са горње стране је 49.2 mm, а са доње стране 49.4 mm. Највећа ширина отвора са горње стране је 30.4 mm док је са доње стране 29.4 mm. Узорак 6.3 је сечен брзином од 1140 mm/min, тј. 60% од препоручене вредности од 1900 mm/min.



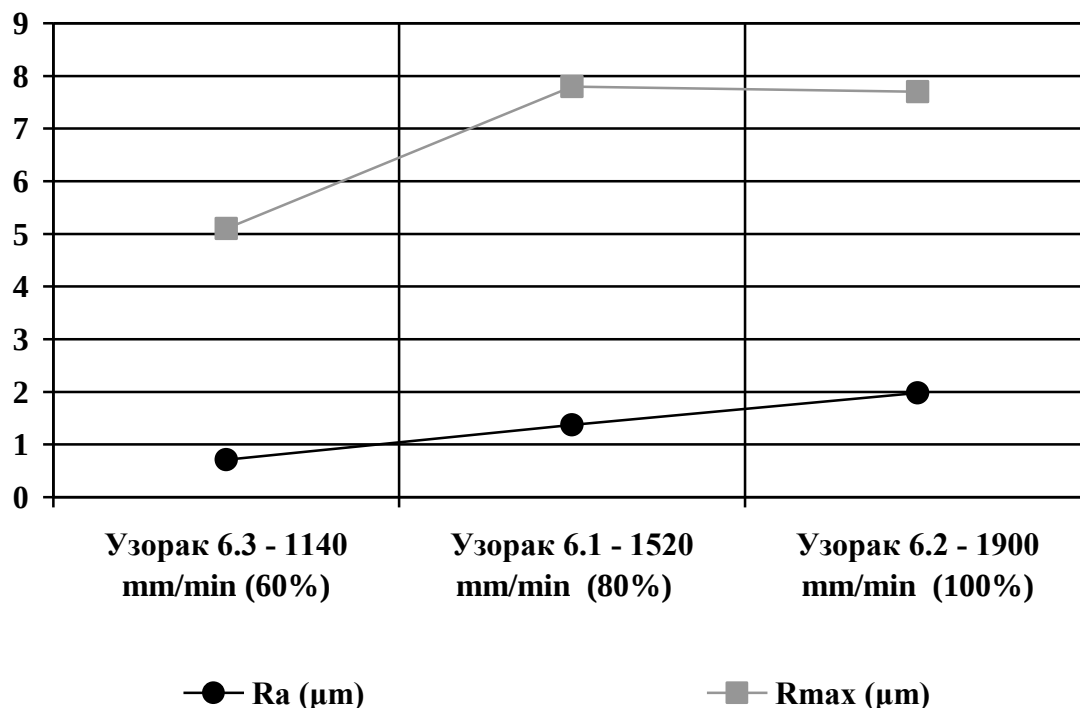
Слика 3.51 Узорак 6.3

На слици 3.52 је приказан дијаграм са којег се може видети да са повећањем брзине сечења, при брзини од 100% благо опада средња вредност дебљине троске. Максимална вредност дебљине троске је највише изражена код брзине од 80% од задате вредности, док је дебљина троске најнижа за брзине од 100%.



Слика 3.52 Утицај брзине сечења на дебљину троске

На слици 3.53 приказан је дијаграм зависности средњег аритметичког одступања профила од средње линије профила и максималне висине профила од брзине сечења. Са дијаграма се може видети да је уз примену драстично оштећеног горионика са неправилним отвором вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила постепено повећава. Максимална висина неравнина за брзину од 80% је највећа, док је за брзину од 60% најмања. Може се приметити да без обзира на драстично оштећен горионик, нема драстичних одступања у односу на претходне узорке.



Слика 3.53 Утицај похабаности горионика и брзине сечења на храпавост

4.8 Узорци 7.1, 7.2 и 7.3

На слици 3.54 је приказан горионик са залепљеним материјалом са унутрашње стране.



