

## TEHNOLOGIJA IZRADE MOSTA ZA CNC STROJ

### Technology of portal making for CNC machine

Ivan Sigurnjak, Radojka Marković, Dejan Marić, Antun Stoić, Josip Cumin, Miroslav Duspara, Ivan Samardžić

Sveučilište J.J. Strossmayera u Osijeku, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu

**Ključne riječi:** Tehnologija, most, CNC stroj, laser, rezacica

#### Sažetak

U radu je opisana namjena i princip rada stroja, tehničke karakteristike i zahtjevi, korištene tehnologije za izradu, proračun troškova i potrebna dokumentacija.

Za izradu je potrebno osigurati nužnu tehničku dokumentaciju, odabrati materijal te biti dobar poznavatelj svih tehnologija koje su korištene, kako bi proizvodnja dijelova bila što povoljnija, uz ostvarene zahtjeve i tolerancije.

Uz standardne tehnologije poput rezanja pilom, brušenja, zavarivanja, pjeskarenja, površinske zaštite, korištene su i nove proizvodne tehnologije, kao što su glodanje, bušenje i upuštanje na numerički upravljenim strojevima, te rezanje vodenim mlazom.

Obuhvaćene su sve tehnologije od rezanja i pripreme materijala, do montaže proizvoda.

**Keywords:** Technology, portal, CNC machine, laser, cutter

#### Abstract

In this labor are described purpose and working mode of machine, technical characteristics and requirements, used technologies for making, cost calculation, and needful documentation.

For making is necessary to prepare needful technical documentation, choose the material and be a good knower of all technologies which are used, to make part production cheaper with achieved requirements and tolerances. Expect standard technologies like saw cutting, grinding, welding, sandblasting, surface protection, there are used new making technologies like milling, drilling, countersinking on numerical controlled machines, and also, water jet cutting.

In labour are included all technologies, from cutting and preparing of material to montage of product.

#### 1. UVOD

Izrađivani most namijenjen je za CNC stroj za lasersko rezanje. Može se koristiti i za ostale metode rezanja, kao što su rezanje vodom, plinskim plamenom i plazmom. Potrebno je ostvariti visoku točnost pozicioniranja zbog vrlo tankog reza, debljine oko 0,3 mm. Most također mora imati veliku krutost zbog velikih brzina gibanja koje iznose i do 80 m/min (slika 1.1).



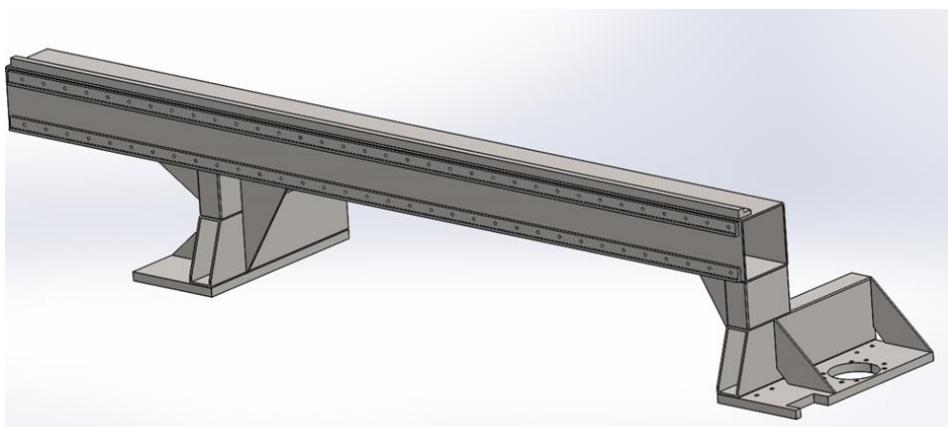
Slika 1 Most CNC laserske rezačice

Laserske rezačice odlikuje visoki učinak, dobra kvaliteta reznih površina te brzina rezanja. Ovim postupkom se mogu rezati gotovo svi metali. Vanjske dimenzije stroja su 3700x2000 mm, a dimenzije radnog stola su 2575x1300 mm, što je dovoljno za rad s limovima standardnih dimenzija 1250x2500 mm. Moguće maksimalne debljine rezanja su 10 mm za „crne“ čelike i 6 mm za nehrđajuće čelike. Stroj može rezati cijevi okruglog, kvadratnog i pravokutnog profila, maksimalnog promjera 100 mm za okrugle i dimenzija 100x100 mm za kvadratne presjeke. Najveća brzina koja se može ostvariti na stroju je 80 m/min, dok maksimalna brzina rezanja stroja iznosi 20 m/min za limove debljine 1 mm.

Točnost i ponovljivost pozicioniranja glave rezačice je 0,08 mm. Najveći izazov pri izradi strojeva poput laserske rezačice je upravo ostvarivanje visokih točnosti uz velike brzine rezanja, što značajno utječe i na cijenu same izrade pojedinih dijelova.

## 2. IZRADA TEHNIČKE DOKUMENTACIJE ZA CNC STROJ

Modeli i tehnička dokumentacija izrađeni su u računalnom programu Solidworks (slika 3.1, slika 3.2). S lakoćom se izrađuju 3D modeli objekata raznih oblika. Iz izrađenog modela jednostavno je dobiti 2D crteže sa svim podacima potrebnim za izradu. Također je znatno olakšan rad pri izradi programa za obradu na CNC strojevima. I u ovom slučaju je korišten računalni model pri izradi programa i g-koda za strojnu obradu s više alata na obradnom centru (slika 3.3). To je odlika suvremene pripreme koja znatno olakšava rad, smanjuje mogućnost pogreške, utječe na ekonomičnost i konkurentnost na tržištu. Tehničku dokumentaciju izrađenu na ovaj način jednostavno je sačuvati, a može biti korištena i izmijenjena u slučaju kasnije izrade takvog ili sličnog sklopa.



