

# Usvajanje novog tehnološkog procesa zavarivanja Al-legura

---

**Jurković, Jurica**

**Master's thesis / Specijalistički diplomski stručni**

**2015**

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Karlovac University of Applied Sciences / Veleučilište u Karlovcu**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:128:268685>

*Rights / Prava:* [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-02-05**



**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU**  
Karlovac University of Applied Sciences

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Karlovac University of Applied Sciences - Institutional Repository](#)



zir.nsk.hr



DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
SPECIJALISTIČKI DIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ  
STROJARSTVA  
PROIZVODNO STROJARSTVO**

**JURICA JURKOVIĆ**

**USVAJANJE NOVOG TEHNOLOŠKOG PROCESA  
ZAVARIVANJA AL-LEGURA**

**ZAVRŠNI RAD**

Mentor:

Tomislav Božić, dipl.ing.

**KARLOVAC, 2015.**



## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

Stručni / specijalistički studij:.....Stručni studij.....

(označiti)

Usmjerenje:.....Proizvodno strojarstvo.....Karlovac, .....30.09.2015.....

## ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student:.....Jurica Juković..... Matični broj:.....0111413018.....

Naslov:.....Usvajanje novog tehnološkog procesa zavarivanja AL legura

Opis zadatka:

Završnim radom opisati process usvajanja novog tehnološkog procesa zavarivanja Aluminijskih legura. U eksperimentalnom dijelu rada na konkretnim primjerima iz prakse tvrtke Kontal razraditi primjer sa opisom tehnologije po fazama kao i sve načine dokazivanja kvalitete proizvoda metodama bez razaranja.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

.....30.09.2015.....

15.10.2015.....

.....21.10.2015.....

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

## **IZJAV A:**

Izjavljujem da sam ja – student Jurica Jurković, matični broj 0111413018 upisan u IV. semestar specijalističkog diplomskog stručnog studija strojarstva, radio ovaj rad samostalno koristeći se znanjem stečenim tijekom obrazivanja i rada u struci, te uz pomoć i vođenje mentora Tomislava Božića, dipl.ing.stroj. kojem se ovim putem iskreno zahvaljujem.

Jurica Jurković

---

## **S A Ž E T A K**

Tema ovog završnog rada je usvajanje novog tehnološkog procesa zavarivanja AL-legura.

U uvodnom dijelu rada obrađene su Al legure koje se najčešće koriste s naznakom na zavarivanje i zavarljivost istih.

U općem dijelu obuhvaćeni su svi poznati postupci zavarivanja Al legura, gdje su isti opisani i dane smjernice za njihovo korištenje u praksi.

U glavnom dijelu rada dan je opis konkretnog primjera uvođenja tehnološkog procesa u tvrtki Kontal, te na stvarnim primjerima je izvršeno ispitivanje kvalitete proizvoda metodama bez razaranja.

Zaključkom su opisane opće smjernice na koje treba obratiti pažnju pri usvajanju novog tehnološkog procesa, te razradu istog.

## **S U M M A R Y**

Theme of this work is initiation new technology processes of Aluminium welding.

In the introductory part of the paper is generally referred on Aluminium alloy which are general used for welding.

In general part of the paper are described all of main welding procedures, their characteristic and main guidelines for practically usage.

In the main part of the paper provides a description concrete example of initiation new technology processes of Aluminium welding in "Kontal d.o.o." , and laboratory examination of samples by nondestructive method.

Finally a conclusion is based in facts that need to pay attention when someone has initiation of new technology.

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD</b> .....	1
1.1. Prednosti Al i Al legura .....	2
1.2. Utjecaji na zavarljivost.....	2
1.3. Čvrstoća i grupe Al materijala .....	5
1.4. Aluminij i Al – legure bez strukturnog očvršćenja .....	6
1.4.1. Nelegirani aluminij .....	7
1.4.2. Legura s manganom.....	7
1.4.3. Legure s magnezijem .....	7
1.5. Al-legure sa strukturnim očvršćavanjem ("kaljive legure") .....	9
1.5.1. Legure s bakrom.....	9
1.5.2. Legure sa silicijem i magnezijem .....	10
1.5.3. Legure sa cinkom i magnezijem .....	10
1.6. Osnovne oznake stanja.....	11
<b>2. OPĆI DIO (TEORIJSKI)</b> .....	13
2.1. Osnovni pojmovi kod zavarivanja Aluminija.....	13
2.2. Izbor dodatnog materijala.....	14
2.3. Čvrstoća spoja .....	15
2.4. Plinsko zavarivanje .....	16
2.5. REL zavarivanje.....	16
2.6. TIG postupak.....	17
2.6.1. Općenito o TIG postupku zavarivanja .....	17
2.6.2. Osnovne prednosti TIG postupka .....	19
2.6.3. Osnovni nedostaci TIG postupka.....	20
2.6.4. Podjela TIG postupka prema vrsti primjene struje.....	20
2.6.5. Zaštitni plinovi.....	21
2.6.6. Netaljive elektrode .....	22
2.6.7. Dodatni materijal.....	23
2.7. MIG postupak zavarivanja .....	24
2.7.1. Specifičnosti kod zavarivanja tankih Al limova i profila.....	25
2.7.2. Sustavi za dodavanje (vođenje) žice.....	26
2.7.2.1. Dodavanje žice guranjem.....	26
2.7.2.2. Dodavanje žice push – pull tehnikom.....	27

2.7.2.1. Dodavanje žice vučenjem .....	28
2.7.3. Parametri zavarivanja i njihov izbor .....	28
2.7.4. Priprema materijala.....	29
2.7.5. Priprema uređaja za zavarivanje.....	30
<b>3. EKSPERIMENTALNI DIO</b> .....	<b>32</b>
3.1. Predstavljanje tvrtke Kontal d.o.o.....	32
3.2. Usvajanje novog proizvoda .....	35
3.3. Izbor materijla.....	35
3.4. Priprema 3D modela i tehničke dokumentacije.....	37
3.5. Analiza procesa i nabava uređaja.....	40
3.6. Uzorci zavarivanja TIG i MIG postupkom .....	41
3.7. Ispitivanje uzoraka penetrantima .....	44
3.7.1. Ispitivanje tekućim penetrantima.....	44
3.7.2. Ispitivanje penetrantima VUKA .....	48
3.8. Izrada protutipa proizvoda.....	51
3.9. Konačni proizvod.....	55
<b>4. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>60</b>
LITERATURA.....	61



## SADRŽAJ SLIKA

Slika 1: Zone zavrenog spoja na hladno deformiranom Aluminiju.....	4
Slika 2: Prikaz najčešćih grešaka zavarenog spoja na Al materijalima.....	4
Slika 3: Utjecaj zavarivanja na čvrstoću i tvrdoću.....	15
Slika 4: Shematski prikaz opreme za TIG zavarivanje.....	17
Slika 5: Shematski prikaz TIG zavarivanja.....	18
Slika 6: Uspostva el luka.....	19
Slika 7: Električni luk.....	19
Slika 8: TIG Hot wire postupak zavarivanja.....	23
Slika 9: Shematski prikaz opreme za MIG zavarivanje.....	24
Slika 10: Grafički prikaz impulsnog postupka i načina otkidanja kapljice.....	25
Slika 11: Dodavanje žice guranjem.....	27
Slika 12: Dodavanje žice push – pull tehnikom.....	27
Slika 13: Spool gun gorionik.....	28
Slika 14: Čišćenje mjesta zavara četkom.....	30
Slika 15: Kod lijevog zavara smjer zavarivanja pogrešan (zavar crn).....	31
Slika 16: Pritisak valjaka prevelik.....	32
Slika 17: Ulaz žice kroz teflonsku vodilicu.....	32
Slika 18: Proizvodni program tvrtke Kontal d.o.o.....	33
Slika 19: Proizvodni program tvrtke Kontal d.o.o.....	34
Slika 20: Laseri za izrezivanje pozicija iz lima.....	34
Slika 21: Erozijski na žicu.....	35
Slika 22: Atest osnovnog materijala.....	37
Slika 23: Korisničko sučelje Solidworks 2014.....	38
Slika 24. Sklop proizvoda sa svim komponentama.....	39
Slika 25. Prijedlozi za poboljšanja i promjene.....	40
Slika 26. Uzorak zavaren TIG metodom.....	42
Slika 27. Uzorak zavaren MIG postupkom.....	42
Slika 28. Ispravni kutni zavar MIG postupkom.....	43

Slika 29. Zavarivanje u "krivom" smjeru, preslaba struja zavarivanja.....	43
Slika 30. Crne mrlje: Izlučivanje vodika na površinu zavara.....	44
Slika 31. Koraci u ispitivanju penetrantima.....	45
Slika 32. Primjena i djelovanje penetranta.....	47
Slika 33. Uklanjanje viška penetranta.....	47
Slika 34. Primjena razvijača.....	47
Slika 35. Penetranti za ispitivanje.....	49
Slika 36. Uzorci koji zadovoljavaju prema ispitivanjima penetrantima.....	50
Slika 37. Uzorci koji ne zadovoljavaju ispitivanje.....	51
Slika 38. Zavareni sklop u 3d modelu Solidworks.....	52
Slika 39. Dijelovi koje je potrebno zavariti.....	52
Slika 40. Detalji zavarenih pozicija.....	53
Slika 41. Zavaren vanjski okvir koji je spreman za plastifikaciju.....	53
Slika 42. Pozicija zavarena TIG postupkom.....	54
Slika 43. Potpuna penetracija MIG postupkom.....	55
Slika 44: Testiranje.....	56
Slika 45. Pukotina na zavarenom spoju.....	57
Slika 46: Ispitivanje konačnog proizvoda.....	58
Slika 47. Proizvod spreman za pakiranje i isporuku kupcu.....	59
Slika 48: Prezentacija proizvoda.....	60

# SADRŽAJ TABLICA

Tablica 1: Svojstva Aluminija.....	1
Tablica 2. Mehanička svojstva Al legura.....	8
Tablica 3. Primjeri karakteristika TIG zavarivanja ovisno o vrsti struje i polaritetu.....	20
Tablica 4. Vrste netaljivih elektroda.....	22

# SADRŽAJ DIJAGRAMA

Dijagram 1: Ovisnost vlačne čvrstoće o promjeni temeprature.....	4
Dijagram 2: Stupnjem hlade deformacije povećava se čvrstoća.....	5
Dijagram 3: Povećanje čvrstoće legiranjem.....	5

## 1. UVOD

Aluminij je metal koji je poslije kisika najrasprostranjeniji element u zemljinoj kori, gdje ga ima 8%. Prvi puta se pojavio 1855.g. na svjetskoj izložbi u Parizu. Danas se jedino čelik koristi više od aluminija. Dobiva se iz rude boksita, koja se prerađuje u glinicu  $Al_2O_3$ , iz koje se izdvaja elektrolizom trošeći puno električne energije (16 kWh/kg Al).

Al i Al - legure se koriste kao valjani, prešani (ekstrudirani) i lijevani materijali, poluproizvodi i proizvodi. Primjenjuju se u građevinarstvu, prehrambenoj industriji, kriogenoj tehnici, za izradu posuda pod tlakom u vojnoj tehnici, bijeloj tehnici, te za izradu ambalaže.

Talište	660 °C
Gustoća, pri 20 °C	2,70 g cm <sup>-3</sup>
Koeficijent linearnog istezanja, (0- 100 °C)	23,5 10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup>
Specifični topl. kapacitet, (0 - 100 °C)	920 J kg <sup>-1</sup> °C <sup>-1</sup>
Toplinska vodljivost (0 - 100 °C)	240 J s <sup>-1</sup> m <sup>-1</sup>
Specifični električni otpor, (20 °C)	0,0269 Wmm <sup>2</sup> m <sup>-1</sup>
Modul elastičnosti, (20 °C)	71 900 MPa

Tablica 1. Svojstva Aluminija

## **1.1. Prednosti Al i Al legura:**

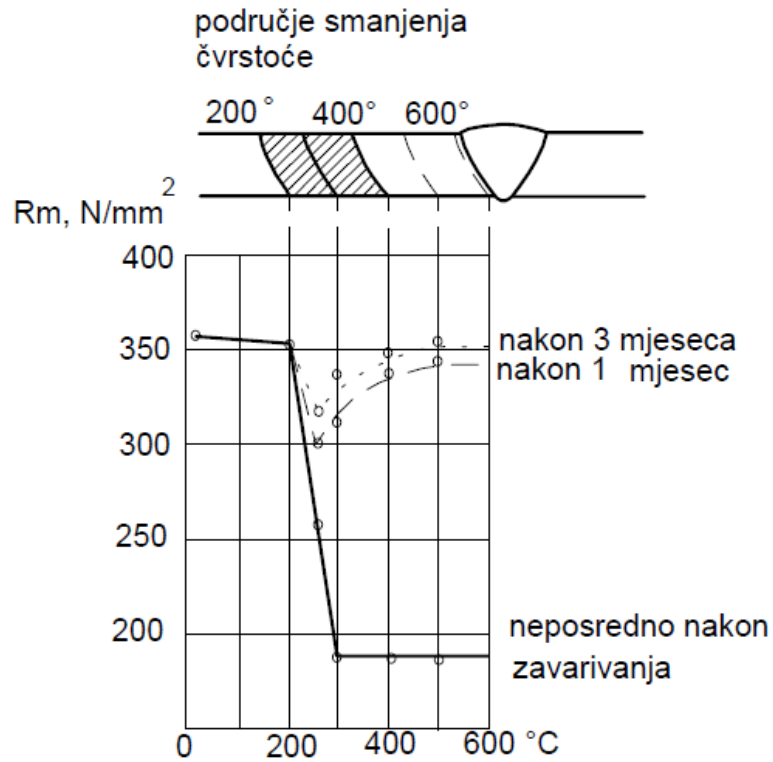
- Oko 2,9 puta lakši od čelika.
- Prekidna čvrstoća, maksimalno do 700 MPa, uz dobru istezljivost.
- Dobra mehanička svojstva pri niskim temperaturama.
- Toplinska vodljivost 13 puta veća nego kod nerđajućeg čelika, 4 puta veća od običnog čelika.
- Elektrovodljivost bliska Cu, ali pri istoj težini dvostruko veća nego kod Cu.
- Dobro reflektira svjetlost i toplinu.
- Dobra otpornost na koroziju i dekorativnost površine. Prirodno se zaštićuje slojem oksida čime se postiže samozaštita u normalnoj atmosferi. Anodizacijom i lakiranjem (eloksiranjem) se postiže izvanredan dekorativni efekt.
- Nije magnetičan.
- Dobro se obrađuju raznim načinima. Posebno je pogodan za proizvodnju prešanjem (ekstruzijom) složenih šupljih i punih presjeka. Pogodan je i za duboko vučenje i zavarivanje.

## **1.2. Utjecaji na zavarljivost:**

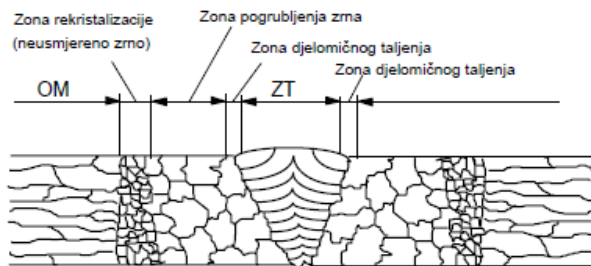
- a)  $Al_2O_3$  prirodna oksidna kožica na hladnom materijalu je debljine oko 0,01 mm. Daje dobru kemijsku otpornost. Aluminijski oksid  $Al_2O_3$  ima visoku temperaturu taljenja (2050 °C) i čini teškoće pri zavarivanju. Sam  $Al_2O_3$  je bezbojan i vrlo tvrd. U prirodi se javlja obojen od prisustva drugih metala i u malim količinama kao rubin, safir, korund ili glinica.  $Al_2O_3$  kao troska je teška  $3.2 \text{ gcm}^{-3}$  i ulazi u talinu. Pri visokim temperaturama toplinske obrade ili zavarivanja krutog ili rastaljenog Al stvara se na površini deblji sloj oksida kao i na kapima metala, pa se ne može dobiti homogen zavareni ili lemljeni spoj zbog uključaka oksida. Kožica oksida se uključuje u zavareni spoj kao nemetalni uključak. Za uspješno zavarivanje potrebno je odstraniti ili razoriti oksidnu kožicu prije početka i za zavarivanja djelovanjem električnog luka u inertnoj atmosferi (elektroda na "+" polu), prašcima za zavarivanje pri plinskom

zavarivanju i lemljenju, kemijskim nagrizanjem površine osnovnog i dodatnog materijala ili mehaničkim odstranjivanjem. Kod elektrootpornog zavarivanja deblji sloj oksida predstavlja i izolator, pa je potrebno posebno čišćenje.

