

# Zavarljivost aluminijske bronce

---

Ivančić, Marko

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:480965>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-13**

Repository / Repozitorij:

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Marko Ivančić**

**Zagreb, 2020.**

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Izv. prof. dr. sc. Ivica Garašić, dipl. ing.

Student:

Marko Ivančić

Zagreb, 2020.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prije svega svojoj obitelji na sveukupnoj potpori tijekom dosadašnjeg studiranja, djelatnicima tvrtke Croatia Pumpe Nova d.d. i gosp. Davoru Formaneku na ustupljenim materijalima, svom mentoru dr. sc. Ivici Garašiću, asistentici dr.sc. Maji Jurici Remenar na savjetima i vođenju tijekom pisanja ovog rada te djelatnicima Laboratorija za zavarivanje FSB-a.

Marko Ivančić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjersvo, računalno inženjersvo, industrijsko inženjersvo i menadžment, inženjersvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu	
Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **MARKO IVANČIĆ**

Mat. br.: 0035202153

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **ZAVARLJIVOST ALUMINIJSKE BRONCE**

Naslov rada na engleskom jeziku: **ALUMINIUM BRONZE WELDABILITY**

Opis zadatka:

U teorijskom dijelu rada potrebno je opisati karakteristike aluminijske bronce s posebnim naglaskom na specifičnosti spram drugih vrsti bronce. Dati pregled postupaka prikladnih za zavarivanje aluminijske bronce uz detaljan opis problematike zavarivanja. Pregledom literature navesti nekoliko primjera zavarenih proizvoda od aluminijske bronce, tehnologije zavarivanja istih kao i primjenu.

U eksperimentalnom dijelu rada je potrebno definirati pripremu spoja i parametre zavarivanja za odabranu debljinu materijala. Dobilene zavarene spojeve potrebno je podvrgnuti razornim i/ili nerazornim ispitivanjima u svrhu ispitivanja zavarljivosti aluminijske bronce. U konačnici ocijeniti primjenjivost korištene tehnologije s obzirom na kvalitetu zavara.

U radu je potrebno navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

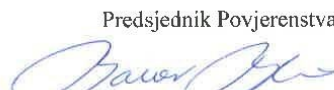
Zadatak zadan:  
28. studenog 2019.

Datum predaje rada:  
**1. rok:** 21. veljače 2020.  
**2. rok (izvanredni):** 1. srpnja 2020.  
**3. rok:** 17. rujna 2020.

Predviđeni datumi obrane:  
**1. rok:** 24.2. – 28.2.2020.  
**2. rok (izvanredni):** 3.7.2020.  
**3. rok:** 21.9. - 25.9.2020.

Zadatak zadao:

  
Prof. dr. sc. Ivica Garašić

Predsjednik Povjerenstva:  
  
Prof. dr. sc. Branko Bauer

## SADRŽAJ

POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS OZNAKA .....	IV
SAŽETAK.....	VI
SUMMARY .....	VII
1. UVOD .....	1
1.1. Zavarljivost materijala .....	1
1.2. Podjela legura bakra.....	2
2. ALUMINIJSKA BRONCA.....	3
2.1. Općenito .....	3
2.2. Djelovanje legirnih elemenata .....	4
2.3. Svojstva .....	5
2.3.1. Mehanička i fizikalna svojstva.....	5
2.3.2. Korozijska otpornost .....	6
2.3.3. Ostala tehnološka svojstva.....	8
2.4. Primjena aluminijske bronce.....	9
2.4.1. Zrakoplovna industrija .....	9
2.4.2. Arhitektura .....	10
2.4.3. Brodogradnja.....	10
2.4.4. Energetika i procesna industrija.....	11
3. ZAVARIVANJE ALUMINIJSKE BRONCE .....	12
3.1. Zavarljivost aluminijske bronce.....	12
3.2. REL zavarivanje.....	13
3.3. MIG zavarivanje .....	14
3.4. TIG zavarivanje.....	15
3.5. Plinsko zavarivanje .....	16
3.6. Ostali postupci zavarivanja .....	17
3.7. Pregled dodatnih materijala .....	18
4. EKSPERIMENTALNI DIO RADA .....	20
4.1. Materijal i priprema .....	20
4.1.1. Osnovni materijal .....	20
4.1.2. Dodatni materijal .....	21
4.1.3. Priprema spoja .....	24
4.2. Oprema i eksperiment .....	25
4.2.1. Opis zavarivanja.....	28
4.2.2. Zavarivanje uzorka A.....	28