Slika 2 Solidworks 3D model mosta



Slika 3 Solidworks 3D laserske rezacice

### 3. ZAVARIVANJE MAG POSTUPKOM

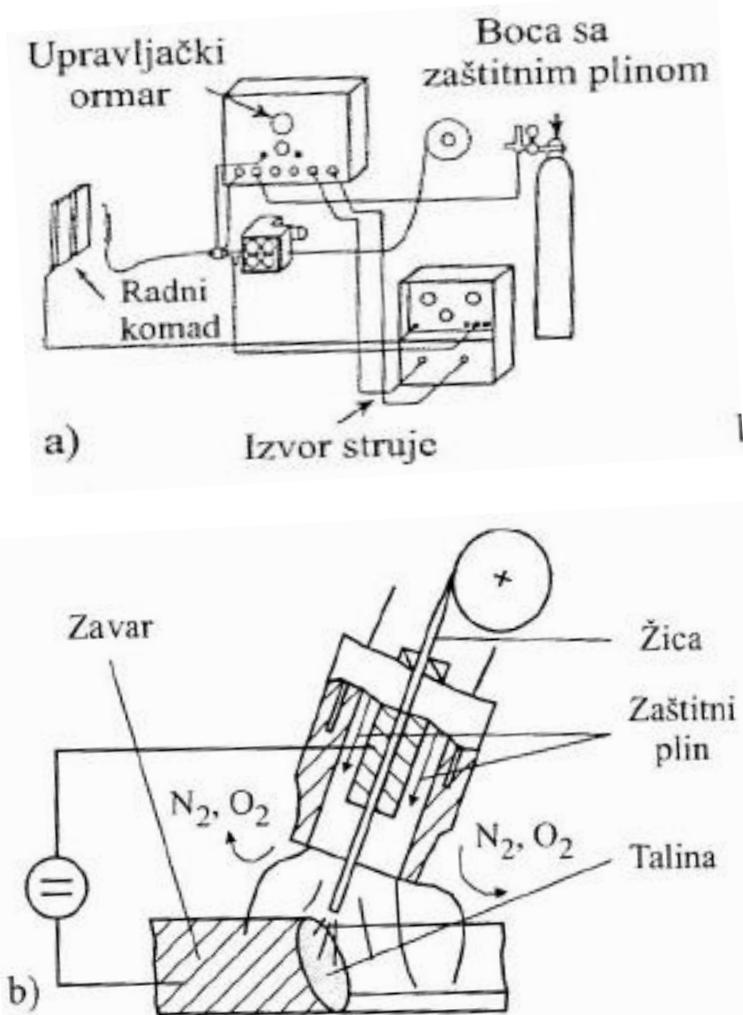
Elektrolučno zavarivanje metalnom taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi plinova pripada u postupke zavarivanja taljenjem. MAG postupak (metal active gas) zavarivanja odvija se u zaštitnoj atmosferi aktivnog plina CO<sub>2</sub> ili mješavini s pretežnim udjelom CO<sub>2</sub>. Mag postupak se u praksi često naziva i CO<sub>2</sub> postupak. Za zaštitu električnog luka i rastaljenog materijala od okolne atmosfere moraju se koristiti zaštitni plinovi. Do nastanka električnog luka dolazi između elektrode, uglavnom spojene na + pol izvora istosmjerne struje i osnovnog materijala. Za stabilno održavanje luka nije moguće koristiti izmjeničnu struju zbog slabe ionizacije. [1]

Toplina ostvarena u električnom luku dovodi do taljenja osnovnog i dodatnog materijala. Žica ima funkciju elektrode i dodatnog materijala. Ovaj postupak se često koristi kao automatski, poluautomatski ili robotiziran postupak. Kod robotiziranog postupka, zavarivač prati samo rad stroja, dok su parametri ranije definirani. Kod poluautomatskih postupaka mehanizirano je dodavanje žice, dok se zavarivanje izvodi ručno. Automatski postupci su vođeni mehanički, ali bez primjene robota. U metalnoj industriji najčešće se koriste poluautomatski postupci zbog svoje jednostavnosti i fleksibilnosti. Jedina razlika između MIG i MAG postupka je korištenje različitih zaštitnih atmosfera. [1]

Izvor struje mora biti priključen na električnu mrežu s koje dobiva energiju. Struja za zavarivanje dovodi se iz izvora vodičima, od kojih se jedan priključuje na radni komad, a drugi preko upravljačko razvodne jedinice na pištolj za zavarivanje. Preko kontaktne provodnice koja se nalazi u pištolju električna struja prolazi žicom za zavarivanje, koja se pomoću elektromotora automatski odmata jednoličnom brzinom, te se kroz pištolj dodaje u električni luk. Zaštitni plin iz boce na mjesto zavara dolazi kroz sapnicu pištolja. Također prolazi kroz upravljačku jedinicu stroja (slika 4.3). U atmosferu luka zaštitni plin se upuhuje kroz sapnicu. Kontaktne provodnice je potrošni dio kod ovog postupka zavarivanja. Njena uloga je provođenje struje na žicu i vođenje iste. Sapnica se koristi za usmjeravanje zaštitnog plina prema luku, te je također jedan od potrošnih dijelova. Zbog čestih

izmjena, lako se mijenjaju. Pištolji za zavarivanje mogu biti hlađeni vodom ili zrakom, ovisno o količini topline koja nastaje u radu. [1]