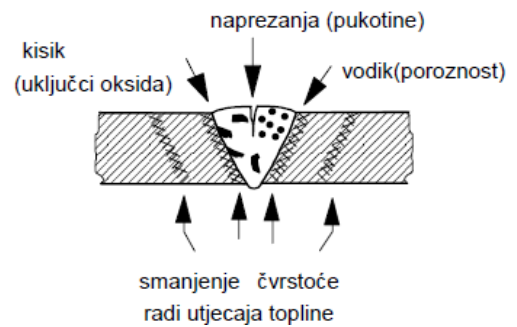
- b) Aluminiij ima dobru toplinsku vodljivost. Za čisti Al iznosi  $240 \text{ Wm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , a za Al - legure između  $117$  i  $155 \text{ Wm}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ , pa su za zavarivanje potrebni snažni koncentrirani tokovi energije i visoki toplinski unos, unatoč niskoj temperaturi tališta. Ako se zavaruje sa slabim i nedovoljno koncentriranim tokovima energije, nastaje široka ZUT sa omekšanom strukturom. Zbog visoke toplinske vodljivosti čistog Al, velika je vjerojatnost pojave poroznosti. Kod zavarivanja većih debljina potrebno je predgrijavanje da se izbjegne poroznost.
- c) Jaka električna vodljivost. Zahtijeva velike jakost struje i kratko vrijeme elektrootpornog zavarivanja.
- d) Veliki koeficijent toplinskog istežanja uzrokuje veća stezanja i deformacije pri hlađenju, pa je moguća pojava pukotina zbog jakog stezanja.
- e) Rastvorljivost vodika u rastaljenom materijalu je velika. Pri kristalizaciji, zbog naglog pada rastvorljivosti, oslobađaju se mjehurići vodika, koji mogu uzrokovati poroznost.
- f) Pri zagrijavanju se ne mijenja boja kao kod čelika, pa se ne može procijeniti temperatura na temelju boje pri zagrijavanju do tališta, što pričinjava poteškoće kod zavarivanja i lemljenja.
- g) Sklonost vrućim, a u manjoj mjeri i hladnim pukotinama ovisi o kemijskom sastavu i uvjetima zavarivanja.
- h) Omekšanje na mjestu zavarenog spoja. Hladnom deformacijom Al – materijali postaju znatno čvršći. Na mjestu zavarenog spoja zbog ljevačke structure čvrstoća je najmanja, kao u meko žarenom stanju. Ovo slabljenje je razlog da se u avio industriji još uvijek mnogo koriste zakovani spojevi i svornjaci slični zakovicama (engl. lockbolt fastener) napravljeni od titan legure 6Al-4V. Za takav slučaj bi se moglo računati s koeficijentom slabljenja zavarenog spoja oko 0.6 zbog mehaničkog slabljenja (omekšanja) zavara.



Dijagram 1. Ovisnost vlačne čvrstoće o promjeni temeprature



Slika 1. Zone zavrenog spoja na hladno deformiranom Aluminiju



Slika 2. Prikaz najčešćih grešaka zavarenog spoja na Al materijalima

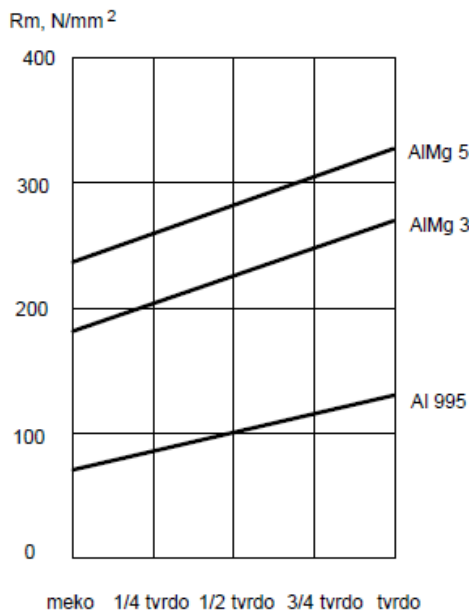


### 1.3. Čvrstoća i grupe Al materijala

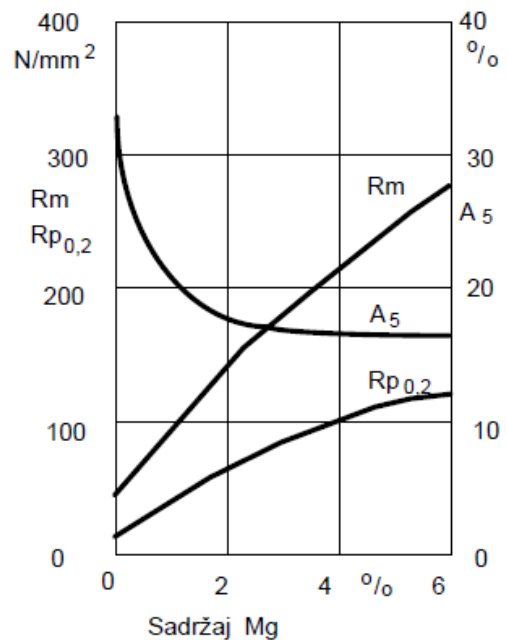
Čisti Al ima čvrstoću 90 - 190 MPa, ovisno o stanju isporuke (tvrđi, 1/2tvrđi, 1/4 tvrđi, meki - prema stupnju hladne deformacije).

Čvrstoća Al se može povisiti na više načina:

1. hladnom deformacijom,
2. legiranjem,
3. toplinskom obradom
4. kombinacijom, npr. legiranjem i hladnom deformacijom.



Dijagram 2. Stupnjem hlade deformacije povećava se čvrstoća



Dijagram 3. Povećanje čvrstoće legiranjem

Mehanička svojstva se mogu značajno povećati legirajućim elementima tvoreći tako legure aluminija. Pritome se razlikuju dvije grupe:

1. Al-legure bez strukturnog očvršćavanja tzv. "nekaljive legure" Grupe nekaljivih legura: Al Mn, AlMg Mn, AlMg.
2. Al-legure sa strukturnim očvršćavanjem tzv. "kaljive legure". Grupa kaljivih Al legura: Al Cu Mg, Al Mg Si, Al Mg Si, Al Zn Mg, Al Li Cu Zr, Al Li Cu Mg Zr

U inženjerskoj praksi najvećim dijelom se koriste valjani i prešani (ekstrudirani) proizvodi, zatim lijevani i kovani. Ovdje će biti isključivo riječ o valjanim i prešanim legurama tj. o tzv. gnječenim legurama.

Aluminij je vrlo povoljan za plastično oblikovanje (jer ima dobru istezljivost), ali ima slaba mehanička svojstva. Mehanička svojstva se mogu značajno povećati legirajućim elementima tvoreći tako legure aluminija. Pri tome se razlikuju dvije grupe:

#### **1.4. Aluminij i Al - legure bez strukturnog očvršćavanja.**

Očvršćavanje se u ovom slučaju postiže kombinacijom efekata dodavanja legirajućih elemenata (Mg, Si, Mn, Fe i drugih), hladne plastične deformacije i žarenja. Postiže se cijela lepeza mehaničkih svojstava od mekog stanja s minimalnim mehaničkim vrijednostima i maksimalnom plastičnošću do tvrdih stanja s maksimalnom čvrstoćom i granicom razvlačenja, te minimalnom plastičnošću. U ovu grupu spadaju familije legura prema normama SAD:

- 1.4.1. Aluminij (1000),
- 1.4.2. Legure s manganom (3000),
- 1.4.3. Legure s magnezijem (5000).

#### 1.4.1. Nelegirani aluminij (1000):

Nelegirani aluminij se razlikuje po čistoći, tj. po učešću pojedinih "nečistoća" Fe, Si u aluminiju. Posjeduje izvanrednu otpornost prema atmosferskim utjecajima, odličnu toplinsku i električnu vodljivost i izvanrednu plastičnost (sposobnost oblikovanja). Čvrstoća je mala. Primjena mu je vrlo raširena (elektroindustrija, kemijska industrija, petrokemija, dekorativna upotreba, građevinarstvo). Zavarljivost je odlična.

#### 1.4.2. Legura sa manganom (3000):

Mangan je osnovni legirajući element u ovoj porodici Al-legura. Legura AlMn (3003) je najčešći i pravipredstavnik ove porodice. Ova legura ima izvrsnu plastičnost, otporna je na atmosferske utjecaje, dobro je zavarljiva. Upotrebljava se za duboka vučenja, za izmjenjivače topline i sl. Često upotrebljiva legura iz ove porodice je Al Mg Mn (3004) iz koje se proizvode konzerve za piće kao i za cijevi proizvedene iz trake zavarivanjem.

#### 1.4.3. Legure sa magnezijem (5000):

U ovoj porodici osnovni legirajući element je magnezij, obično do 5 %, a ponekad se dodaje mangan i krom. Ove legure posjeduju osrednja mehanička svojstva, dobro se zavaruju i imaju znatno poboljšana mehanička svojstva pri niskim temperaturama. S većim sadržajem magnezija odlično se ponašaju u morskoj atmosferi. Oblikovljivost je dobra ali opada s porastom sadržaja magnezija. Primjena im je vrlo raznovrsna: građevinarstvo, brodogradnja, uređaji za desalinizaciju morske vode, posude, različite cisterne za transport. Zavarljivost je dobra.

Legura	Serija	Tip	Internacionale oznake	Raspon mehaničkih karakteristika (MPa)						
				0	100	200	300	400	500	600
Toplinski Neočvrstive legure	1000	Al	1050A 1070A 1100 1200 1080							
	3000	Al-Mn	3003 3004 3005 3105							
	5000	Al-Mg	5086 5083 5056A 5456 5052 5005 5454 5754 5254 5182							
Toplinski očvrstive legure	2000	Al-Cu Al-Cu-Mg	2011 2030 2017A 2618A 2024 (2124) 2014 (2214) 2219							
	6000	Al-Si-Mg	6005A 6060 6061 6082 6081 6106 6351							
		Al-Zn-Mg	7020 7021 7039							
	7000	Al-Zn-Mg-Cu	7049A 7175 7075 7475 7010 7150 7050							

Granica razvlačenja  $R_p$  -----

Prekidna čvrstoća  $R_m$  -----

Tablica 2. Mehanička svojstva Al legura

## 1.5. Al-legure sa strukturnim očvršćavanjem ("kaljive legure")

Ova grupa Al-legura sadrži bakar (Cu), silicij (Si), magnezij (Mg), litij (Li), cink (Zn) i skandij (Sc). Ima mogućnost strukturnog očvršćavanja. To očvršćavanje se postiže određenim toplinskim postupkom. Prvu etapu toplinskog postupka predstavlja rastopno žarenje (solution treatment) koje ima za cilj da na povišenim temperaturama (450 - 550 oC) rastopi barem jedan od legirajućih elemenata u čvrstoj otopini aluminijske. Slijedeću fazu toplinskog procesa predstavlja naglo hlađenje nazvano gašenje (Quenching) najčešće uranjanjem u hladnu vodu. Gašenjem se omogućava zadržavanje na okolišnoj temperaturi one strukture koju metal ima u zagrijanom stanju u kojem su legirajući elementi "zarobljeni" u prezasićenoj čvrstoj otopini precipitata (izlučevina). Naglo hlađenje metal je u nestabilnom stanju i teži stabilnijem stanju pri sobnim temperaturama. Metal postepeno dozrijeva. Ova pojava popraćena sa značajnim povećanjem čvrstoće nazvana je strukturno očvršćavanje. Treća faza toplinskog procesa može se odvijati pri normalnim - sobnim temperaturama i tada se radi o prirodnom dozrijevanju (natural ageing) metala, a može se odvijati i pri nešto povišenim temperaturama i tada je riječ o umjetnom dozrijevanju (artificial ageing).

Ovu grupu predstavljaju tri familije legura:

1.5.1. Legure s bakrom (2000),

1.5.2. Legure sa silicijem i magnezijem (6000) te

1.5.3. Legure sa cinkom i magnezijem (7000).

### 1.5.1. Legure s bakrom (2000):

Bakar je glavni legirajući element u ovoj familiji čije mehaničke vrijednosti dostižu one kod mekih čelika. Inače, familija je poznata po popularnom i tradicionalnom nazivu - durali. Upotrebljava se najčešće za radne - nosive dijelove. Nema dobra antikorozivna svojstva i u pravilu se loše zavaruju. Ova legura često se oblaže (platira, plakira) sa čistim aluminijem radi antikorozivne zaštite. Masovno se upotrebljava u avioindustriji, naoružanju i mehaničkim dijelovima (zakovice, vijci).

### 1.5.2. Legure sa silicijem i magnezijem (6000):

Legirajući elementi u ovoj familiji su silicij (Si) i magnezij (Mg) koji tvore očvršćavajući spoj  $Mg_2Si$ . Posjeduju osrednje mehaničke vrijednosti. Izvanredno dobro se oblikuju. Dobro se zavaruju i posjeduju dobra antikorozivna svojstva.

Legure se mogu podijeliti na dva dijela:

- a) bogatije na sadržaju silicija i magnezija uz dodatak mangana, kroma, cirkonija. Imaju bolja (veća) mehanička svojstva. Upotrebljavaju se u nosivim elementima.
- b) siromašnije u sadržaju silicija i magnezija, što im omogućuje velike brzine prešanja i odličnu oblikovljivost uz nešto lošija mehanička svojstva. Ova familija ima široku primjenu kao na primjer za dekoracije, prozore, vrata, fasade, zavarene dijelove, cijevi, transportnu opremu, karoserije, za vagone vlakova i za metro jarbole i sl.

### 1.5.3. Legure sa cinkom i magnezijem (7000):

Cink zajedno s magnezijem glavni je legirajući element ove familije čiji predstavnici kad im je još dodan bakar posjeduju najveću čvrstoću od svih Al-legura. Konstruktaali je njihov popularni naziv.

Legure se dijele na dvije grupe ovisno od toga da li sadrže ili ne sadrže bakar:

- a) legure sa bakrom posjeduju najveću čvrstoću. Zavarivati se mogu jedino u specijalnim uvjetima. Loša su im antikorozivna svojstva. Najčešće se upotrebljavaju u avio i svemirskoj tehnici, naoružanju.
- b) legure bez bakra posjeduju nešto lošija mehanička svojstva od prethodne grupe. U pravilu su otpornije na koroziju od legura s bakrom. Upotreba u naoružanju, za nosive elemente (npr, potporanj u rudnicima) i sl.

## **1.6. OSNOVNE OZNAKE STANJA**

F – kako je proizvedeno

O – žareno

H – ocvrščavanje deformacijom npr. Hladna obrada

W – rastvorno žareno – toplinska obrada na 540°C – gašeno = zasićena otopina koja se

stabilizira /stari/ na sobnoj temperaturi

T – drugačija obrada od F , O , H :

T1 – prirodno stareno

T2 – hladna obrada i prirodno stareno

T3 - rastvorno žareno, hladna obrada, prirodno stareno

T4 – rastvorno žareno, prirodno stareno / rastvorno žarenje 450 – 550 °C /

T5 – umjetno stareno

T6 – rastvorno žareno i umjetno stareno

T7 – rastvorno žareno i stabilizirano

T8 – rastvorno žareno, hladna obrada, umjetno stareno

T9 – rastvorno žareno, umjetno stareno, hladna obrada

T10 – hladna obrada, umjetno stareno

Kompletna oznaka (za primjer ) : 2014 – T6

1080 A - Al 99.8                      3003 - AlMn1                      2024 - AlCu4Mg1

1070 A - Al 99.7                      3004 – AlMn1Mg                      2014 - AlCu4SiMg

1050 A - Al 99.5

1100 - Al99.0min

4032 - AlSi12MgNi                      5005 - Al Mg 1

5754 - Al Mg 3

5082 - Al Mg 4

5056A , 5356 - Al Mg 5

5454 - Al Mg3 Mn

5251 - AlMg2

6060 - Al Mg Si

6061 - Al Mg1 Si Cu

6082 - AlMgSi1

6056 - AlMgSiCu

7075 - Al Zn6 Mg Cu

LIJEVO OZNAKE – “ AA” Aluminium association

DESNO OZNAKE – ISO



## 2. OPĆI DIO TEORIJSKI

### Postupci zavarivanja Aluminija i njegovih legura

#### 2.1. Osnovni pojmovi kod zavarivanja Aluminija

Priprema rubova zavarenih spojeva treba omogućiti: čišćenje od nečistoća, odmašćivanje od prethodnih operacija i odstranjivanje oksidne kožice, ako je deblja. Oksidna kožica može biti deblja nakon toplinske obrade. Odstranjivanje je moguće mehaničkim obradama ili kemijskim sredstvima. Nakon kratkog vremena u slobodnoj atmosferi će se formirati vrlo tanki sloj oksida. Alat za čišćenje treba se koristiti samo za Al. Četke trebaju biti od nerđajućeg čelika. Radni prostor za Al treba biti odvojen od prostora za obradu čelika ili drugih materijala zbog čestica koje se mogu unijeti u Al materijale, a koje će kasnije uzrokovati koroziju.