---

4.2.3. Zavarivanje uzorka B .....	31
4.2.4. Unos topline .....	32
4.3. Kontrola zavarenih spojeva .....	34
4.3.1. Vizualna kontrola .....	34
4.3.2. Određivanje kemijskog sastava .....	36
4.3.3. Analiza makrostrukture .....	38
4.4. Prijedlog zavarivanja Al-bronce MIG postupkom .....	40
5. ZAKLJUČAK .....	41
LITERATURA .....	42
PRILOZI .....	43

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Zavarljivost materijala [2] .....	1
Slika 2.	Dijagram stanja legure Cu-Al.....	3
Slika 3.	Otpornost kavitaciji nekih aluminijskih bronci .....	7
Slika 4.	Servisni popravak stajnog trapa putničkog zrakoplova.....	9
Slika 5.	Portcullis House, primjer nikal – aluminijske bronce .....	10
Slika 6.	Brodski elementi: zaporni ventil i propeler podmornice .....	10
Slika 7.	Poklopac kondenzatora i kućište .....	11
Slika 8.	Shematski prikaz uređaja i postupka REL .....	13
Slika 9.	Shematski prikaz uređaja i postupka MIG/MAG.....	14
Slika 10.	Shematski prikaz uređaja i postupka TIG .....	15
Slika 11.	Shematski prikaz opreme i postupka plinskog zavarivanja.....	16
Slika 12.	Osnovni materijal – Odljevak CuAl10Fe5Ni5 .....	20
Slika 13.	Atest osnovnog materijala .....	21
Slika 14.	Atest dodatnog materijala CastoMag 45703 uzorka A .....	22
Slika 15.	Atest dodatnog materijala CastoMag 45711 uzorka B.....	23
Slika 16.	V-90°pripema spoja.....	24
Slika 17.	Lijepljenje keramike na korijensku stranu probnih ploča .....	24
Slika 18.	Prijenosni termometar <i>Fluke 568</i> .....	25
Slika 19.	Termokreda <i>Tempilstik 101 °C</i> .....	25
Slika 20.	Izvor struje zavarivanja VARSTROJ <i>Weelbe 500L</i> .....	27
Slika 21.	Redosljed zavarivanja uzorka A .....	28
Slika 22.	Tijek izvođenja zavarivanja uzorka A s lijeva na desno .....	30
Slika 23.	Lice i korijen uzorka A.....	34
Slika 24.	Lice i korijen uzorka B.....	35
Slika 25.	Prijenosni spektroskop <i>Olympus XRF</i> i analiza u laboratoriju.....	36
Slika 26.	Rezanje ploča na tračnoj pili .....	38
Slika 27.	Makroizbrusci nakon brušenja i čišćenja .....	38
Slika 28.	Makroizbrusci uzorka A .....	39
Slika 29.	Makroizbrusci uzorka B .....	39



---

**POPIS TABLICA**

Tablica 1. Fizikalna svojstva aluminijske bronce C63000 i čelika S235 .....	5
Tablica 2. Mehanička svojstva aluminijske i kositrene bronce .....	5
Tablica 3. Neke tehnološke značajka aluminijskih bronci .....	5
Tablica 4. Pregled dodatnih materijala za zavarivanje bronce .....	16
Tablica 5. Specifikacija prijenosnog termometra .....	26
Tablica 6. Specifikacija izvora struje .....	26
Tablica 7. Parametri zavarivanja uzorka A .....	29
Tablica 8. Parametri zavarivanja uzorka B .....	31
Tablica 9. Rezultati mjerenja vremena i prosječne brzine .....	32
Tablica 10. Unos topline uzorka A.....	32
Tablica 11. Unos topline uzorka B.....	33
Tablica 12. Kemijski sastav osnovnog materijala .....	37
Tablica 13. Kemijski sastav metala zavara uzorka A.....	37
Tablica 14. Kemijski sastav metala zavara uzorka B.....	37
Tablica 15. Preporučeni parametri zavarivanja Al bronce .....	40

**POPIS OZNAKA**

<b>Oznaka</b>	<b>Jedinica</b>	<b>Opis</b>
$A_5$	%	postotno izduženje (elongacija)
AWS	-	American Welding Society – Američko društvo za zavarivanje
$E$	MPa	modul elastičnosti
HRC	-	tvrdća po Rockwellu
$I$	A	jakost struje zavarivanja
$k$	-	koeficijent iskoristivosti topline električnog luka
MIG	-	Metal Inert Gas – elektrolučno zavarivanje u zaštiti inertnog plina
OČ	-	odvajanje čestica
OM	-	osnovni metal
$Q$	kJ/mm	unesena toplina
$R_m$	MPa	vlačna čvrstoća
$R_{p0,2}$	MPa	konvencionalna granica razvlačenja
REL	-	ručno elektrolučno zavarivanje
$U$	V	napon električnog luka
$v$	mm/s	brzina zavarivanja
$v_z$	m/min	brzina žice
$\nu$	-	Poissonov koeficijent
TIG	-	Tungsten Inert Gas - elektrolučno zavarivanje netaljivom elektrodom
$\tau_m$	MPa	smična čvrstoća
ZUT	-	zona utjecaja topline

---

**SAŽETAK**

U ovom radu opisana je aluminijska bronca, njezina svojstva i primjena u industriji. Izdan je pregled primjenjivih postupaka zavarivanja kao i dodatnih materijala na tržištu.