Prije početka zavarivanja potrebno je namjestiti dovod plina i parametre zavarivanja. Kod poluautomatskog zavarivanja, pištolj se prinosi radnom komadu, do mjesta početka zavarivanja, te se pritiskom na gumb koji se nalazi na pištolju uspostavlja električni luk, dodavanje žice i zaštitnog plina. Plin se dodaje otvaranjem elektromagnetskog ventila, a to se događa prije izlaženja žice iz kontaktne provodnice. Električni luk se uspostavlja zatvaranjem strujnog kruga kada žica dotakne radni komad. Zatim se pomiče pištolj određenom tehnikom zavarivanja, u potrebnom smjeru. Brzina zavarivanja ovisi o brojnim uvjetima, najviše o debljini i vrsti osnovnog i dodatnog materijala. Nastankom električnog luka dolazi do taljenja i mješanja osnovnog i dodatnog materijala, spajaju se i skrućivanjem nastaje zavareni spoj. [1]



Slika 4 Shematski prikaz uređaja (a) i procesa MIG/MAG zavarivanja (b) [1]

Izvori struje se konstantno usavršavaju kako bi bilo moguće što bolje i preciznije podesiti parametre zavarivanja. Izvori struje mogu biti tranzistori i tiristorski. Tranzistori su tehnološki napredniji zbog jednostavnije regulacije parametara. Na većini novih uređaja moguće je automatski odrediti ostale parametre, na osnovu jednog poznatoga. [1]

### 3.1 Dodatni materijal za MAG zavarivanje

Za ovaj postupak koriste se dvije vrste žica, pune i praškom punjene žice. Pune su najčešće promjera 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,6 mm. Za ostvarivanje zadovoljavajućeg zavarenog spoja ovim postupkom žica mora zadovoljiti mnoge uvjete kao što su: kemijski sastav, kvaliteta površine,

odmatanje s koluta tijekom rada. Kod kemijskog sastava je poželjno da bude što sličniji osnovnom materijalu. Žice su pobakrene ili niklane kako bi se ostvario bolji električni kontakt i kako bi se povećala otpornost na koroziju. Žica se s koluta mora odmatati pravilno i jednoliko. Površina žice mora biti glatka, uredno namotana i točnih dimenzija. U proizvodnji dodatnih materijala pune žice se dobivaju hladnim vučenjem, a punjene savijanjem metalne trake posute bazičnim ili rutilnim praškom. [1]

### **3.2 Uloga zaštitnih plinova kod MAG zavarivanja**

Uloga zaštitnih plinova je očuvanje mesta zavara i kapljica rastaljenog materijala od nepovoljnog djelovanja atmosfere. Zaštita plinom se odražava i na električno – fizikalna svojstva električnog luka (oblik, geometrija, energija ionizacije), metalurške reakcije u kupci zavara i tehnološke parametre (dubina penetracije, širina zavarenog spoja). Kod zavarivanja nelegiranih i niskolegiranih konstrukcijskih čelika koriste se aktivni plinovi (MAGC postupak – čisti CO<sub>2</sub>) ili mješavine (MAGM postupak – CO<sub>2</sub>/Ar/O<sub>2</sub>). Dobro je poznata štetnost utjecaja kisika na zavarene spojeve, ali se on ipak dodaje argonu i ugljičnom dioksidu zbog utjecaja na površinski napon kapljica, a time se osigura bolji prijenos materijala. [1]

Aktivni plinovi dovode do reakcija ugljičnog dioksida i rastaljenog metala. Ugljični dioksid je na sobnoj temperaturi inertan plin, ali na temperaturama zavarivanja, preko 1600 °C se raspada na ugljični monoksid i slobodni kisik, te na taj način postaje aktivni plin. Nastaju reakcije slobodnog kisika i rastaljenog željeza. Tom reakcijom nastaje FeO koji narušava mehanička svojstva zavara te daljnjim reakcijama dovodi do nastanka poroznosti zavarenog spoja. Zbog toga dodatni materijali za MAG postupak veće količine dezoksidansa koji će s kisikom tvoriti stabilnije oksidne spojeve. Ti oksidi se izlučuju kao tanki sloj troske. Time je smanjena mogućnost grešaka u zavarenom spaju. [1]

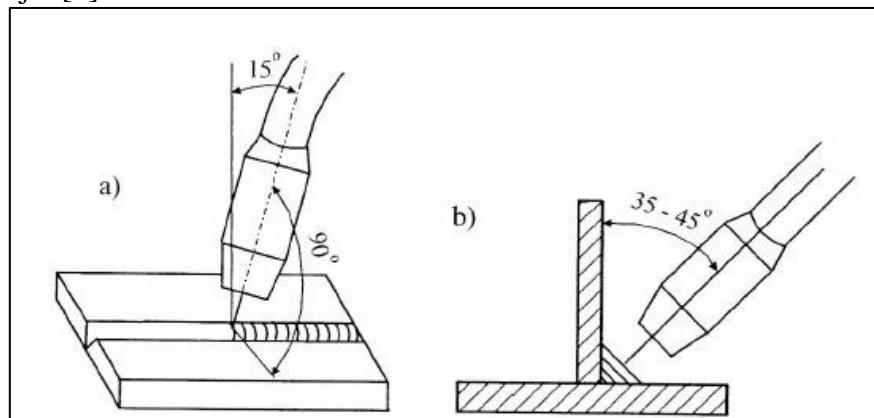
### **3.3 Parametri MAG zavarivanja**

Najvažniji parametri koji utječu na kvalitetu zavarenog spoja MAG postupkom su: jakost struje, promjer žice, napon, brzina zavarivanja, duljina slobodnog kraja žice i količina zaštitnog plina. Optimalni parametri zavarivanja se najbolje postižu probno. Najčešće korištene jakosti su 120 – 300 A. Optimalna vrijednost jakosti se određuje ovisno o debljini osnovnog materijala, vrsti spoja, položaju izvođenja i promjeru dodatnog materijala. Jakost struje se regulira izborom brzine dodavanja žice. Povećanje jakosti dovodi do povećanja penetracije i učinkovitosti taljenja. Zbog toga nije poželjno koristiti previsoke jakosti struje jer to dovodi do povećanog prskanja tokom zavarivanja. [1]