Poroznost je najčešća greška koja se može javiti u zavarima, a uzrokovana je vodikom zbog:

- a) prisustva vodika u atmosferi luka (vlaga, masnoće, ....),
- b) velike topivosti vodika u talini, a zatim smanjenja topivosti u krutom stanju za oko 10 puta.

Sloj Al oksida apsorbira vlagu, pa može uzrokovati poroznost. Potrebno je spriječiti ulaz vodika (odstraniti moguće izvore vodika) i/ili omogućiti efuziju (izlaz) vodika odgovarajućim postupkom i režimom zavarivanja. Predgrijavanje smanjuje odvođenje topline i smanjuje vjerojatnost pojave poroznosti. Pored vodika Mg i Zn - lako isparljivi elementi pri visokim temperaturama zavarivanja mogu uzrokovati poroznost. Tople pukotine se mogu javiti, a one su posljedica poprečnih reakcijskih naprezanja pri stezanju. Smjer kristalizacije i veličina kristala, te sadržaj nečistoća utječu na pojavu pukotina. Za spriječavanje toplih pukotina danas se koriste dodatni materijali s dodacima Ti, Zr i Cr do 0.1%. Ovi elementi će dati sitnije zrno jer stvaraju više klica kristalizacije pri skrućivanju.

Može se sumirati da na pojavu toplih pukotina utječu:

- kemijski sastav osnovnog i dodatnog materijala,
- reakcijska naprezanja,
- režim zavarivanja (veličina i oblik kupke, brzina hlađenja) i miješanje OM i DM. Predgrijavanje i pravilan slijed zavarivanja će smanjiti vjerojatnost pojave toplih pukotina.

Toplinska obrada kaljivih Al-legura obuhvaća tri koraka:

- a) Homogenizacija (470 - 530 oC)
- b) Hlađenje određenom brzinom
- c) Dozrijevanje pri sobnoj ili povišenoj temperaturi pod kontrolom - umjetno dozrijevanje.

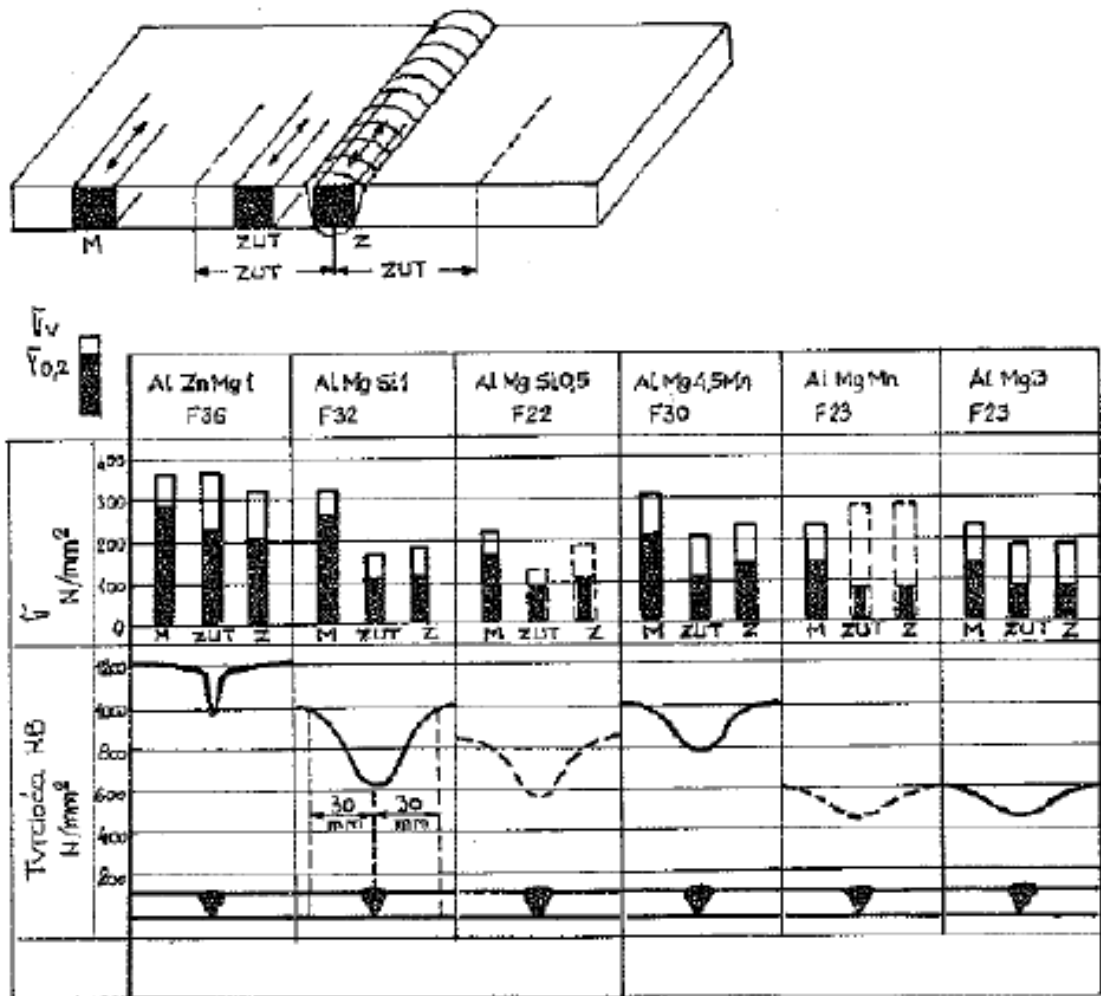
## **2.2. IZBOR DODATNOGA MATERIJALA**

Osnovna metodologija :

- Odrediti osnovni materijal i debljinu
  - Odrediti postupak zavarivanja i vrstu spoja
  - Definirati zahtjeve na zavareni spoj
    - a) otpornost na pojavu pukotina
    - b) zahtjev na cvrstocu i duktilnost
    - c) zahtjev na korozijsku otpornost
    - d) svojstva materijala na povišenim temperaturama
- Za toplinski neobradljive legure koristi "kartu" za izbor dodatnoga materijala ; obrati pažnju na odnos Mg/Si
- Za toplinski obradljive legure: osim definiranih zahtjeva obratiti pažnju na pojavu toplih pukotina, ZUT pukotina, mješanja , PWHT

## 2.3. ČVRSTOČA SPOJA

U mnogim slučajevima ZUT diktira čvrstocu spoja, te mnoge žice kod sučelnih spojeva dolaze u obzir sa ovoga aspekta. Kod kutnih spojeva glavnu ulogu igra SMIČNA ČVRSTOČA, te tu izbor dodatnoga materijala ima važnu ulogu: 4xxx serija ima manju duktilnost te time i nižu smičnu čvrstocu kod kutnih zavora; serija 5xxx ima višu duktilnost te približno duplu smičnu čvrstocu u odnosu na seriju 4xxx. Utjecaji zavarivanja na čvrstoću i tvrdoću dani su u slici 3.



Slika 3. Utjecaj zavarivanja na čvrstoću i tvrdoću

U sljedećem poglavlju nabrojat ćemo i objasniti neke od postupaka zavarivanja Aluminija i njegovih legura.

Postupci zavarivanja:

1. Plinsko zavarivanje
2. REL zavarivanje
3. TIG zavarivanje
4. MIG zavarivanje
5. Hladno zavarivanje
6. Elektrootporno zavarivanje
7. Difuzijom
8. Kondenzatorsko s pražnjenjem (slično elektrootpornom),
9. Ultrazvukom,
10. Trenjem
11. Snopom elektrona
12. Eksplozijom
13. Plazma (i mikroplazma za debljine 0,2 do 1,5 mm)
14. Pod troskom
15. Pod prahom
16. Ljevačko
17. Lemljenje

**2.4. Plinsko zavarivanje** ( $C_2H_2+O_2$ ) s reducirajućim plamenom - viškom acetilena, da plamen ne bude oksidirajući. Koriste se topitelji u obliku prašaka i paste (kloridi i fluoridi alkalnih metala) da se kemijski veže i odstrani Al oksid. Ostatke topitelja nakon zavarivanja treba odstraniti, jer uzrokuju koroziju.

**2.5. REL zavarivanje** koristi elektrode sa oblogom sličnoj topitelju oksida kod plinskog zavarivanja. Plinsko i REL zavarivanje se najviše koristilo od 1910. god. do poslije drugog svjetskog rata. Danas se koriste najviše TIG i MIG postupci.

## 2.6. TIG postupak zavarivanja

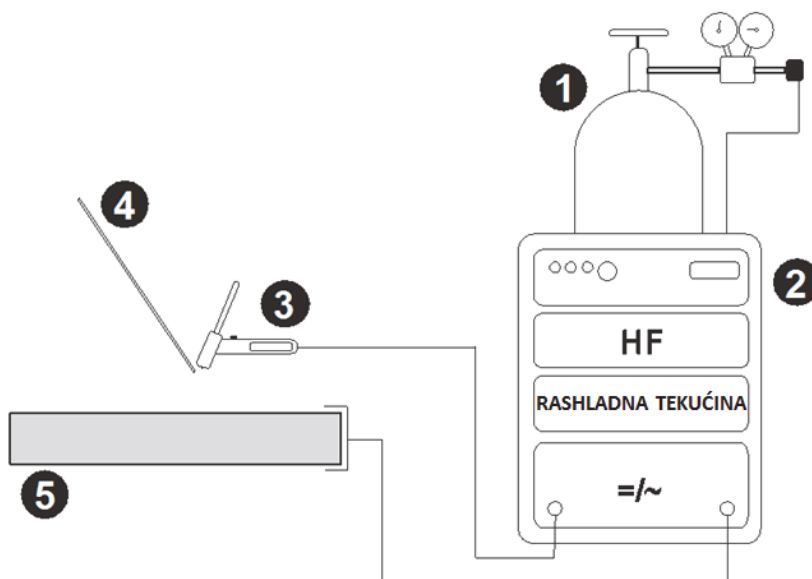
TIG postupak zavarivanja je elektrolučni postupak zavarivanja netaljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi inertnog plina (Ar, He) ili rjeđe smjesi plinova. Skraćenica imena postupka dolazi od punog naziva "Tungsten Inert Gas", a često se naziva i WIG (Wolfram Inert Gas) ili GTAW (Gas Tungsten Arc Welding).

Danas ovaj postupak, uz vrlo male konstrukcijske promjene, ali zbog značajnih prednosti ili primjeni modificiranih izvedbi (omogućenih kroz razvoj izvora struje za zavarivanje) predstavlja značajan elektrolučni postupak zavarivanja primjenjiv na širokom spektru materijala (čelici, plemeniti čelici, teški i laki obojeni metali itd.) u ručnoj, polu-automatiziranoj ili automatiziranoj primjeni.

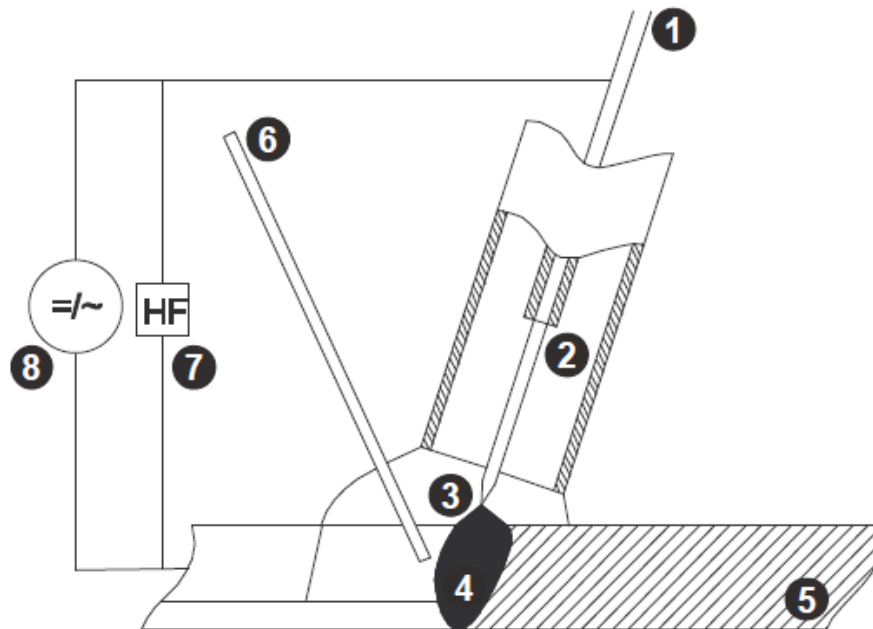
### 2.6.1. Općenito o TIG postupku zavarivanja

Kod TIG postupka zavarivanja električni luk uspostavlja se između netaljive volframove elektrode i osnovnog materijala. Zona utjecaja topline, rastopljeni osnovni materijal i volframova elektroda zaštićeni su atmosferom inertnog plina. Proces zavarivanja izvodi se s dodatnim materijalom ili bez njega (pretaljivanje).

Shematski prikaz TIG procesa zavarivanja prikazan je slikom 4 i 5.



Slika 4. Shematski prikaz opreme za TIG zavarivanje: 1- zaštitni plin, 2- izvor struje za zavarivanje, 3- gorionik, 4- dodatni materijal, 5- osnovni materijal



Slika 5. Shematski prikaz TIG zavarivanja: 1- Netaljiva elektroda, 2- Sapnica gorionika, 3- Električni luk, 4- rastaljeni materijal, 5- Osnovni materijal, 6- Dodatni materijal, 7- Visokofrekventni generator, 8- Izvor struje

Netaljiva elektroda služi isključivo za uspostavu električnog luka, a njezino trošenje rezultat je termičkih opterećenja ili mehaničkih oštećenja. Također, netaljiva elektroda svojom geometrijom utječe na karakteristiku električnog luka. Električni luk, slika 6, uspostavlja se kontaktno (neposredno ili posredno) ili preko visokofrekventnog generatora, sklopa integriranog zajedno sa upravljanjem i izvorom struje za zavarivanje. Električni luk kod ovog postupka zavarivanja sastoji se od tri područja: katodnog, anodnog i područja stupa električnog luka. Anodno područje (područje plus pola) i katodno područje (područje minus pola) malih su duljina, a sastoje se od oblaka iona koji udaraju u anodu tj. katodu te oslobađaju određenu količinu energije (toplina). Područje stupa električnog luka, tj. njegova duljina ovisi o naponu električnog luka, a najčešće odgovara promjeru netaljive elektrode. Kako je po definiciji električni luk intenzivno izbijanje u smjesi plinova i para, slijedi da je glavni nosilac ionizacije kod ovog postupka zavarivanja upravo zaštitni plin, a o njemu ovisi također i uspostava i stabilnost luka. Temperature koje se razvijaju kod TIG postupka zavarivanja funkcija su osnovnih parametara zavarivanja, vrsti zaštitnog plina te vrsti osnovnog materijala, a u samoj osi plazme električnog luka mogu dosežati preko 20 000 °C



Slika 6. Uspostva el luka



Slika 7. Električni luk

### **2.6.2. Osnovne prednosti TIG postupka su:**

- koncentriranost električnog luka, smanjeni ZUT
- nema prskanja, nema troske
- minimalna količina štetnih plinova
- zavarivanje širokog spektra metala i njihovih legura
- mogućnost zavarivanja raznorodnih materijala
- mogućnost izvođenja zavarivanja u svim položajima
- mogućnost zavarivanja pozicija male debljine
- pogodno za izvođenje reparaturnih radova
- pravilno izveden zavareni spoj spada u najkvalitetnije zavarene spojeve izvedene elektrolučnim postupkom
- odličan izgled zavarenog spoja.