U eksperimentalnom dijelu rada, provedeno je zavarivanje odljevaka aluminijske bronce MIG postupkom u svrhu određivanja optimalnih parametara zavarivanja i ocjene zavarljivosti ovog materijala. Opisana je oprema korištena u eksperimentu, osnovni i dodatni materijali te parametri i procedura zavarivanja.

Ključne riječi:

aluminijska bronca; zavarljivost; reparaturno zavarivanje

---

**SUMMARY**

This paper describes aluminum bronze - properties and applications in the industry. An overview of applicable welding procedures as well as welding consumables on the market is given below.

In the experimental part of this paper it has been welded castings of aluminum bronze by the MIG welding process in order to find optimal welding parameters and investigate weldability of this material. Experimental part contains equipment used in work, description of materials, parameters and welding techniques.

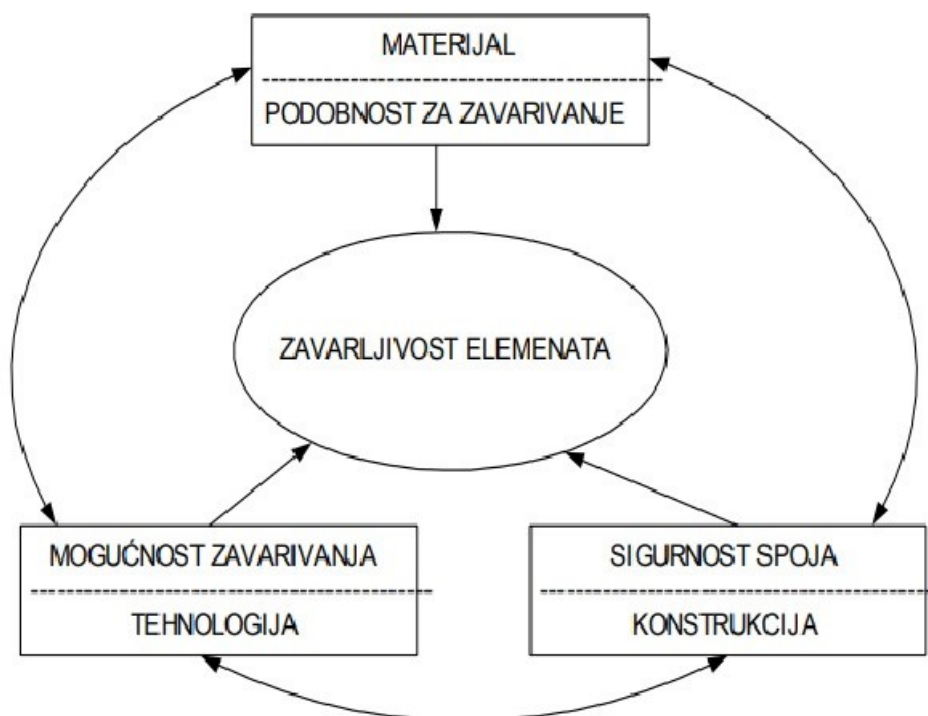
Key words:

aluminium bronze; weldability; repair welding

# 1. UVOD

## 1.1 Zavarljivost materijala

Zavarivanje kao tehnologija, razvijalo se paralelno sa razvojem znanosti o materijalima. Metalurgija bakra, bronce, zlata i srebra bila je poznata i 5000 godina prije Krista. U to vrijeme glavne tehnologije prerade i obrade metala bile su lijevanje, kovanje i lemljenje. Iako će ovdje naglasak biti na zavarljivosti, valja još spomenuti kako je prvo zavarivanje korišteno 1856. godine – primjena elektrootpornog zavarivanja žice, a približno 30 godina kasnije i elektrolučni postupci. [1]



Slika 1. Zavarljivost materijala [2]

Istraživanja zavarljivosti, kako prikazuje slika 1, obuhvaćaju čitav niz aktivnosti nužnih za dobivanje optimalne tehnologije zavarivanja koja je osnova za realizaciju kvalitetnog zavarenog spoja u proizvodnji. Osnovne aktivnosti ispitivanja zavarljivosti odnose se na ispitivanja sklonosti različitim vrstama pukotina (hladne, tople, lamelarno odvajanje/cijepanje, pukotine uslijed naknadnog/ponovnog zagrijavanja), transformacijskom otvrdnjavanju, smanjenja žilavosti (sniženje prijelazne temperature iz žilavog u krhko stanje).