Korištenje žica većeg promjera dovodi do većeg učinka taljenja, ali je potrebo koristiti stuje većih jakosti. U literaturi i priručnicima postoje upute za izbor jakosti struje, to ovisi o promjeru žice. Kod konstantne jakosti stuje veći učinak taljenja i penetracije se ostvaruje primjenom dodatnog materijala manjeg promjera. Širi zavar se ostvaruje primjenom žice većeg promjera. Uz određene jakosti potrebno je izabrati optimalni napon električnog luka. Primjenom niskog napona dobiva se uzak i ispušten zavar dok se primjenom jako visokih napona dobiva širok i nizak zavar, te dovodi do velikog prskanja materijala i loših mehaničkih svojstava spoja. Napon luka ovisi o duljini luka (za duži luk, potreban je veći napon). Izjednačavanjem brzine dobave i taljenja dodatnog materijala duljina električnog luka postaje stabilna. Do velikih promjena jakosti struje može doći zbog malih promjena duljina luka, kao što je npr. drhtanje ruke. To dovodi i do promjene brzine taljenja. Ukoliko se koristi preveliki napon ili duljina luka, dolazi do neželjene pojave smanjenja zaštite rastaljenog materijala, što dovodi do loših mehaničkih svojstava zavara. Zbog ostvarenja boljih mehaničkih svojstava zavarenog spoja, za jakost je poželjno odabrati najniži napon električnog luka. U literaturi su za različite promjere žice navedeni odnosi jakosti struje i napona. [1]

Važno je uspostaviti optimalan odnos između količine taline i brzine zavarivanja. Prevelika količina taline, a mala brzina zavarivanja i obrnuto dovode do naljepljivanja kao jedne od pogrešaka karakterističnih za MAG postupak. Pri sučeonom zavarivanju pištolj je potrebno držati nagnutim pod

kutem od  $15^\circ$  od okomite osi , a kod kutnog zavarivanja pod kutem od  $35-45^\circ$  (slika 4.4). Takvim položajem pištolja osigurana je dobra kontrola taline i dobar pregled taljenja dodatnog materijala. Veliki nagib može dovesti do slabijeg provara i povećane pojave prskanja, a prilikom toga nastaje velika mogućnost reakcije zraka s rastaljenim materijalom. To također dovodi do pojave poroznosti u zavarenom spoju. [1]

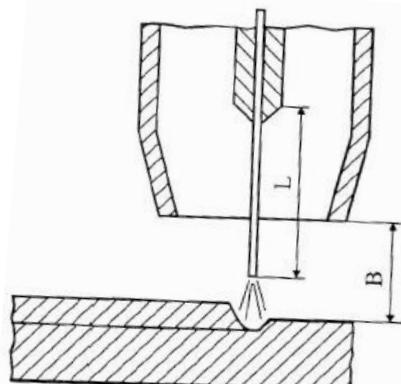


Slika 5 Nagib pištolja pri sučeonom (a) i kutnom zavarivanju (b) [1]

Slobodni kraj žice ( $L$ ) (tablica 4.1) je duljina žice između početka električnog luka (slika 4.5) i izlaza iz kontaktne provodnice. Ta duljina bi trebala biti 13 puta veća od promjera žice, ali nikako ne smije biti veća od 20 mm. Veće odstupanje može dovesti do promjene odnosa napona i jakosti struje. Povećanjem slobodnog kraja žice, povećava se otpor i dolazi do većeg zagrijavanja. To može dovesti do oštećenja sapnice i nepovoljnog vrtloženja zaštitne atmosfere u koju lakše dolazi do ulaska zraka. [1]

Tablica 1 Duljina slobodnog kraja žice i razmak sapnice od mjesta zavarivanja kod MAG zavarivanja

Jakost struje, A	Duljina slobodnog kraja žice ( $L$ ), mm	Udaljenost sapnice (B), mm
50	5	10
100	6	10
150	8	10
200	10	10
250	12	12
300	14	12
350	17	12
400	20	12



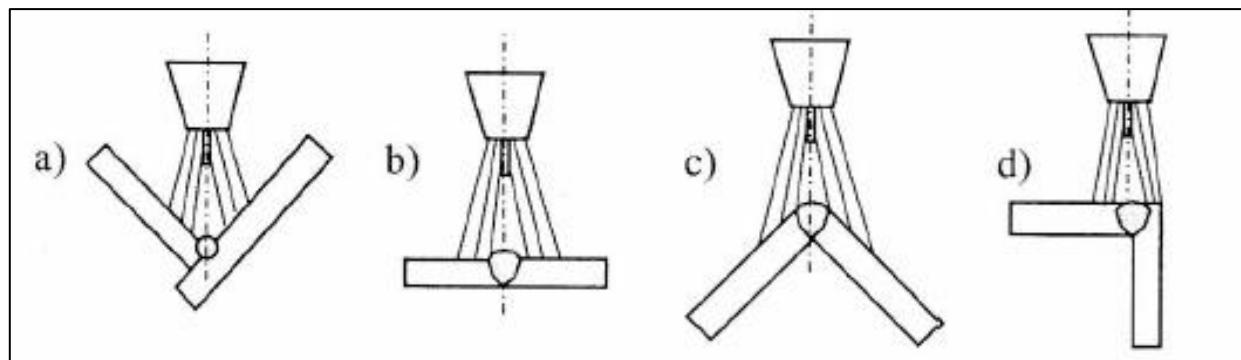
Slika 6 Shematski prikaz slobodnog kraja žice [1]