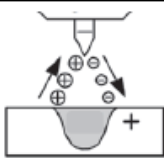
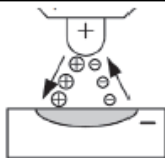
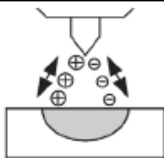
### 2.6.3. Osnovni nedostaci TIG postupka su:

- mala brzina zavarivanja
- mali depozit dodatnog materijala
- neekonomičnost u zavarivanju debljih pozicija (iznad 6mm)
- zahtjeva se precizna priprema zavarenog spoja
- viša cijena opreme za zavarivanje i zaštitnih plinova
- zahtjevnost izvođenja ručnog TIG zavarivanja, duža izobrazba zavarivača
- otežanost izvođenja zavarivanja na otvorenim prostorima
- potreba za prisilnom ventilacijom zraka kod izvođenja zavarivanja u skućenim prostorima
- pojačana svijetlost i UV zračenje.

### 2.6.4. Podjela TIG postupka prema vrsti primijenjene struje

O primijenjenoj vrsti struje zavarivanja te polaritetu elektrode ovisi raspodjela topline u električnom luku (raspodjela topline između netaljive elektrode i radnog komada). Slijedom toga moguća su tri slučaja, tablica 3:

- Istosmjerna struja – elektroda na "-" polu (DCEN)
- Istosmjerna struja – elektroda na "+" polu (DCEP)
- Izmjenična struja (AC)

Vrsta struje	DC	DC	AC
Polaritet	-	+	
			
Čišćenje oksida	NE	DA	DA (pola ciklusa)
Raspodjela topline	1/3 na elektrodi 2/3 na materijalu	2/3 na elektrodi 1/3 na materijalu	1/2 na elektrodi 1/2 na materijalu
Penetracija	uska, duboka	plitka, široka	srednje široka srednje duboka
Kapacitet elektrode	odličan npr: Ø3,2/400A	loš npr: Ø6,4/120A	dobar npr: Ø3,2/255A

Tablica 3. Primjeri karakteristika TIG zavarivanja ovisno o vrsti struje i polaritetu



Kod zavarivanja TIG postupkom istosmjernom strujom gdje je elektroda na pozitivnom polu (DCEP - Direct Current Electrode Positive) smjer elektrona je suprotan pa je time i raspodjela topline drugačija – dolazi do velikog toplinskog opterećenja elektrode. Stoga, ovaj način zavarivanja je moguć kod manjih struja zavarivanja uz primjenu netaljivih elektroda većeg promjera. Također, penetracija je manja, a zaobljenost vrha elektrode može rezultirati nestabilnošću električnog luka. Ipak, smjer pozitivnih iona (s elektrode na radni komad) rezultira razaranjem tankih površinskih oksida s površine osnovnog materijala što omogućuje zavarivanje aluminija, magnezija i njihovih legura.

#### **2.6.5. Zaštitni plinovi**

Najčešći zaštitni plinovi koji se koriste u primjeni TIG postupka zavarivanja su plemeniti plinovi helij i argon. Iako se u izvornom obliku TIG procesa koristio helij, danas je argon taj koji je dominantan u primjeni. Oba plina su inertna te daju zaštitnu atmosferu u kojoj ne dolazi do kemijskih reakcija između zaštitnog plina i osnovnog materijala. Osim primarnog cilja zaštitnog plina, a to je zaštita rastaljenog materijala od utjecaja atmosfere, važno je za naglasiti da zaštitni plin direktno utječe i na stabilnost te kvalitetu električnog luka, geometrijske karakteristike zavarenog spoja, estetski izgled zavarenog spoja kao i na količinu para koje se oslobađaju tijekom procesa zavarivanja.

Argon je najjeftiniji inertni plin koji se koristi kod TIG zavarivanja, ali to nije jedina njegova prednost. Ima niski ionizacijski potencijal (energija potrebna za uzimanje jednog elektrona atoma plina da ga pretvori u ion), 15,7 eV, što olakšava uspostavu i stabilnost električnog luka. Također, 1,4 puta je teži od zraka te izlaskom iz sapnice potiskuje zrak i dobro štiti rastaljeni metal, a ista karakteristika doprinosi i potrebi za manjim protokom prilikom zavarivanja. Argon u odnosu na helij ima nižu toplinsku vodljivost što rezultira kompaktnijim električnim lukom čime se dobiva manja penetracija i protaljivanje. Minimalna potrebna čistoća argona iznosi 99,95%, iznimno 99,997%.

### 2.6.6. Netaljive elektrode

Netaljiva elektroda služi za uspostavu električnog luka između gorionika i radnog komada, tj, kao provodnik električne struje. Ne tali se, njezino trošenje isključivo je povezano za oblikovanjem njezine geometrije brušenjem, ili eventualno oštećenjima zbog nepravilne tehnike rada. Prosječni vijek trajanja netaljive elektrode dužine 200 mm iznosi 30 sati. Elektrode se izrađuju od volframa, metala velike gustoće (poznat i kao tungsten; švedski: "teški kamen") i tališta 3422 °C.

Razvojem TIG zavarivanja i izvora struje za zavarivanje dolazilo je i do većih zahtjeva u pogledu uspostave i stabilnosti električnog luka pa se danas upotrebljavaju elektrode koje nisu od čistog volframa, već se legiraju kako bi se poboljšale njezine radne karakteristike.

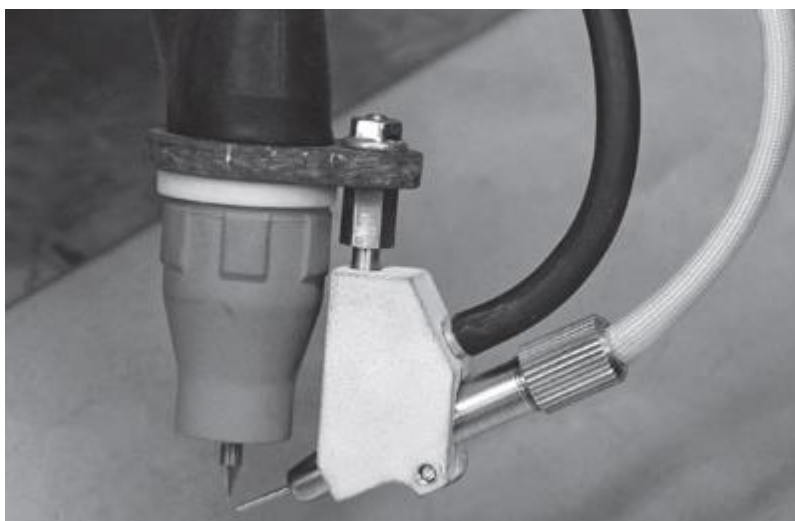
Primjeri legiranja, primjene i oznaka elektrode dani su u tablici 4.

Tip elektrode	Oznaka (boja)	Primjena i karakteristike
W	ZELENA	dobra stabilnost luka kod AC zavarivanja, otporna na onečišćenja, niža cijena
dodatak oksida 1,8-2,2 % $CeO_2$	SIVA	karakteristike slične kao i kod elektroda sa torijevim oksidom, laka uspostava luka, duži vijek trajanja
dodatak oksida 1,7-2,2 % $ThO_2$	CRVENA ŽUTA LJUBIČASTA NARANČASTA	laka uspostava luka, veća stabilnost luka, podnosi veće opterećenje, duži vijek trajanja, otežana stabilnost luka kod oblog oblikovanja na AC strujama
dodatak oksida 1,3-1,7 % $La_2O_3$	ZLATNA CRNA PLAVA	vrlo slične karakteristike kao kod elektroda s torijevim oksidom
dodatak oksida 0,15-0,40 % $ZrO_2$	SMEĐA	izvrsne karakteristike kod AC zavarivanja i zaobljenog vrha elektrode, visoka otpornost na onečišćenja, laka uspostava električnog luka, prikladno kod zahtjeva gdje nije dozvoljeno prisutstvo wolframa u zavaru

Tablica 4. Vrste netaljivih elektroda

### **2.6.7. Dodatni material**

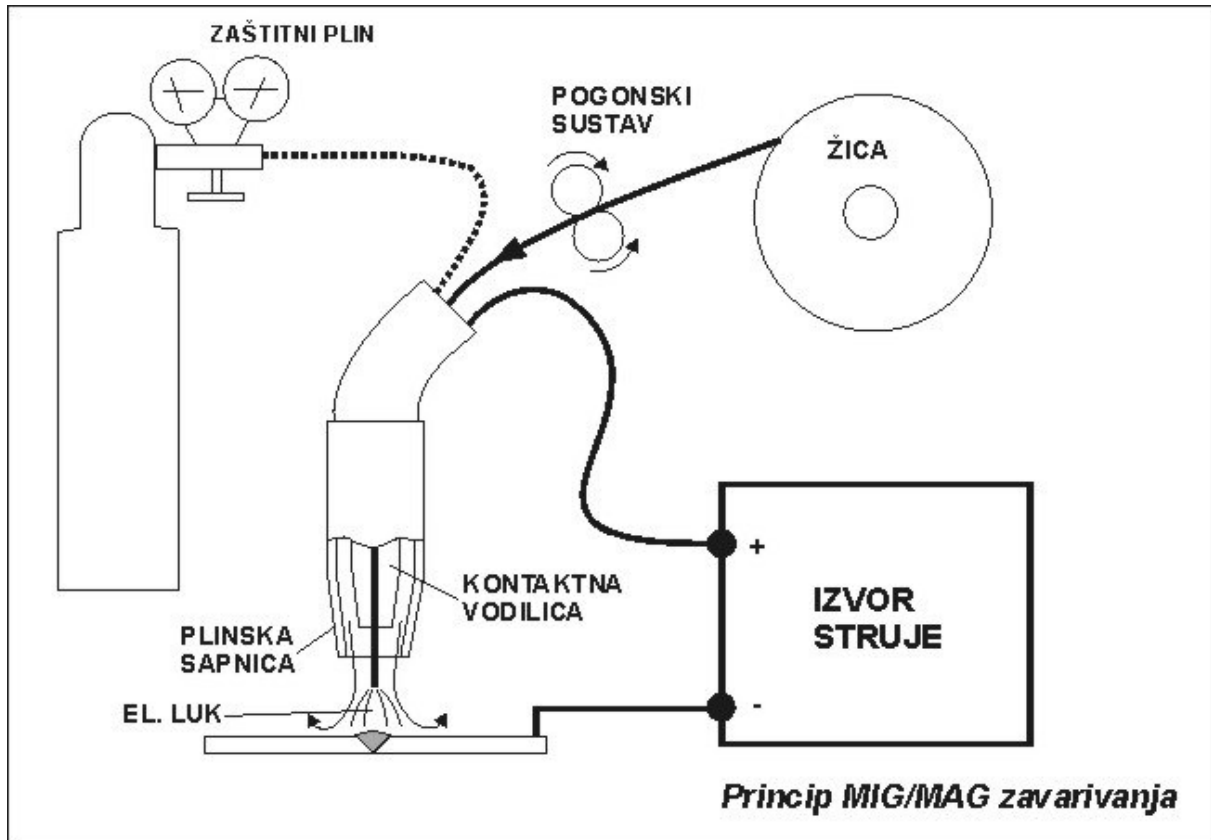
Izvođenje TIG zavarivanja moguće je s ili bez dodatnog materijala. Zavarivanje bez dodatnog materijala, pretaljivanje, upotrebljava se najčešće do debljina cca 3 mm. Ukoliko postoji potreba za dodatnim materijalom on se dodaje ručno ili automatizirano. Kod ručnog dodavanja materijala u zavareni spoj govori se o šipkama različitih promjera i duljine cca 915 mm (36 in). Kod automatiziranog dodavanja dodatnog materijala gdje se dodatni materijal mehanizirano dovodi do rastaljenog osnovnog materijala u "hladnom" ("cold wire") ili predgrijanom stanju ("hot wire"). Osnovna prednost ovakvog načina dovođenja dodatnog materijala kod TIG zavarivanja je znatno povećanje produktivnosti procesa (veća količina depozita) čime se umanjuje najveći nedostatak istog, slika 8.



Slika 8. TIG Hot wire postupak zavarivanja

## 2.7. MIG postupak zavarivanja

Elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi inertnog plina (MIG) je postupak zavarivanja taljenjem, gdje se električki luk uspostavlja i održava između taljive žice i radnog komada koji se zavaruje.

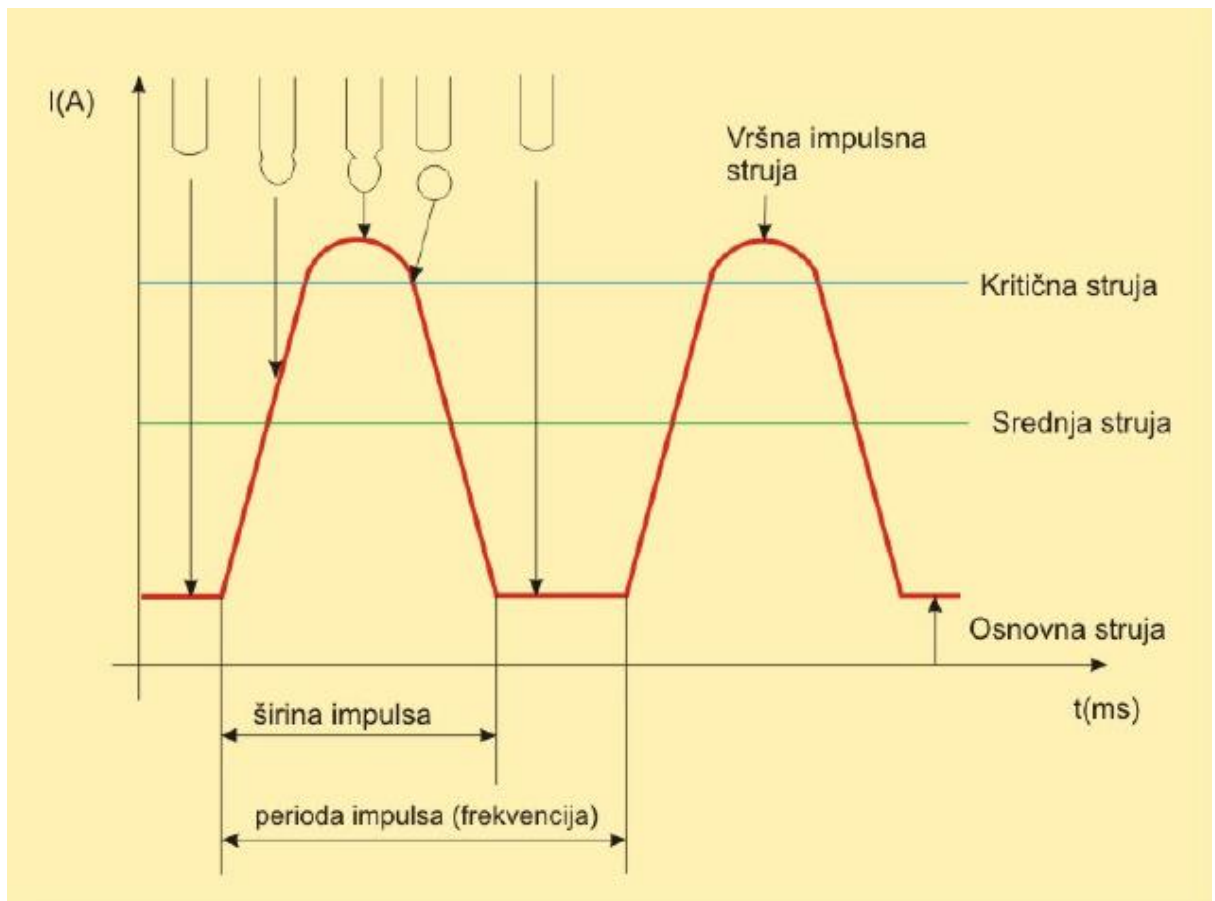


Slika 9. Shematski prikaz opreme za MIG zavarivanje

Zbog utjecaja topline električkog luka, topi se žica (koja se dovodi konstantnom brzinom) i osnovni materijal na mjestu zavarivanja, čime se ostvaruje zavareni spoj. Kod zavarivanja aluminija, proces se odvija u zaštitnoj atmosferi koju omogućuje inertni plin argon (Ar) ili mješavine argona i helija (Ar+He). Postupak je izuzetno pogodan za mehanizaciju, automatizaciju i robotizaciju.

### 2.7.1. Specifičnosti kod zavarivanja tankih aluminijskih limova (i profila)

U praksi prevladava mišljenje da se kod aluminija MIG postupak ne koristi ispod debljina od 1,5mm, ili da se za takve debljine uglavnom koristi impulsni MIG postupak. Kod MIG impulsnog postupka izvor struje generira promjenljiv oblik struje (impuls), koji omogućava otkidanje samo jedne kapljice tijekom impulsa, a količina prijenosa materijala se regulira promjerom žice i brojem impulsa (frekvencijom).