Слика 3.54 Горионик 7

Испитивањем узорка 7.1 (слика 3.55) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $Ra=9.9 \mu m$, максимална висина неравнина $R_{max}=70 \mu m$. Максимална дебљина комада са троском је 15.2 mm, док је средња вредност дебљине комада са троском 12.3 mm. Ширина реза са горње стране је 1.8 mm, а са доње стране је 0.9 mm. Дужина узорка са горње стране је 59.2 mm, дужина са доње стране је 59.6 mm. Ширина узорка са горње стране је 49.5 mm, а са доње стране 50.4 mm. Код овог узорка није дошло до потпуног просецања отвора. Узорак 7.1 је сечен брзином од 1520 mm/min, тј. 80% од препоручене вредности од 1900 mm/min.



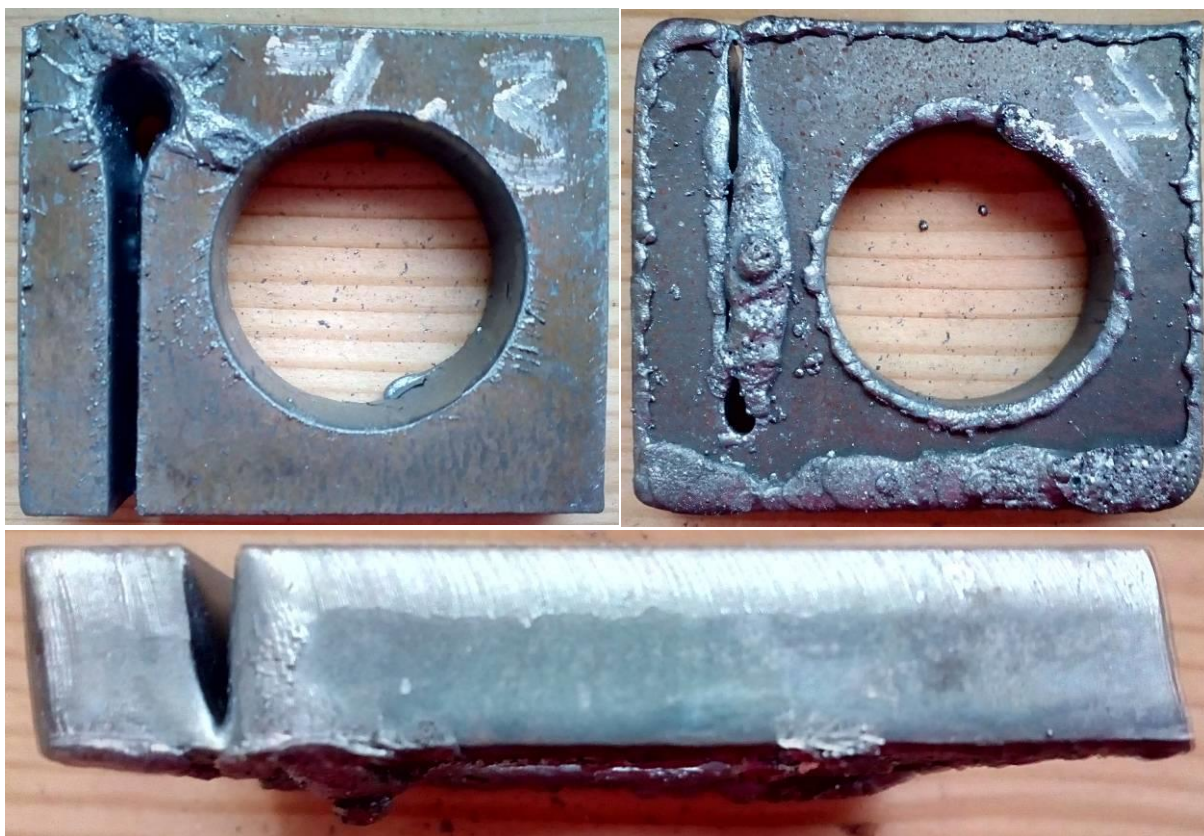
Слика 3.55 Узорак 7.1

Испитивањем узорка 7.2 (слика 3.56) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $R_a=5.3 \mu\text{m}$, максимална висина неравнина $R_{\text{max}}=36 \mu\text{m}$. Максимална дебљина комада са троском је 13.9 mm , док је средња вредност дебљине комада са троском 11.97 mm . Ширина реза са горње стране је 1.8 mm , а са доње стране није било просецања. Дужина узорка са горње стране је 59.6 mm , дужина са доње стране је 60 mm . Ширина узорка са горње стране је 49.7 mm , а са доње стране 50.2 mm . Код овог узорка није дошло до потпуног просецања отвора. Узорак 7.2 је сечен брзином од 1900 mm/min , тј. 100% од препоручене вредности од 1900 mm/min .