Količina zaštitnog plina ovisi o više faktora. To su: promjer dodatnog materijala, jakost struje, oblik zavarenog spoja, mjesto i uvjeti zavarivanja (tablica 2). Kod primjene kratkog i prijelaznog luka optimalna potrošnja treba iznositi 10 puta promjer žice, ali izraženo u litrama. Potrošnja plina je veća kod štrcajućeg i impulsnog luka. [1]

Tablica 2 Ovisnost potrošnje plina o promjeru žice [1]

Promjer žice, mm	Potrošnja plina, l/min
0,8	6-8
1,0	8-10
1,2	10-12
1,6	14-16

Pri zavarivanju na otvorenom prostoru dolazi do povećane potrošnje plina. Kod zavarivanja kutnih zavara (slika 4.6a) u žlijebu potrošnja plina je manja nego kod kutnih i sučeonih spojeva (slika 4.6b). Do najveće potrošnje plina dolazi kod zavarivanja kutnih zavara (slika 4.6c, slika 4.6d) s vanjske strane. Ukoliko dođe do premale količine zaštitnog plina, može doći do pojave poroznosti zavarenog spoja, a kod prevelike količine dolazi do mješanja plina, te je zaštita slabija, a to također dovodi do poroznosti. [1]



Slika 7 Utjecaj vrste spoja na potrošnju plina [1]

Za odabir optimalnih parametara zavarivanja potrebno je poštivati određeni redoslijed. Prvo se bira promjer žice, zatim jakosti struje i napon električnog luka. Uspostavljenjem luka, nastaje radna točka. Tada se približno odabire brzina dodavanja žice i traži se odgovarajući položaj radne točke koji se prepoznaje po mirnom i ravnomjernom održavanju električnog luka, te manjem prskanju materijala. Regulacijom napona se traži idealna radna točka kojoj je karakteristika miran i stabilan električni luk koji rezultira kvalitetnim zavarenim spojem. Potrebno je paziti i na ostale faktore kao što je udaljenost sapnice, duljina slobodnog kraja žice, nagib zavarivanja, količina zaštitnog plina. [1]

### **3.4 Materijali za MAG postupak zavarivanja**

U zaštitnoj atmosferi od ugljičnog dioksida zavaruju se ugljični i niskolegirani čelici. Koriste se i plinske mješavine Ar + 35-75% He za sve metale, posebice za Al, Cu i Ni; Ar + 0,5% O<sub>2</sub> za nelegirane i niskolegirane čelike; Ar + 5-10% H<sub>2</sub> za visokolegirane CrNi čelike; Ar + 25-30% N<sub>2</sub> za bakar i njegove legure; Ar + 20-50% CO<sub>2</sub> za nelegirane i niskolegirane čelike; 79% Ar + 15% CO<sub>2</sub> + 6% O<sub>2</sub> za nelegirane i niskolegirane čelike (slika 4.7). [1]



Slika 8 Primjer plinske mješavine za MAG postupak

Za izradu čeličnih konstrukcija postupkom zavarivanja najčešće se koriste nelegirani čelici koji sadržavaju manje od 0,25 % ugljika. Zavaruju se MAG postupkom bez predgrijavanja bez većih problema. Kod zavarivanja debljih limova s većim udjelom ugljika poželjno je provesti predgrijavanje, pogotovo ako se radi na niskim temperaturama. Predgrijavanje se također provodi kod limova koji nisu propisno uskladišteni ili su stajali na otvorenom, kako bi se uklonila vlaga. MAG postupkom se mogu zavarivati niskolegirani i mikrolegirani finozrnati konstrukcijski čelici, ali zahtjevaju uvjete kao što su: pravilan izbor dodatnog materijala, predgrijavanje, kontrolirano odvođenje topline, čistoća mjesta zavara, žice i zaštitnog plina, te provođenje toplinske obrade nakon zavarivanja. [1]

### 3.5 Prednosti i nedostaci postupka

Najčešće pogreške u zavarenom spoju MAG postupkom su poroznost, nepotpuno spajanje, naljepljivanje, uključci i pukotine. Do pojave poroznosti dovode sljedeće uzroci: nečistoće na mjestu zavarivanja, nečista površina žice i sapnice, nejednolično dovođenje žice, vlaga u zaštitnoj atmosferi, neodgovarajući nagib pištolja, preniska ili previsoka količina zaštitnog plina, preveliki napon i jakost struje itd. Naljepljivanje nastaje zbog premale jakosti struje, neodgovarajuće brzine zavarivanja, premali kut ili neravna površina žlijeba itd. Do pojave uključaka dolazi zbog nekvalitetne pripreme spoja i nečistoća. MAG postupak je često primjenjiv zbog visokog koeficijenta taljenja, dobre penetracije, velika brzina zavarivanja, mehanizirano dodavanje žice, jednostavna upotreba opreme, dobra preglednost mjesta zavarivanja.

### 3.6 Korišteni materijali i parametri zavarivanja

Osnovni materijali kod zavarivanju su bili cijev kvadratnog presjeka 140x140 mm i pločasti materijal debljine stjenke 20 mm. Korišten je čelik St37-2. To je toplovaljni nelegirani konstrukcijski čelik. Prilikom MAG zavarivanja korištena je mješavina plinova koja se sastoji od 18% ugljičnog dioksida i 82% argona (MAGM postupak) (slika 4.7), koja je po literaturi preporučena za zavarivanje debelih nelegiranih limova. Kao dodatni materijal kod zavarivanja korištena je žica ESAB OK AristoRod 12.63 promjera 0,8 mm. Uredaj za zavarivanje je također bio od proizvođača ESAB Origo MIG 400II (slika 4.8) te automatski dodavač žice Aristo Feed 3004. Prilikom impulsnog zavarivanja brzina dodavanja žice je bila 7,2 m/min i napon od 19 V (slika 4.9). Jakost struje pri ovim parametrima je dostizala vrijednosti od 130A.