Slika 10. Grafički prikaz impulsnog postupka i načina otkidanja kapljice

Ovim načinom se osigurava stabilan i miran električni luk, praktički bez rasprskavanja (prijenos kapljica je u režimu štrcajućeg luka). Ipak, pored svakako najboljih tehnoloških mogućnosti, još uvijek su takvi uređaji relativno skupi, sukladno kompleksnoj upravljačkoj tehnologiji koju koriste.

Postoji čitav jedan segment tržišta koji koristi tehnologiju zavarivanja tankog aluminija (reparatura automobilskih karoserija, izrada jednostavnog aluminijskog namještaja, izrada samostojećih reklama), gdje zavarivači nisu posebno educirani i gdje se koristi i klasični MIG postupak.

Naime kod zavarivanja aluminija MIG postupkom bilo koje vrste, postoje zajednički problemi koji mogu i najmoderniji uređaj učiniti beskorisnim, ukoliko se ne poštuju neka osnovna pravila.

Kod aluminija je svakako najveći problem kontinuirano dovođenje dodatnog materijala (žice) od koluta do mjesta zavarivanja, a što ovisi samo o primjenjenom sustavu vođenja žice.

### **2.7.2. Sustavi dodavanja (vođenja) žice**

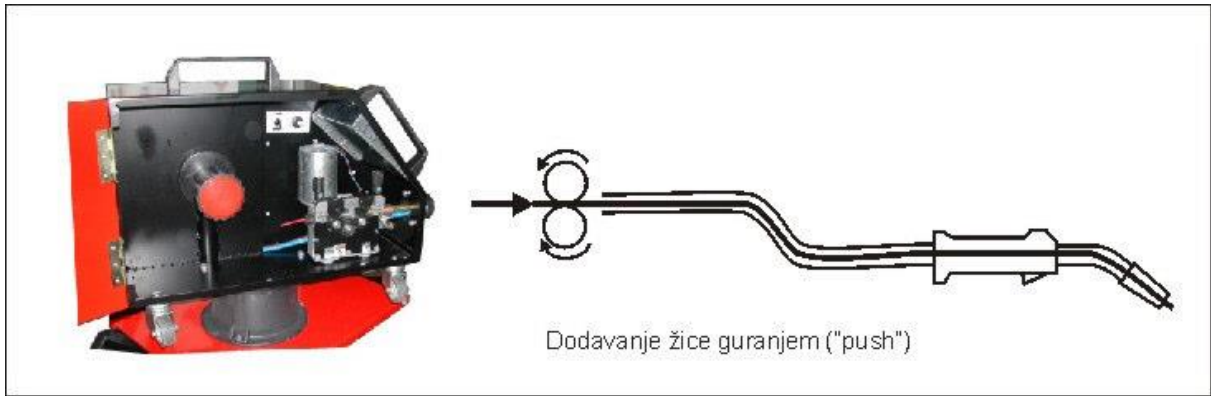
Za dodavanje žice se najčešće koriste tri načina:

#### 2.7.2.1. Dodavanje žice guranjem:

Žica se kontroliranom brzinom gura pomoću pogonskih kotačića kroz vodilicu žice u gorioniku do samog mjesta zavarivanja. Ovaj sustav je poznat pod imenom «push», a komercijalno je kod nas poznat još i kao A10. Kontrolirana brzina osigurava se elektronički reguliranim istosmjernim motorom, siguran pogon osigurava sa 2 ili 4 pogonska kotačića (valjka), koji žicu vode i guraju kroz kalibrirane utore (specijalni V ili U za aluminij) čije dimenzije i oblik ovise o materijalu i promjeru žice.

Pogonski sustav se kod kompaktnih uređaja ugrađuje u zajedničko kućište, a kod modularnih uređaja u posebno kućište uređaja za dodavanje žice. Ovaj način omogućava efikasan rad s žicama promjera 1,2-2,4mm za aluminij i njegove legure, a sve vodilice u sustavu su najčešće teflonske, poliamidne ili grafitne.

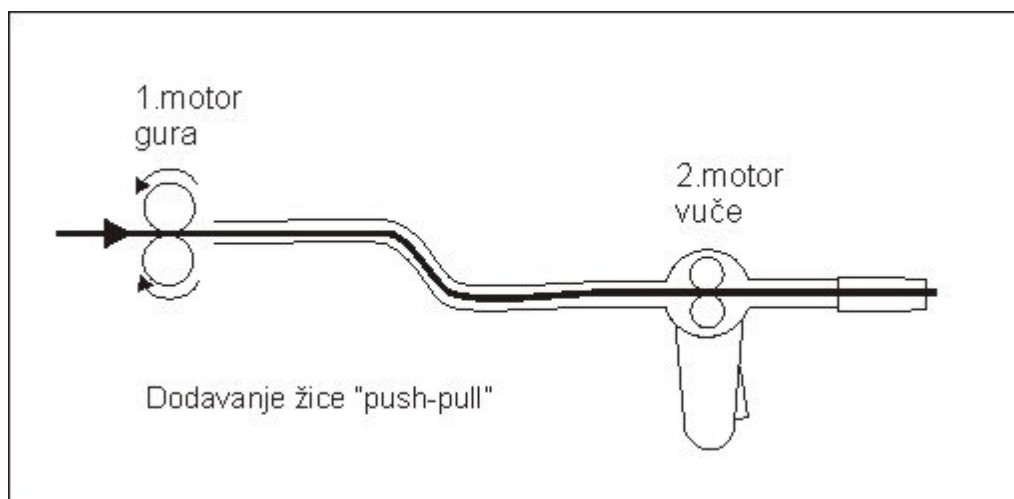
Dodavanje žice guranjem omogućava sigurno dodavanje na udaljenostima do 3 m od izvora i danas se najčešće koristi u praksi, a kod impulsnih izvora skoro obvezno.



Slika 11. Dodavanje žice guranjem

#### 2.7.2.2. Dodavanje žice push – pull tehnikom

Žica se kontroliranom brzinom gura (push) pomoću pogonskih kotačića kroz vodilicu žice do pogonskih kotačića u gorioniku, koji ih vuče (pull) do mjesta zavara. U ovom slučaju drugi pogonski motor se nalazi u ručki gorionika, a po svojoj izvedbi može biti električki ili zračni. Sustav je poznat pod imenom Push-pull, a komercijalno kod nas kao A9. Prednost ovog sustava je stalna zategnutost žice u vodilici, što omogućava sigurno dodavanje i kod žica manjih promjera (0,8mm) i na udaljenostima do 15m od izvora. Mana postupka je njegova cijena i težina sustava gorionik/kabel, naročito kod većih struja i udaljenosti, stoga se on danas koristi uglavnom kod zavarivanja aluminija i njegovih legura na konstrukcijama gdje druga rješenja nisu moguća.



Slika 12. Dodavanje žice push – pull tehnikom

### 2.7.2.3. Dodavanje žice vučenjem

Korištenjem posebne izvedbe gorionika tzv. «spool gun», kod kojeg se pogon nalazi samo u ručki gorionika (kao kod push-pull sustava), ali je i žica na manjem kolutu također smještena na ručki gorionika. Kolut sa žicom je promjera 100mm i može sadržavati najviše do 0,5 kg žice. Iz ovog je vidljivo da se ovaj način koristi samo za male promjere žice i to pretežno za aluminij (0,6-1,0mm). Ovim načinom postižu se udaljenosti od izvora do 15m bez većih problema, a i paket kablova nije težak.



Slika 13. Spool gun gorionik

### 2.7.3. Parametri zavarivanja i njihov izbor

Parametre kod MIG/MAG nije uvijek jednostavno odabrati. Oni zavise o debljini materijala kojeg zavarujemo, tehnološkim zahtjevima, uvjetima u kojima se zavarivanje odvija, položaju u kojem želimo ili možemo zavarivati, opremi koju imamo na raspolaganju, eventualnom stupnju mehanizacije, iskustvu zavarivača itd. Stručna literatura, standardi primjene i zavarivački software uglavnom definiraju konkretne parametre za konkretne primjene, koje uvijek prije konkretne primjene treba verificirati pokusom.



Osnovni parametri koje treba uzimati u obzir kod MIG/MAG zavarivanja su slijedeći:

- struja zavarivanja (definirana brzinom i promjerom žice, utječe na količinu rastaljenog materijala u jedinici vremena)
- napon luka utječe na način prijenosa metala, te protaljivanje širinu i izgled zavara
- veličinu induktiviteta («toplina» luka)
- brzina zavarivanja (količina unesene topline, produktivnost)
- količina zaštitnog plina
- dužina slobodnog kraja žice

Zbog lakšeg izbora parametara, danas većina proizvođača nastoji ponuditi automatsko postavljanje parametara, na temelju odabrane vrste dodatnog materijala i npr. debljine materijala koji se zavaruje.

#### **2.7.4. Priprema materijala**

Površina predmeta u području zavarivanja, kao i upotrebljena žica moraju biti što je moguće čišći, bez masnoća. Radi uklanjanja oksida, površinu zavarivanja treba očistiti četkom od nehrđajućeg čelika.



Slika 14. Čišćenje mjesta zavara četkom

Kod zavarivanja sučeonog spoja uvijek koristiti podlogu, kako bi se talina brže skrutnula. Kao podloga se mogu koristiti deblje ploče od CrNi čelika, bakra ili aluminija.

Zavaruje se smjerom „od desno na lijevo“, a gorionik se drži pod nagibom 75-80° suprotno od smjera zavarivanja, radi boljeg čišćenja oksida.



Slika 15. Kod lijevog zavara smjer zavarivanja pogrešan (zavar crn)

Zaštitni plin je čisti argon (99,99%). Potreban protok plina je za manje struje (tanji materijali) oko 10l/min, za jače struje i štrcajući luk protok je od 12-22 l/min.

### **2.7.5. Priprema uređaja za zavarivanje**

Vučni valjci moraju biti specijalno prilagođeni zavarivanju aluminija, utori za vođenje žice moraju biti oblika U ili specijalno V (oznaka „A“ na valjcima). Promjer valjaka koji se danas koristi je obično 37mm, iako se mogu koristiti valjci promjera 30mm.

Pritisak potisnog valjka na vučni mora bit što manji, a da ne dođe do proklizavanja. Preveliki pritisak (koji se daje regulirati) uzrokuje klasičnu grešku, gužvanje žice (vidi Sliku16).



Slika 16. Pritisak valjaka prevelik.

Vodilica žice od vučnog valjka do kontaktne vodilice mora biti naprekinuta i nemetalna. Obično se koristi teflon i neke vrste poliamida pomiješane s grafitom (vidi sliku17).



Slika 17. Ulaz žice kroz teflonsku vodilicu

Promjer rupe na kontaktnoj vodilici u gorioniku mora biti veći od onog koji se koristi za zavarivanje čelika, obično se uzima vodilica „jedan broj veća“ (za žicu promjera 1mm uzima se vodilica za čeličnu žicu 1,2mm, ili specijalna vodilica za Al žicu 1mm).

### 3. EKSPERIMENTALNI DIO

U eksperimentalnom dijelu završnog rada biti će obrađen na konkretnom primjeru usvajanje novog tehnološkog procesa zavarivanja Al legura. Konkretni primjer biti će obrađen u tvrtki Kontal d.o.o. dok će laboratorijska ispitivanja biti obavljena u prostorima Veleučilišta u Karlovcu na katedri za ispitivanje materijala. Ovim putem se zahvaljujem tvrtki Kontal d.o.o. na ustupljenim uzorcima, te Veleučilištu u Karlovcu na ispitivanju uzoraka metodom bez razaranja.

#### 3.1. Predstavljanje tvrtke Kontal d.o.o.

Tvrtka Kontal d.o.o. je proizvođačka tvrtka nastala na temeljima alatnice bivše Jugoturbine, koja se već dugi niz godina, uz proizvodnju alata i klasične alatničarske poslove, bavi i proizvodnjom proizvoda i dijelova od prerađenog lima. Orijentirana je na izvoz i zadnjih desetak godina 90% svoje proizvodnje izvozi na europsko tržište. Glavni je dobavljač tvrtke SMS ab ([www.smartmediasolutions.se](http://www.smartmediasolutions.se)) iz Švedske koja se bavi projektiranjem i prodajom nosača za plasma i LCD televizore i projektore, a u zadnjih nekoliko godina i zahtjevnijih proizvoda poput nosača za video zidove, kabineta za ekrane na dodir, nosače pametnih ploča i tome slično.



Slika 18. Proizvodni program tvrtke Kontal d.o.o.

Osim proizvoda za tvrtku SMS ab iz Švedske, tvrtka Kontal d.o.o., između ostalog, proizvodi i ormariće za razdjelnike, dijelove međusklopova za tvrtku Alstom Hrvatska d.o.o. ([www.alstom.com](http://www.alstom.com)), dijelove nosača metalnih konstrukcija, dijelove kombajna za Same Deutz - Fahr Žetelice d.o.o. iz Županje, silose za pelete, te razne alate.



Slika 19. Proizvodni program tvrtke Kontal d.o.o.

U tehnološkom parku tvrtke Kontal d.o.o. nalaze se:

- 3 stroja za lasersko rezanje svih vrsta limova
- CNC Apkant preše za savijanje limova,
- Ekcentar preše do 200 t,
- robot za zavarivanje,
- oprema za TIG i CO2 zavarivanje,
- hidraulične škare za rezanje lima,
- linija za plastifikaciju,
- manji vertikalni obradni centar,
- 2 erozimata na žicu (max radna površina 1030 x 800 x 350 mm)
- strojevi za klasičnu alatničarsku obradu – tokarenje, glodanje, brušenje, koordinatno bušenje



Slika 20. Laseri za izrezivanje pozicija iz lima



Slika 21. Erozimati na žicu

2010. godine tvrtka dobiva certifikate ISO 9001:2009 i ISO 14001:2003 čime jamči svoju kvalitetu. Na 7000 m<sup>2</sup> proizvodnog prostora zapošljava pedesetak ljudi. Od računalnih programa u konstruiranju koristi Solidworks. Svojim iskustvom i uz vlastiti know-how podesni smo za posao od razvoja proizvoda do serijske proizvodnje.

### **3.2. Usvajanje novog proizvoda**

Svaka serijska proizvodnja u Kontalu ima isti početak, a to je da od konstrukcijskog tima SMS-a dobijemo upit za izradu nove serije stalka. Ovoga puta se radi o stalku koji mora sadržavati sljedeće karakteristike:

- Stalak za TV ekran cca 50kg
- Instalacija stalka predviđena za vanjsku upotrebu, što podrazumjeva da ekran mora biti zaštićen od vlage, prašine, udaraca itd
- Omogućiti rad ekranu bez obzira na vanjske uvijete (-30°C do +30°C)
- Zbog svoje veličine mora u potpunosti biti izrađen od aluminija

Ovo su podaci koje smo imali u početku samog projekta. Naš zadatak je bio ispoštovati sve gore navedene uvijete, dok je SMS bio zadužen za dizajn proizvoda. Prvi problem je u tome što su za materijal odabrali Al. Kao što sam u prvom dijelu rada naveli, Al i njegove legure su materijali koji svojom malom gustoćom pridonose smanjenju ukupne mase proizvoda u odnosu na čelik.

### **3.3. Izbor materijala**

Izbor materijala je bio vrlo uzak. Aluminij koji je dobavljiv u tablama što nam je potrebno za lasersko izrezivanje je bio Al99 što je gotovo čisti aluminij, te AlMg3 kojeg smo od prije upotrebljavali u nekim od proizvoda. AlMg3 je vrlo povoljan za laserno izrezivanje uz obaveznu upotrebu dušika kao dodatnog plina, te je vrlo dobro zavarljiv. Na slici 5 je prikazan atest osnovnog materijala iz kojeg će proizvod biti izrađen.