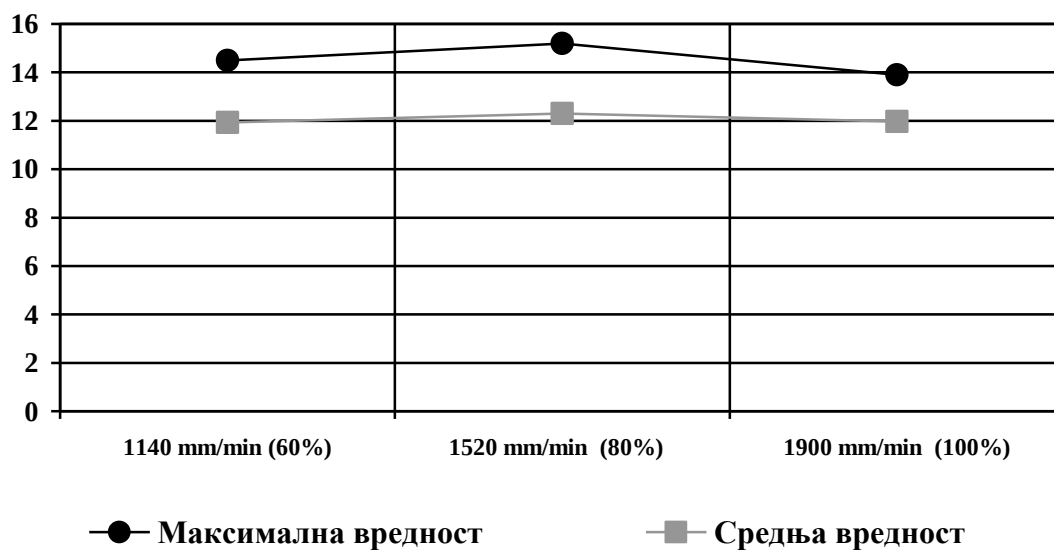
Слика 3.56 Узорак 7.2

Испитивањем узорка 7.3 (слика 3.57) добијена је вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила $R_a=1.5 \mu\text{m}$, максимална висина неравнина $R_{\text{max}}=9.7 \mu\text{m}$. Максимална дебљина комада са троском је 14.5 mm, док је средња вредност дебљине комада са троском 11.93 mm. Ширина реза са горње стране је 2 mm, а са доње стране је 1.1 mm. Дужина узорка са горње стране је 58.8 mm, дужина са доње стране је 59 mm. Ширина узорка са горње стране је 49.1 mm, а са доње стране 49.7 mm. Највећа ширина отвора са горње стране је 30.3 mm док је са доње стране 29.5 mm. Узорак 7.3 је сечен брзином од 1140 mm/min, тј. 60% од препоручене вредности од 1900 mm/min.