Prilikom samog postupka zavarivanja nije dolazilo do uočljivih grešaka u zavarenom spoju. Jedini problem je nastao zbog velikog unosa topline i velike duljine izrađivanog proizvoda, a to je deformacija. Zbog unosa topline na mostu se pojavio progib od 10 mm. Problem deformacije je riješen zagrijavanjem mosta u dvije točke plinskim plamenom.

Točnost dimenzija mosta, a i same laserske rezačice će se osigurati strojnom obradom mosta. Zbog toga je bilo potrebno ostaviti dodatke za obradu. Zbog unosa topline i zaostalih naprezanja bilo je potrebno izvršiti toplinsku obradu žarenjem.



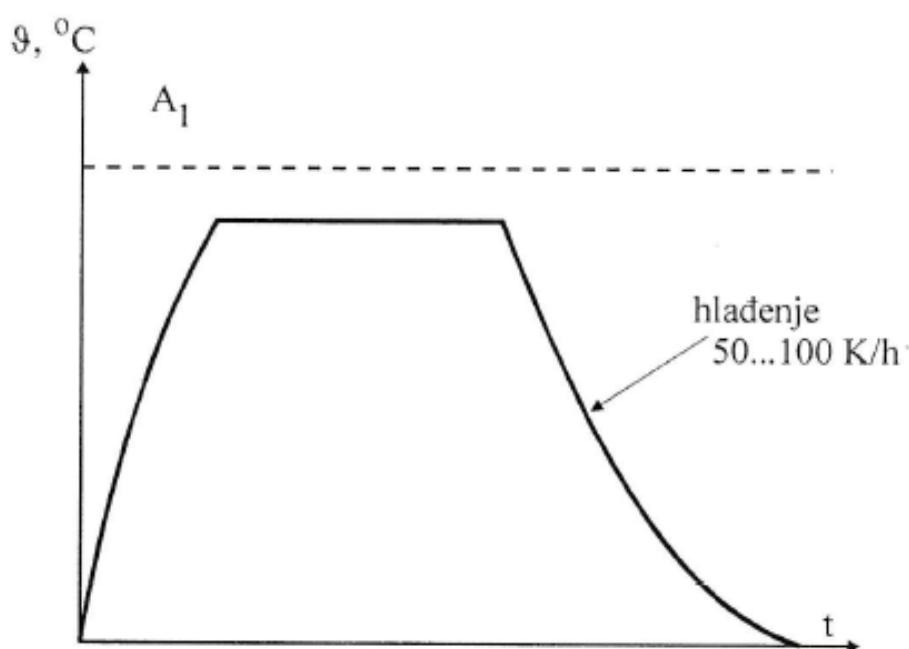
Slika 9 ESAB Origo MIG 400II



Slika 10 Podešeni parametri zavarivanja

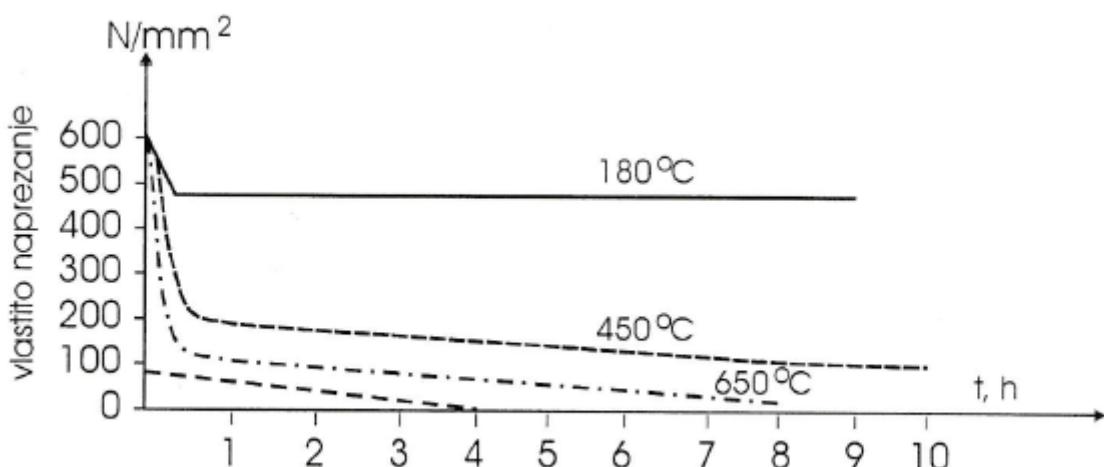
#### 4. TOPLINSKA OBRADA

Zbog zaostalih naprezanja koja su nastala zbog unosa topline, potrebno je provesti toplinsku obradu žarenjem. Provodi se dugim držanjem te odgovarajućim hlađenjem bez bitnih strukturnih promjena. Zaostala naprezanja su takva naprezanja koja postoje u proizvodu čak i kada se uklone vanjska opterećenja. Ona nastaju u proizvodima nakon ohlađivanja pri nekim postupcima toplinske obrade, zavarivanja, toplog oblikovanja deformiranjem, lijevanja itd. Također se mogu pojaviti nakon izloženosti vibracijama, nakon obrade odvajanjem čestice, kada je došlo do trajne deformacije predmeta. Naprezanja mogu biti posljedica austenitnog raspada. Dovode do lošeg utjecaja na konstrukcije, tako što smanjuju nosivost. Vrlo često nije poznat smjer djelovanja napetosti. Mogu dovesti do trajnih deformacija konstrukcije. Zbog toga ih je potrebno reducirati, čak i ako postoji samo sumnja u postojanje zaostalih naprezanja. Žarenje za redukciju zaostalih naprezanja provodi se ugrijavanjem nekog dijela na 550 - 700 °C (slika 4.10). Temperatura na koju će se ugrijavati ovisi o materijalu, obliku, namjeni i osjetljivosti dijela na deformacije. [6]