Kao dodatni materijal biti će korištena žica AlMg<sub>5</sub>



**TLM-TVP d.d.**  
 za proizvodnju valjanih proizvoda  
 Narodnog preporoda 12 22000 Šibenik



Certificate No. 15936  
 29.11.2013

**INSPECTION CERTIFICATE OF MATERIALS**

Purchaser Kupac	METALMINERAL ZAGREB SVETONEDJELJSKA CESTA 16 10431 SVETA NEDJELJA HRVATSKA	Dispatch Note Otpremnica br.	Total mass Ukupna težina
		60343	1093
		Purchaser's order No. Ugovor br.	Manufacturer's order
		54/2013	93263
Product and dimension Proizvod i dimenzije	1.50X1250X2500 AL SHEET	Alloy Slitina	Temper Stanje
		5754	H22

**MATERIAL SPECIFICATION**

**SPECIFIED MECHANICAL PROPERTIES**

Yield point Rp0,2 N/mm2	Tensile strength Rm N/mm2	Elongation A %	Deep drawing	Ears %	No. of grain	No. of pinholes /m2
130	220-270	8/50	B Z	B Z	0	<

**TEST RESULTS**

**MECHANICAL PROPERTIES**

Ident. broj	Cast No.	Coil No.	Yield point Rp0,2 N/mm2	Tensile strength Rm (N/mm2)	Elongation A %	Ears %	Deep drawing mm	Ra	HB	El. conduct m/Ω*mm2	No. of grain	No. of pinholes /m2

**CHEMICAL COMPOSITION (%)**

Cast.No.	Cu	Mn	Mg	Si	Fe	Zn	Ti	Pb	Bi	Cr	Zr	Be	Sn	Sb	Cd	In	Al
3111	.02	.26	2.64	.1	.34	.02	.027			.14		.001					

Case No. 368186

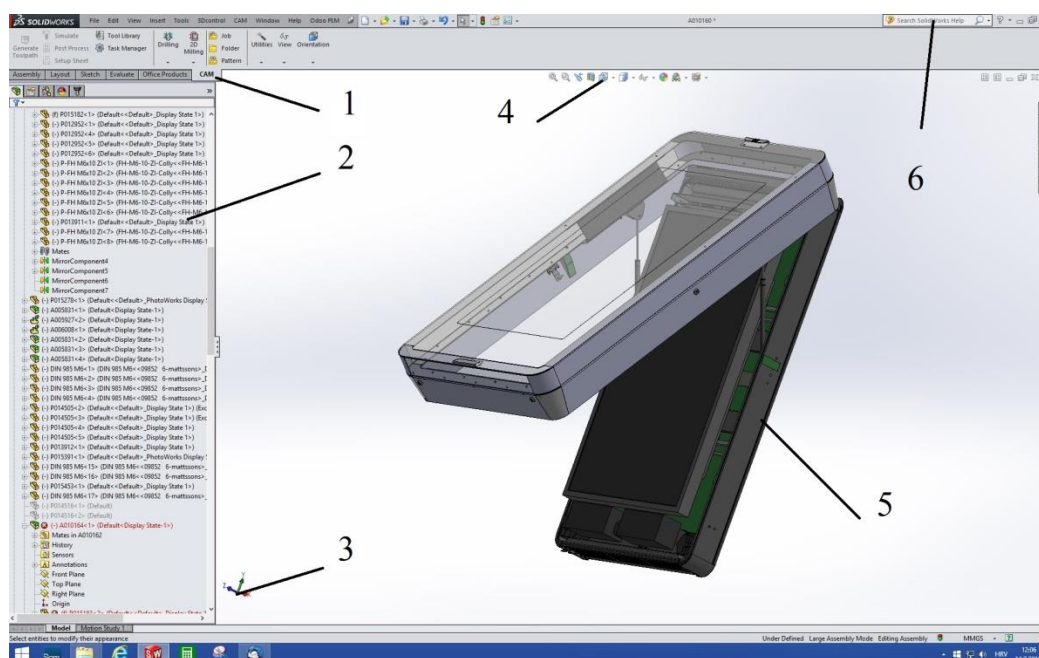
**Declaration:** We hereby certify that the material described is in accordance with the rules of EN 485-1, EN 10204-3.1.

Slika 22. Atest osnovnog materijala



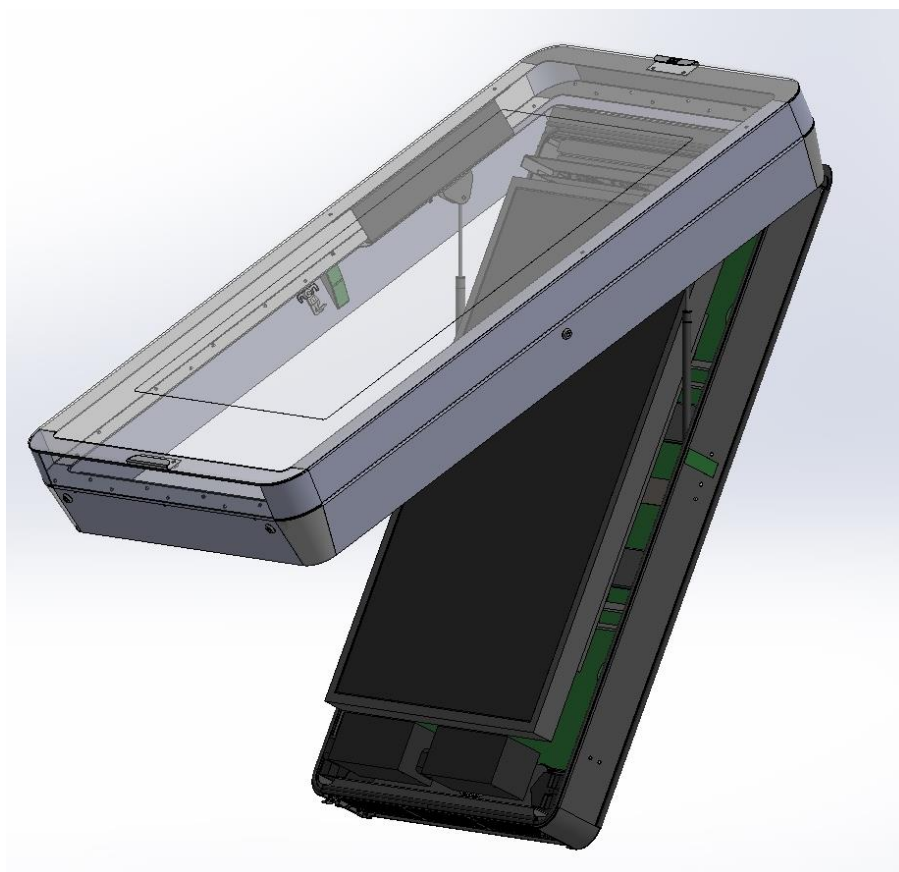
### 3.4. Priprema 3d modela i tehničke dokumentacije

Prije samog procesa izrade prototipa, te nulte serijske proizvodnje potrebno je pripremiti i pregledati 3D modele, te tehničku dokumentaciju. Tvrtka Kontal d.o.o. koristi računalni program Solidworks za modeliranje i izradu tehničke dokumentacije. Na slici 6 prikazano je korisničko sučelje Solidworks 2014.



Slika 23. Korisničko sučelje Solidworks 2014: 1 – Alatna traka; 2- Drvo; 3 – Koordinatni sustav; 4 – Opcije pogleda i prikaza; 5 – Model; 6 – Help

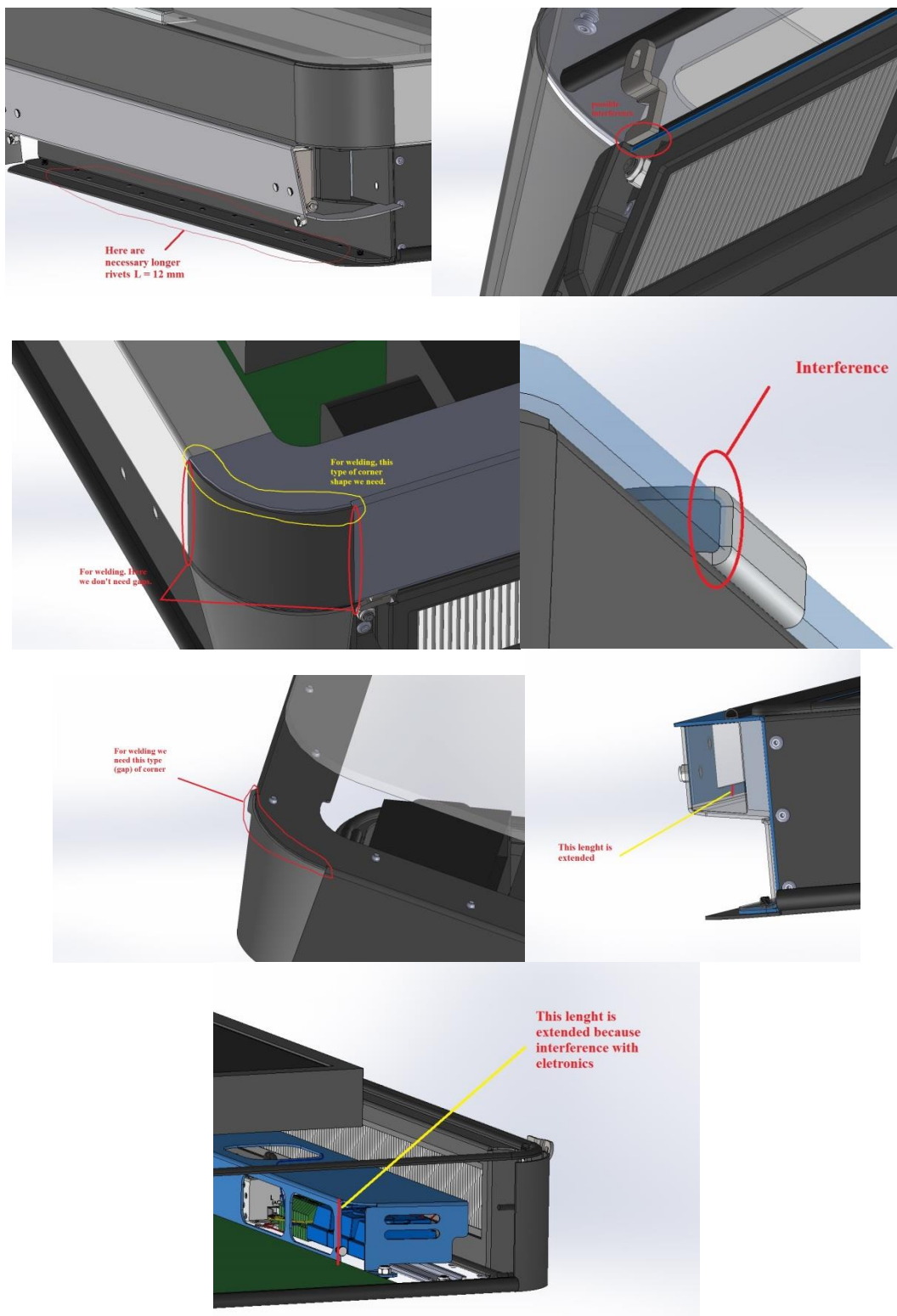
Solidworks ima vrlo veliko značenje u današnjem strojarstvu. Uz neke druge računalne programe Solidworks je u samom vrhu po broju instaliranih licenci. Velika prednost je što sa nekim vrlo jednostavnim alatima možemo provjeriti da će naš konačni proizvod biti dobar, što nam uvelike štedi vrijeme i novac. Solidworks posjeduje mnoge analize napreznja i simulacija kako bi što realnije mogli pristupiti konstrukciji, te smanjili troškove kod izrade. Na slici 7 je sklop proizvoda za kojeg je planirana serijska proizvodnja.



Slika 24. Sklop proizvoda sa svim komponentama

Vrlo je važno da se u 3D modelu uoče svi nedostaci koje konstruktor nije predvidio, te da se proizvod prilagodi našim tehnološkom mogućnostima. Na nekoliko sljedećih slika prikazani su prijedlozi konstruktorskom timu koji su uočeni pri prvom pregledu modela. Ti prijedlozi najviše se odnose na neke tehnološke prilagodbe.

## Usvajanje novog tehnološkog procesa zavarivanja Al legura



Slika 25. Prijedlozi za poboljšanja i promjene

Cilj je konstuktorskom timu prenositi naše iskostvo iz prakse i izvršiti promjene na modelima prije nego krenemo sa izradom protutipa. Nakon što je kompletna dokumentacija pregleda i usaglašena sa konstuktorom, kreće se u izradu prototipa.

### **3.5. Analiza procesa i nabava uređaja**

Kod upita od strane kupca za izradom proizvoda koji je sačinjen od Al legure pristupa se detaljnoj analizi sposobnosti tehnološkog procesa. Izrezivanje laserom i savijanje pozicija na kutnoj preši nam nisu nepoznanica, dok se zavarivanje do sada pokazalo kao problematično.

Od uređaja za zavarivanje posjedovali smo samo CO<sub>2</sub> sinergijske uređaje, te TIG. Prve probe zavarivanja aluminiya napravljene su upravo sa TIG uređajima i rezultati zavara su bili zadovoljavajući. Problem koji se pokazao i prije početka je taj da je zavarivaču bio potreban jedan određeni period da savlada zavarivanje aluminiya s TIG postupkom, a na kraju se došlo do zaključka da, premda su zavari bili zadovoljavajući i korektno izvedeni, nažalost kod serijske proizvodnje nam taj postupak nije dolazio u obzir. Vrijeme koje se utrošilo na zavarivanje TIG postupkom je bilo predugačko, te smo morali pronaći drugo adekvatno rješenje.

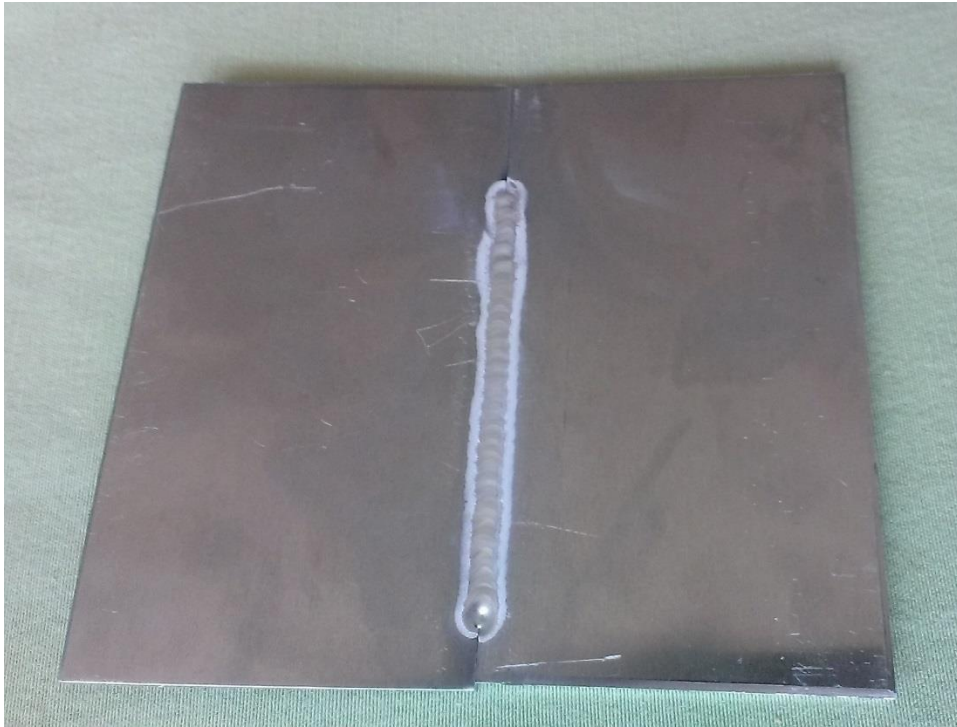
Za pomoć smo se obratili firmi "Cromatec" koja osim što je generalni uvoznik aparata za zavarivanje Kemppi, nudi usluge školovanja zavarivača.

Nakon kraćeg sastanka sa predstavnikom Cromateca, Juricom Aleškovićem certificiranim ing. zavarivanja, vrlo brzo smo došli do zaključka da ako želimo kvalitetno i brzo zavarivati Al moramo to raditi MIG postupkom. U prvom dijelu rada navedene su detaljno sve prednosti ovog postupka, ali najbitniji koji se tiču samog problema u Kontalu je da, brzine zavarivanja su znatno veće nego sa TIG postupkom, te je moguće samim postavkama na aparatu prilagoditi sve vrste zavara. Isto tako aparat je tako podešen da zavarivač ne mora imati preveliko iskustvo u zavarivanju aluminiya da bi u vrlo kratkom roku kvalitetno izveo zavarivanje.

Odluka je pala na uređaj Kemppi Kempact Pulse 3000 sa pulse i double pulse opcijom.

### **3.6. Uzorci zavarivanja TIG i MIG postupkom**

Daljnim slijedom slika prikazani su probni uzorci zavarivanja Aluminija MIG i TIG postupkom.