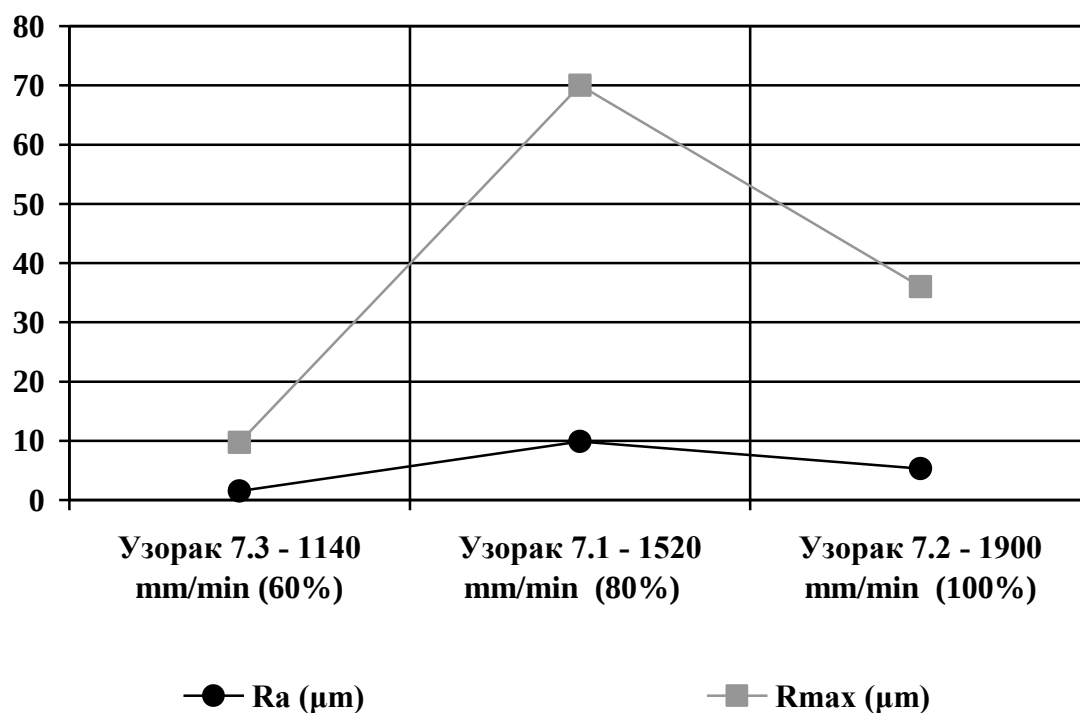
Слика 3.57 Узорак 7.1

На слици 3.58 је приказан дијаграм са којег се може видети да са повећањем брзине сечења, при брзини од 80% благо опада средња вредност дебљине треске. Максимална вредност дебљине треске је највише изражена код брзине од 80% од задате вредности, док је дебљина треске најнижа за брзине од 100%.



Слика 3.58 Утицај брзине сечења на дебљину треске

На слици 3.59 приказан је дијаграм зависности средњег аритметичког одступања профила од средње линије профила и максималне висине профила од брзине сечења. Са дијаграма се може видети да је уз примену "залепљеног" горионика, вредност средњег аритметичког одступања од средње линије профила постепено повећава. Максимална висина неравнина за брзину од 80% је највећа, док је за брзину од 60% најмања. Може се приметити да максимална висина неравнина убедљиво највећа при брзини сечења од 100% од задате вредности.



Слика 3.59 Утицај брзине сечења и похабаности горионика на храпавост

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.

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 спроведеног испитивања можемо закључити да похабаност и оштећења горионика (од благих до драстичних) немају драстичан утицај на процес сечења и квалитет реза, иако постоје значајна одступања у одређеним параметрима као што су хрпаваост обрађених површина, габаритне димензије, нагиб бочних страница и страница отвора, дебљину реза и дебљину троске на које већи утицај има сама брзина сечења, чијим прилагођавањем можемо добити тражени квалитет површине. Горионици мањег нивоа похабаности се у теорији могу још користити, али пошто је препорука произвођача да се, приликом замене електроде, замене дизна и горионик, који се наручују у пакету, сматрам да нема потребе ризиковати оштећења главе плазме.

6. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Недић М., Лазић М.: Производне технологије-обрада метала резањем, предавања, Факултет инжењерских наука Крагујевац, 2007.
- [2] Лазић М. : Неконвенционални поступци обраде, Научна књига, Београд, 1990.
- [3] <https://www.engineeringclicks.com/plasma-arc-cutting-pac/> 11.2017.
- [4] <http://www.westermans.com/cncplasma.aspx>
- [5] <http://www.cityplasma.co.uk/cnc-plasma-cutter-table/>
- [6] http://www.bocgas.com.au/internet.lg.lg.aus/en/images/BOC%20Facts%20about%20plasma%20technology351_68107.pdf
- [7] Квалитет обраде код плазма сечења- IMK14-No.19-1-2_SR