Slika 11 Opći dijagram postupka žarenja za redukciju napetosti [6]

Nakon žarenja, hlađenje se mora provesti sporo, da bi se smanjile temperaturne razlike po presjeku, a time se izbjegavaju nova zaostala naprezanja (slika 12). [6]

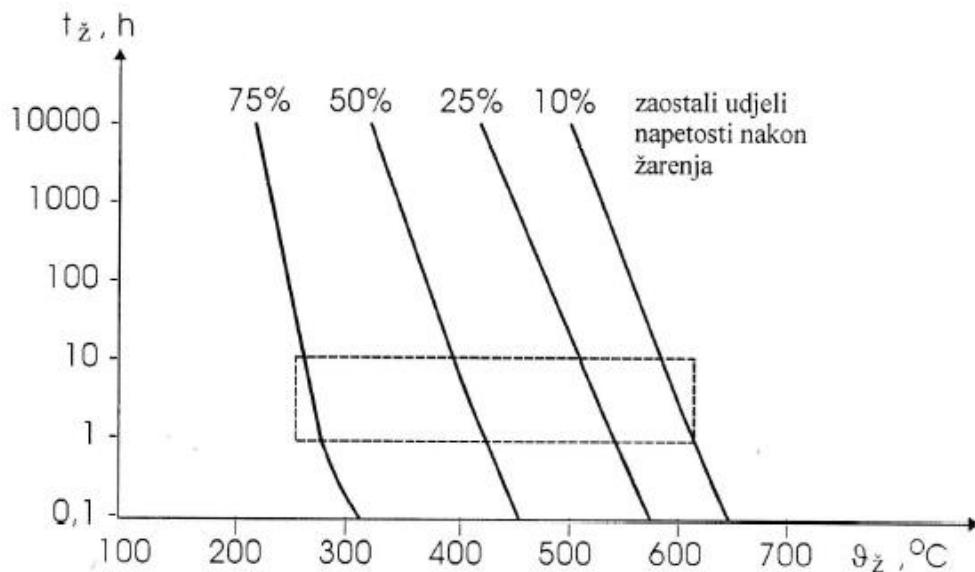


Slika 12 Utjecaj temperature i trajanja žarenja na udio ukinutih vlastitih naprezanja [6]

Ovu toplinsku obradu je najbolje provoditi žarenjem u pećima sa strujanjem zraka, ali je dijelove potrebno zaštititi od oksidacije. Zaštita se provodi pakiranjem u metalne kutije, te zasipanjem odvojenim česticama od sivog lijeva, koksom ili papirom. Kutija mora biti hermetički zatvorena. Novije peći mogu koristiti zaštitne atmosfere kao što je dušik i argon. Tada dio samostalno stoji u peći. Ovaj postupak se koristi kod proizvoda koji su skloni promjeni oblika kod kaljenja. Ukoliko postoje deformacije koje treba ukloniti odvajanjem čestica, potrebno ih je ukloniti prije ugrijavanja u svrhu kaljenja. Ovaj postupak se koristi i za čelike u poboljšanom stanju. Kako bi se izbjegla promjena strukture potrebno je paziti na sljedeće:

- temperatura žarenja mora biti niža od prethodnog popuštanja;
- ako je moguće temperatura žarenja treba biti veća od radne temperature dijela
- ako je čelični dio kaljen, potrebno je paziti na mogućnost pojave krhkosti popuštanja,
- ako se žarenje vrši na temperaturama iznad 450 °C. Iz toga je moguće zaključiti da samo čelici legirani molibdenom smiju biti žareni u poboljšanom stanju, a svi se ostali čelici u poboljšanom stanju smiju žariti samo ispod 500 °C. [6]

Orijentacija o režimima ove vrste žarenja slijedi iz slike 13 i tablice 3. [6]



Slika 13 Utjecaj režima žarenja na udio reduciranih početnih naprezanja [6]

Tablica 3 Parametri žarenja za redukciju zaostalih naprezanja [6]

Legura	Temperatura žarenja, °C	Trajanje držanja, h
Ugljični čelik, čelični lijev	550...680	2,5 min/mm debljine
Sivi lijev, nodularni lijev	430...600	0,5...5
Mjed	200...260	1
Titanove legure	500...650	0,5...4
Aluminijске legure	230...370	1...5
Magnezijske legure	150...260	1...5
Niklove i monel legure	300	1...5