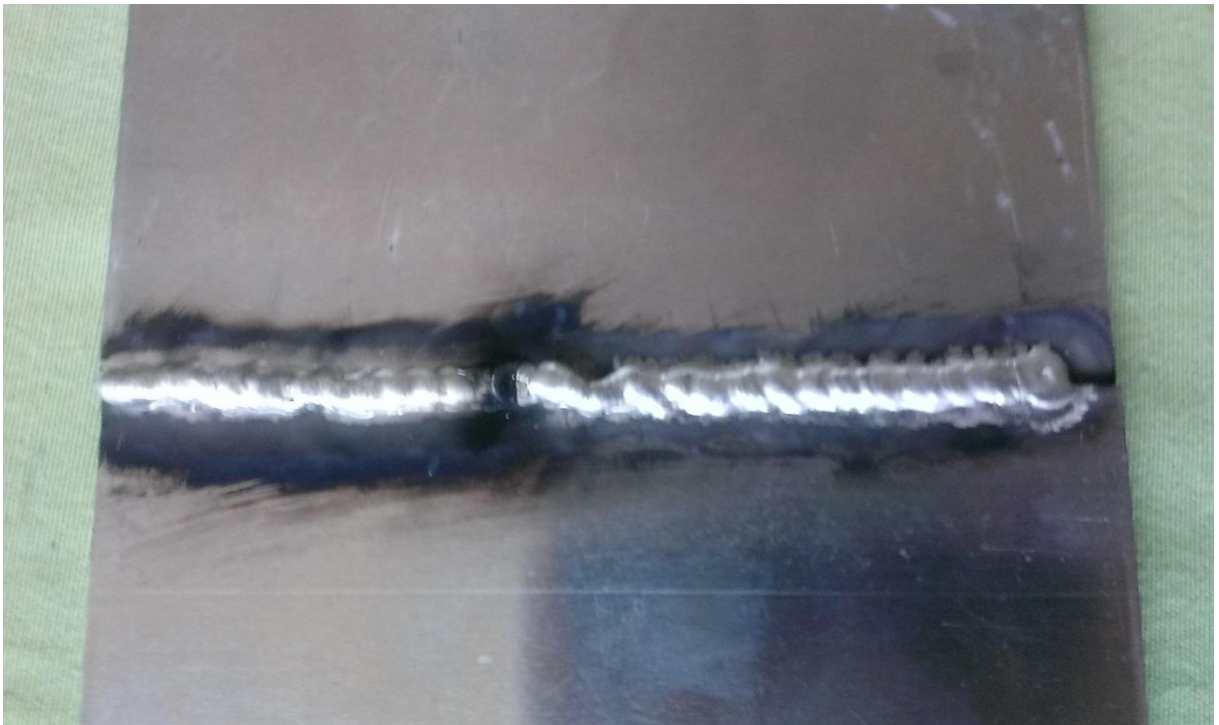
Slika 26. Uzorak zavaren TIG metodom



Slika 27. Uzorak zavaren MIG postupkom



Slika 28. Ispravni kutni zavar MIG postupkom



Slika 29. Lijeva strana zavarivana u "krivom" smjeru, desni zavar preslaba struja zavarivanja



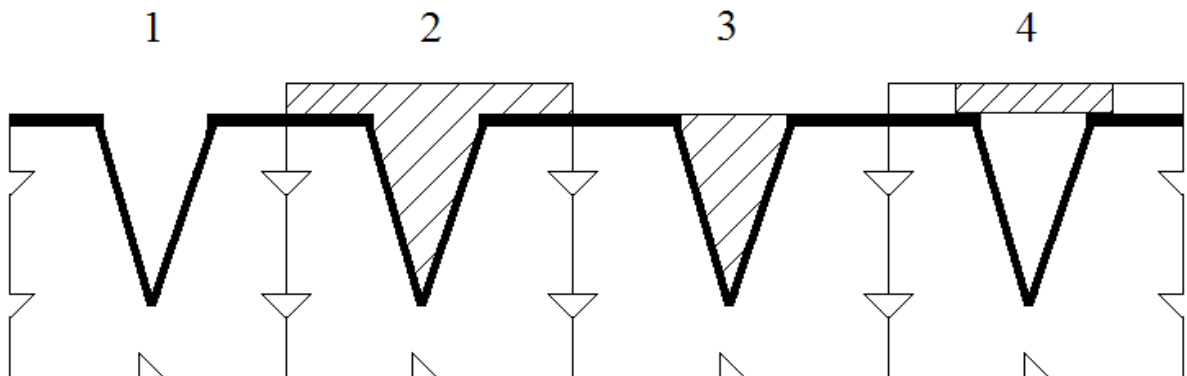
Slika 30. Crne mrlje: Izlučivanje vodika na površinu zavara

### 3.7. Ispitivanje uzoraka penetrantima

Ispitivanje penetrantima je jedna od prvih metoda ispitivanja bez razaranja koja je bila masovno prihvaćena. Od prvih tehnika koje su koristile naftu i kredu do danas su razvijene mnoge tehnike koje omogućuju vrlo visoku osjetljivost. Ispitivanje penetrantima se bazira na efektu kapilarosti. Nanošenjem penetranta na površinu objekta dolazi do prodiranja penetranta u površinske nepravilnosti. Čišćenjem površine ispitivanja i nanošenjem razvijaača dolazi do izvlačenja penetranta iz nepravilnosti i tada indikacije nepravilnosti postaju vidljive.

Osnovni postupak za ispitivanje penetrantima se odvija u sljedećim koracima:

1. čišćenje i odmaščivanje površine,
2. nanošenje penetranta,
3. uklanjanje suvišnog penetranta,
4. nanošenje razvijaača,
5. pregled i
6. čišćenje objekta ispitivanja



Slika 31. Koraci u ispitivanju penetrantima

#### 3.7.1. Ispitivanje tekućim penetrantima

Testiranje tekućim penetrantima je metoda koja se koristi da bi se otkrili površinski nedostaci obojenim ili fluorescentnim penetrantima koji se zadržavaju u pukotinama, ogrebotinama i ostalim površinskim defektima. Tehnika se temelji na sposobnosti tekućine da se uvuče kapilarnim djelovanjem u površinske greške koje su na "čistim" površinama.

Nakon nekog vremena koje se naziva "dwell", višak površinskog penetranta se uklanja i primjenjuje se razvijaač. Razvijaač djeluje kao crtač. Izvlači penetrant iz



pukotine i tako otkriva njegovu prisutnost. Obojeni (kontrastni) penetranti, zahtijevaju dobre izvore bijele svjetlosti, dok se fluorescentni penetranti trebaju koristiti u zamračenim uvjetima s ultraljubičastim izvorima svjetlosti.

### **A. Priprema površine**

Jedan od najkritičnijih koraka pri testiranju tekućim penetrantima je priprema površine. Površina mora biti čista, bez ulja, masti, vode ili drugih "zagađivača" koji mogu spriječiti ulazak penetranta u površinsko oštećenje. Uzorak može zahtijevati dodatnu pripremu ako su na njemu izvršene mehaničke operacije kao što su obrada, brušenje, pjeskarenje ili slično. Te i druge mehaničke operacije mogu prekriti otvor oštećenja i spriječiti ulazak penetranta.

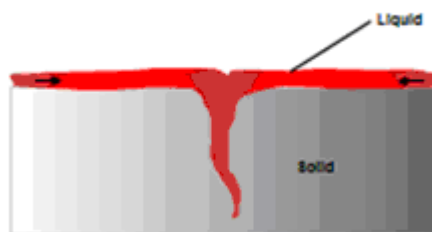
### **B. Primjena penetranta**

Nakon što je površina temeljito očišćena i osušena, penetrantni materijal se nanosi špricanjem, četkanjem ili uranjanjem uzorka u penetrantnu kupku.

### **C. Djelovanje penetranta**

Penetrant se ostavlja na površini onoliko dugo koliko je potrebno da što veća količina penetranta uđe u površinska oštećenja. Vrijeme djelovanja (dwell time) penetranta, je ukupno vrijeme koje penetrant provodi u kontaktu s površinom uzorka. Vrijeme djelovanja je obično preporučeno od proizvođača ili ovisi od zahtjevnosti testiranja.

Vremena upotrebe ovise o primjeni, penetrantu, materijalu koji se testira, obliku materijala i vrsti oštećenja na koje se testira. Minimalno vrijeme djelovanja penetranta je obično u rasponu od 5 do 60 minuta. Općenito, nema štete ako se penetrant ostavi djeluje duže vrijeme, bitno je samo da se ne osuši. Idealno vrijeme se često određuje eksperimentiranjem i može biti vrlo specifično za određenu primjenu.



Slika 32. Primjena i djelovanje penetranta

#### D. Uklanjanje viška penetranta

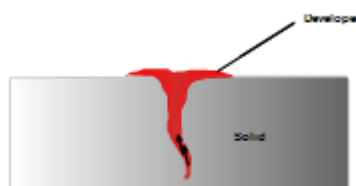
Ovo je najkompliciraniji dio postupka, višak penetranta mora biti uklonjen s površine testnog uzorka, dok se pri tome mora paziti da se što manje penetranta ukloni s defekta. Ovisno o penetrantu, ovaj korak može uključivati čišćenje otapalom, čišćenje vodom ili tretiranje emulzijom pa onda čišćenjem vodom.



Slika 33. Uklanjanje viška penetranta.

#### E. Primjena razvijača

Nakon čišćenja se nanosi tanki sloj razvijača koji izvlači penetrant iz oštećenja na površinu gdje postaje vidljiv. Razvijači dolaze u različitim oblicima koji se mogu primijeniti prašenjem (suhi puder), uranjanjem ili prskanjem (vlažni razvijači).



Slika 34. Primjena razvijača.

## **F. Indikacije razvijanja**

Razvijlač se treba ostaviti dovoljno dugo na testnoj površini da može izvući što više zarobljenog penetranta na površinu. Vrijeme razvijanja je minimalno 10 minuta. Za uže pukotine potrebno je duže vrijeme razvijanja.

## **G. Inspekcija**

Inspekcija se provodi pod odgovarajućim osvjetljenjem da bi se otkrila sva moguća oštećenja.

## **H. Čišćenje uzorka**

Završna faza u procesu testiranja penetrantima je detaljno čišćenje testnog uzorka

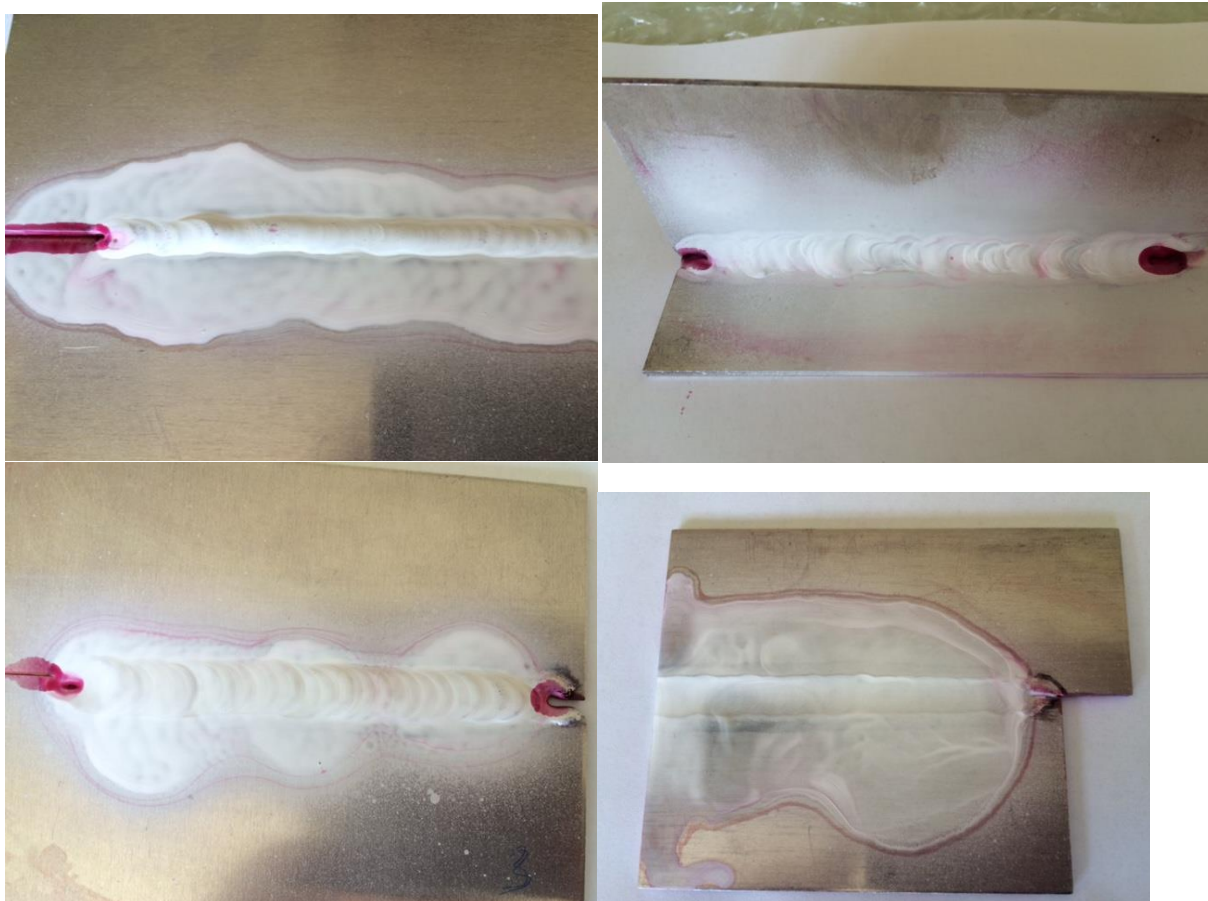
### 3.7.2 ISPITIVANJE PENETRNTIMA VUKA

Ispitivanjem penetrantima je vršeno u laboratorijskim uvjetima Veleučilišta u Karlovcu. Uzorci su izrađeni u Kontal d.o.o., te predstavljaju stvarnu osnovu za daljni tijek uvođenja novog procesa.



Slika 35. Penetranti za ispitivanje

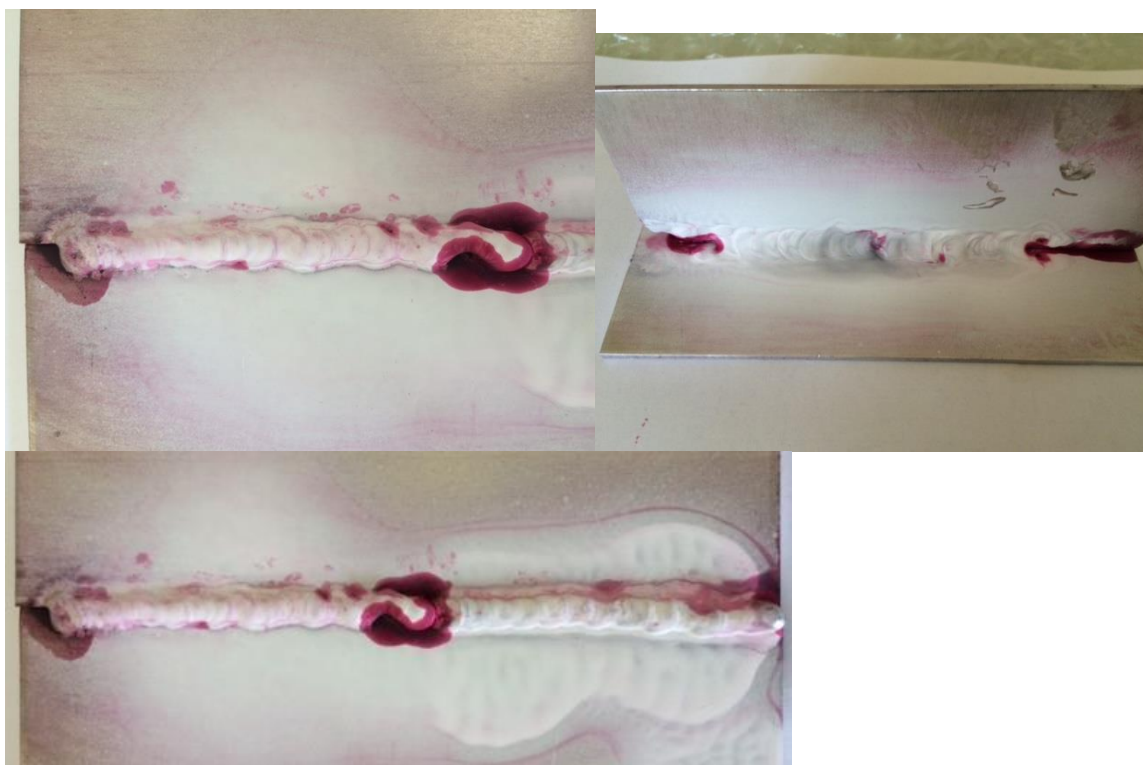
Na sljedećim slikama prikazani su u slijedu uzorci koji zadovoljavaju testove ispitivanja penetrantima, te se isti načini zavarivanja mogu koristiti pri serijskoj proizvodnji.