#### 4.1 Opis provedenog postupka i korištenih parametara

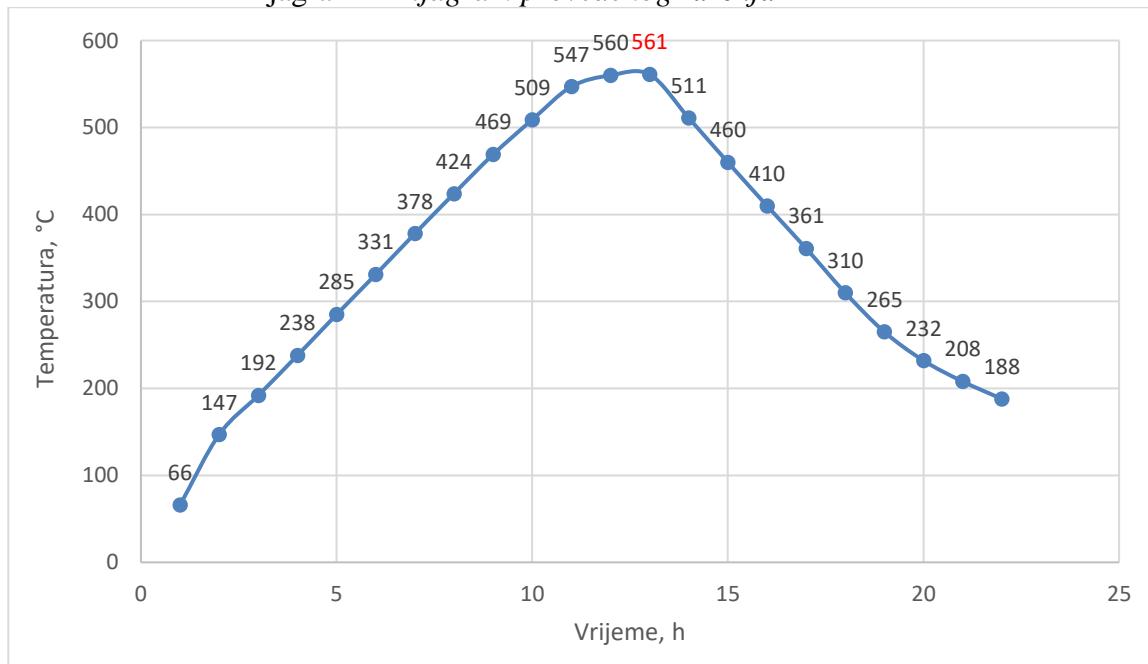
Toplinska obrada mosta provedena je postupkom žarenja u komornoj peći proizvođača „Estherm“ (slika 14). U peći je pomoću ventilatora omogućena cirkulacija zraka.



Slika 14 Peć za žarenje „Estherm“

Prilikom stavljanja obratka u peć, potrebno ga je pravilno postaviti kako ne bi došlo do pomicanja. Most je u peći zagrijavan 11 sati do temperature 540 °C, zatim je zagrijavanje usporeno te je 2 sata zadržavana temperatura do 561 °C. Tada je započelo sporo hlađenje, koje je trajalo 9 sati do temperature 188 °C. Peć je ugašena i tada je uslijedilo hlađenje do sobne temperature, čime je proces toplinske obrade završio, a predmet je pripremljen za sljedeće obrade (dijagram 1).

Dijagram 1 Dijagram provedenog žarenja



## **5. ZAKLJUČAK**

U temi je sadržana priprema dokumentacije, izrada proizvoda. CNC laserske rezačice u današnje vrijeme se vrlo često primjenjuju te se javila potreba za izradom takvog stroja, koja ima mogućnost raditi uz ostvarivanje vrlo velikih točnosti. Zbog konkurentnosti na tržištu, cijena izrade bi trebala biti što niža, a točnosti i prodokutivnost trebaju biti visoke. Zbog toga je zahtjevana izrada dobro razrađene tehničke dokumentacije, proračun troškova i odabir odgovarajućih tehnologija. Opisane su tehnologije rezanja pilom i vodenim mlazom, spajanje zavarivanjem MAG postupkom, pjeskarenje, strojna obrada glodanjem, bušenjem, upuštanjem i narezivanjem navoja te površinska zaštita i montaža.

Osim poznavanja tehnologija i rada na računalu, potrebno je dobro poznavanje programiranja CNC strojeva i svojstava korištenih alata. Zbog zahtjevanih visokih točnosti i tolerancija za strojnu obradu korišteni su isključivo numerički upravljeni strojevi. Kako bi došlo do što manjih odstupanja, prilikom jednog stezanja na stroju, provedeno je što više mogućih operacija. Do jedinog problema tijekom izrade mosta došlo je prilikom zavarivanja MAG postupkom. Zbog velikog unosa topline pojavile su se veće deformacije. To je kompenzirano zagrijavanjem plinskim plamenom, dodacima za stojnu obradu i toplinskom obradom žarenjem. Problem je moguće izbjegći na sljedeće načine: predgrijavanje, drugačiji raspored izvođenja zavarenih spojeva ili promjenom debljina osnovnog materijala.

## **6. LITERATURA**

- [1] Gojić, Mirko: Tehnike spajanja i razdvajanja materijala. Sisak; Metalurški fakultet, 2003., 298 str..
- [2] Scan and make, Wallasey, United Kingdom, (platforma za kreativnost) Laser cutter technologies (slika), URL: <https://scanandmake.com/lasertech>, (18.3.2017.)
- [3] Nukon Bulgaria ltd., Plovdiv Bulgaria, Nukon.hr - proizvodi (slika), URL: <http://nukon.bg/main/wp-content/uploads/2014/07/laser.png>., (18.3.2017.)
- [4] IDA CONTROL Automation Robotics, PANAGIOTIS M.PIKIS AND CO., Athens, Greece, Laser Cutting Process Secrets Revealed (slika), URL: <http://www.idacontrol.com/articles.php?nid=10>, (18.3.2017.)
- [5] Opalić, Milan; Kljajin, Milan; Sebastijanović, Slavko: Tehničko crtanje. Čakovec; Zrinski d.d., 2003., 425 str..
- [6] Krumes, Dragomir: Toplinska obrada. Slavonski Brod; Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2000., 444 str..
- [7] TEHNIČKI SISTEMI proizvodnja, inženjering, trgovina, d.o.o., Bizeljsko, Pjeskarenje (slika), URL: <http://pjeskarenje.hr/proizvodi/pjeskarenje/>, (12.4.2017.)