Slika 36. Uzorci koji zadovoljavaju prema ispitivanjima penetrantima

Na uzorcima je jasno vidljivo da ni u jednom segmentu zavara nema indikacija pukotina ili slično i isti zadovoljavaju serijsku proizvodnju, te se odobravaju parametri zavarivanja kojim su isti napravljeni.

Nadalje su prikazani uzorci koji ne zadovoljavaju, tj. uzorci na kojima se pokazala indikacija pukotine kod ispitivanja penetrantima.



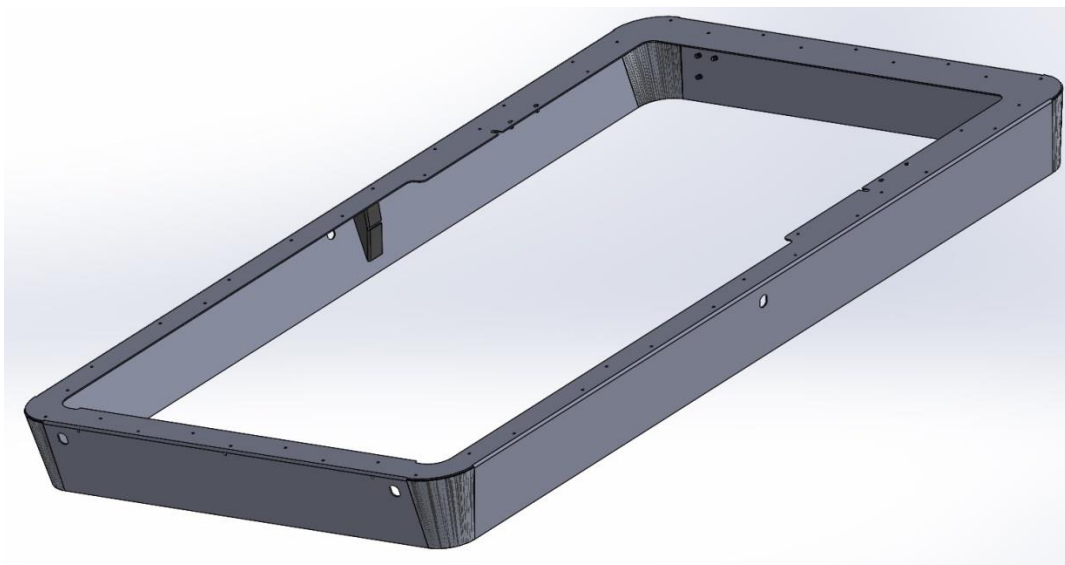
Slika 37. Uzorci koji ne zadovoljavaju ispitivanje

Slika 37 pokazuje da je na nekim uzorcima vidno loše zavaren konkretan uzorak. Vidljive su pukotine i nepravilnosti u samom zavaru, te se takav način zavarivanja treba izbjegavati u serijskoj proizvodnji.

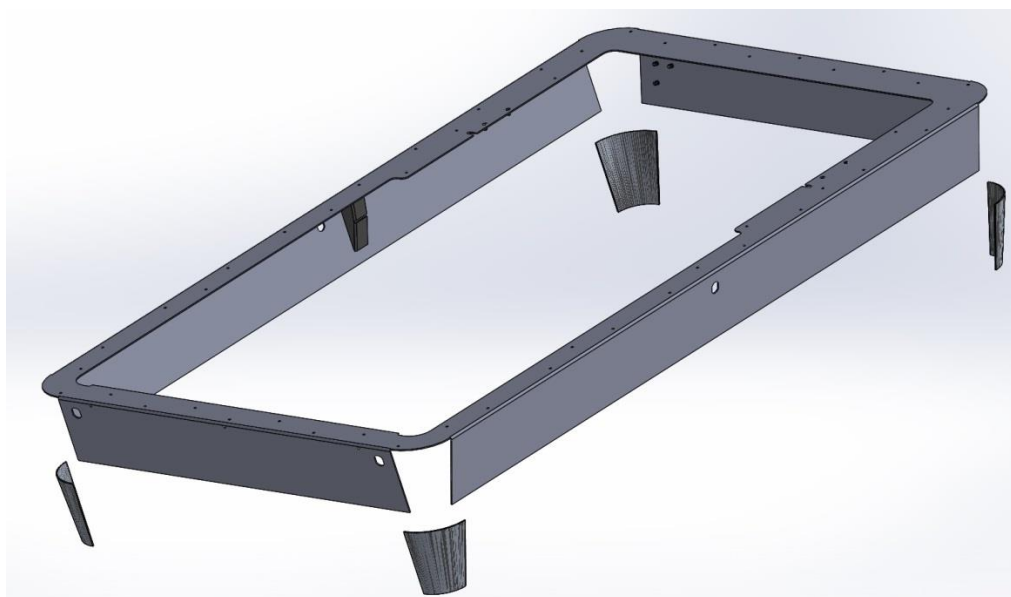
### 3.8. Izrada protutipa proizvoda

Nakon što smo definirali tijek tehnološkog procesa, treba krenuti sa izradom protutipa i dokazati kupcu da smo u stanju izraditi proizvod koji je kompletno izrađen iz Aluminija

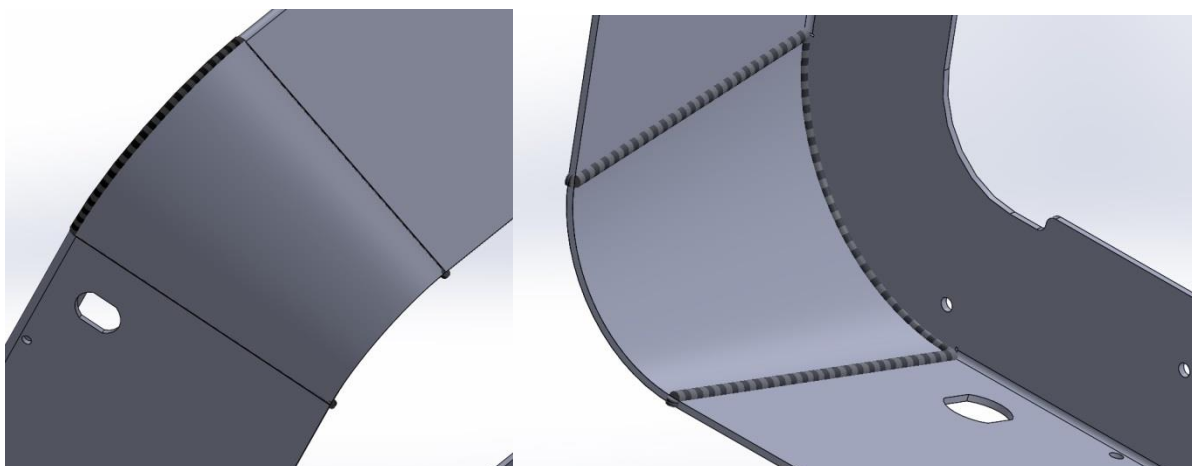
Za primjer ćemo uzeti samo jedan zavareni sklop koji čini vanjski okvir kompletnog proizvoda. Na sljedećim slikama prikazana je pozicija koju je potrebno izraditi.



Slika 38. Zavareni sklop u 3D modelu Solidworks

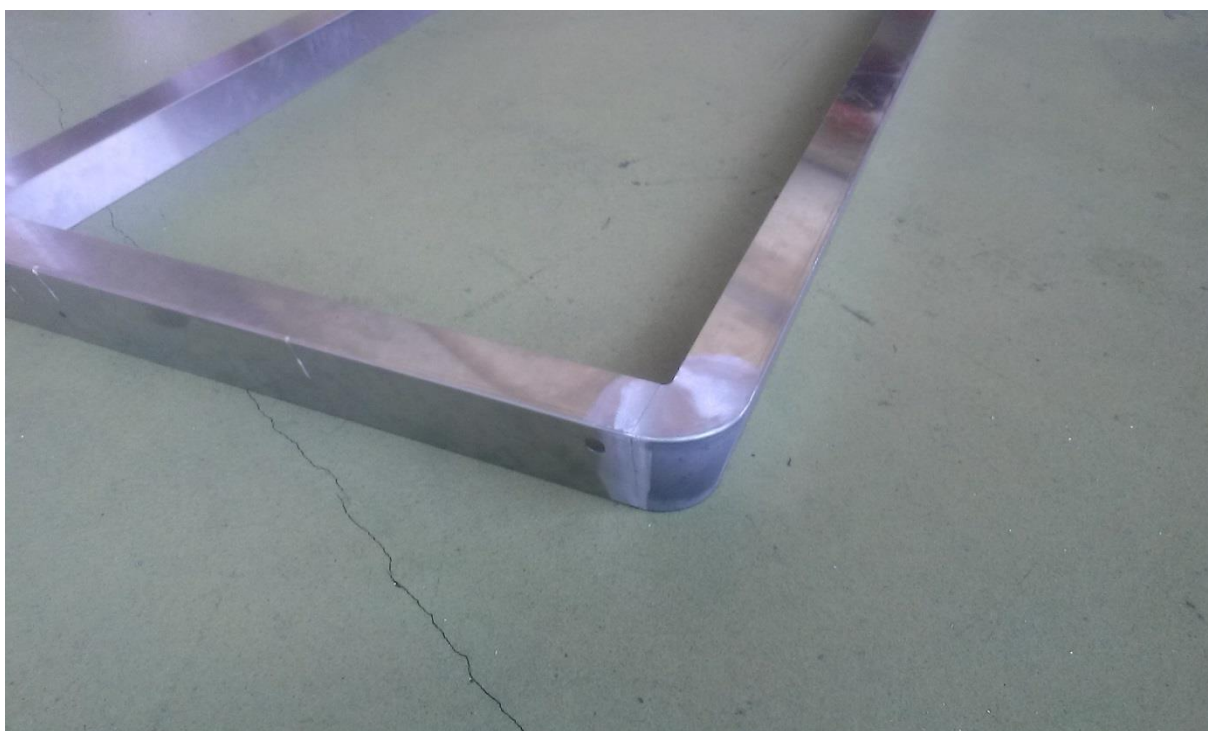


Slika 39. Dijelovi koje je potrebno zavariti



Slika 40. Detalji zavarenih pozicija

Zahtjev je da vanjski okvir mora biti izrađen iz AlMg<sub>3</sub> debljine 2mm. Redosljed zavarivanja kod ovog sklopa je vrlo bitan jer ako se ne poštiva zadani redosljed zavarivanja moguća su velika uvijanja koja nisu dopuštena. Dodatni problem kod izrade vanjskog okvira je taj što vanjski zavari moraju biti obrušeni i oblikovani u formu koja prati cijeli okvir.



Slika 41. Zavaren vanjski okvir koji je spreman za plastifikaciju





Slika 42. Pozicija zavarena TIG postupkom

Na slici 42 prikazana je pozicija koja je zavarena TIG postupkom. Vidljivo je da na mjestima nije došlo do potpune penetracije zavara i nakon što se zavar s vanjske strane izbrusi vrlo je vjerojatno da će zavarena konstrukcija pri opterećenju puknuti.



Slika 43. Potpuna penetracija MIG postupkom

Iz slike 43 jasno je vidljivo da je zavar u potpunosti penetrirao kroz osnovni materijal, te sa sigurnošću možemo reći da nakon brušenja imamo dovoljno zavarene površine koje će nositi opterećenje.

### **3.9. Konačni proizvod**

Nakon što je izrađeno nekoliko protutipa proizvoda na kojima smo istestirali kompletan tehnološko – proizvodni proces, te je usaglašena sva tehnička dokumentacija i definirani dobavljači standardnih dijelova, možemo reći da imamo konačan proizvod koji je spreman za serijsku proizvodnju i distribuciju.

Na sljedećim slikama biti će prikazane neke faze u razvoju od prvih koraka i grešaka do konačnog proizvoda.



Slika 44. Kod ugradnje amortizera došlo je do uvijanja vanjskog okvira. Da bi riješili problem bilo je potrebno drugačije izvesti nosač amortizera, te ojačati vanjski okvir.



Slika 45. Pukotina na zavarenom spoju.

Ugrađeni su prejaki amortizeri koji su potrgali graničnik te je došlo do loma vanjskog okvira. Okvir je bio zavaren TIG postupkom, pa je došlo do pukotine točno gdje je zavar. Daljnim testiranjima utvrdili smo da je najkvalitetnija solucija da se spojevi izvana zavaruju sa MIG postupkom sa nešto jačim strujama nego je potrebno da bi došlo do penetracije, te se nakon što se zavar ohladio sa TIG postupkom taj zavar iznutra rastopio kako bi se još dodatno očvrtio spoj, te vizualno izgledalo bolje.



Slika 46. Ispitivanje kompletnog proizvoda u prostorijama Kontal d.o.o. i simuliranje svih radnih uvijeta i temperature. Proizvod ima ugrađene ventilatore za odvođenje vrućeg zraka kojeg proizvodi ekran ili zbog viših vanjskih temepratura, te ima ugrađena dva grijača ako je vanjska temperatura ispod 4°C, jer je to minimalna temepratura na kojoj ekran može raditi. Sva uključivanja i isključivanja se vrše pomoću elektroničkog sklopa koji je ugrađen u proizvod, te temperaturnih osjetila koji u svakom trenutku prikupljaju podatke o promjeni temeprature i u samom stalku.



Slika 47. Proizvod spreman za pakiranje i isporuku kupcu.

Slika 48. Prikazuje proizvod na raznim info sajmovima diljem svijeta gdje krajnji kupac može vidjeti i testirati proizvod.



## **4. ZAKLJUČAK**

MIG zavarivanje je visokoproduktivni postupak zavarivanja, kojim se vrlo učinkovito može zavarivati i aluminij. Mogućnost kvalitetnog zavarivanja, veliki broj specijaliziranih varijanti i odlične mogućnosti automatizacije čine ga danas vodećim postupkom zavarivanja u proizvodnji.

Poznavanje osnovnih karakteristika materijala, potpuno poštivanje pripremnih procedura te odabir i provedba dobre tehnologije zavarivanja, jamče kvalitetu i ekonomičnost proizvodnje određene konstrukcije.

Kod uvođenja novog tehnološkog procesa mora se obratiti pažnja na svaki detalj. Mala nepažnja može dovesti do velikih problema i troškova u serijskoj proizvodnji. Uvođenjem novih tehnoloških procesa koji su dobro razrađeni pridonosimo konkurentnosti, smanjenjem troškova, kvaliteti proizvoda, itd. Vrlo je bitno da su svi učesnici novog tehnološkog procesa upoznati sa detaljima koji su bitni za pojedino mjesto.

Stalnim proučavanjem kompletnog tehnološkog procesa tvrtke i uvođenjem novih procesa, te unapređenja postojećih, podižemo tehnološki proces na višu razinu što za krajnji rezultat ima povećanje konkurentnosti, povećanje kvalitete i snižavanje cijene konačnog proizvoda.



## LITERATURA

- Aluminij i njegove legure:  
[http://www.sfsb.unios.hr/kth/zavar/tii/al\\_lg.pdf](http://www.sfsb.unios.hr/kth/zavar/tii/al_lg.pdf)
- TEORIJSKE I PRAKTIČNE OSNOVE TIG POSTUPKA ZAVARIVANJA Marko Horvat, Veljko Kondić, Dražen Brezovečki
- ZAVARIVANJE I ZAVARLJIVOST ALUMINIJA I LEGURA Goran Vrucinic, dipl.ing. ZIT- zavod za zavarivanje, ispitivanje i tehnologiju d.o.o
- MIG ZAVARIVANJE TANKIH ALUMINIJSKIH LIMOVA Tehnologija, oprema, primjena; Marijan Rudan, dipl.ing.
- REPARATURNI ZAVARIVANJE : I.Juraga, M.Živčić, M.Gracin
- SEMINARSKI RAD: METODA ISPITIVANJE PENETRANTIMA; I.Kragulj, M.Lesić, K.Prlić, V.Tuškan, B.Dimitrievski, J.Jurković