Posebna ispitivanja zavarljivosti se provode s obzirom na mogućnosti oštećenja i/ili otkaza zavarenog spoja u eksploataciji. Ispitivanja se provode s obzirom na dominantni otkaz zavarenog spoja, odnosno otkaz kojemu pripada najveća vjerojatnost nastanka (npr. interkristalna korozija, korozija uz naprezanje, ...). [3]

## 1.2. Podjela legura bakra

Bakrove legure klasificiraju se na temelju vrste i udjela glavnih legiranih elemenata, ali svaka pojedina vrsta može sadržavati i druge elemente koji imaju značajan utjecaj na specifična svojstva. Glavne vrste legura označene tradicijskim imenima su: mjedi i bronce. U nastavku slijedi cjelovita podjela svih legura bakra.

### Legure bakra s cinkom – mjedi:

1. legure bakra s cinkom ( $>50\% \text{Cu}$  i  $<44\% \text{Zn}$ ) – mjedi
2. posebne mjedi ( $54\dots62\% \text{Cu}$ , oko  $7\%$  ostalih elemenata, ostatak Zn)
3. legure bakra s niklom i cinkom ( $10\dots30\% \text{Ni}$ ) – novo srebro
4. Cu-Zn-Sn-Pb;  $>80\% \text{Cu}$  – crveni metal, crveni lijev

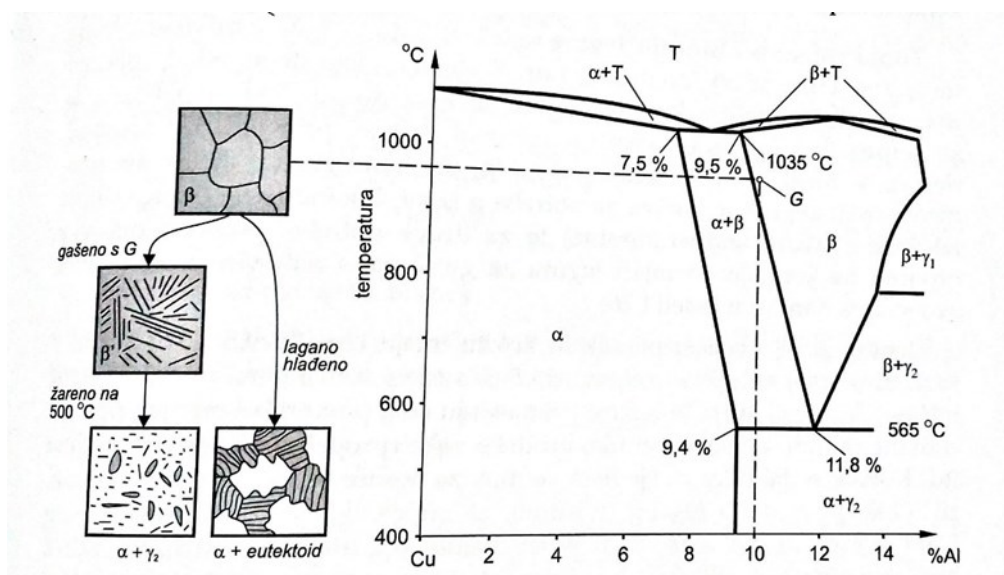
### Legure bakra bez cinka - bronce:

1. legure bakra s kositrom ( $<15\% \text{Sn}$ ) – kositrene bronce
2. legure bakra s aluminijem ( $<14\% \text{Al}$ ) – aluminijeve bronce
3. legure bakra s kositrom i/ili olovom ( $<10\% \text{Sn}$  i/ili  $<25\% \text{Pb}$ ) – olovno kositrene i olovne bronce
4. legure bakra s berilijem ( $<2\% \text{Be}$ ) – berilijeva bronca
5. legure bakra s manganom te silicijem i manganom – manganove i silicijske bronce
6. legure bakra s niklom ( $<45\% \text{Ni}$ ). [4]

## 2. ALUMINIJSKA BRONCA

### 2.1. Općenito

Aluminijeve bronce dijele se na dvije glavne skupine: (hladno i toplo) oblikovljive te lijevane legure. Također se ovdje kao i kod kositrene bronce, mogu zanemariti mikrostrukturne promjene uz industrijske uvjete hlađenja ispod 400 °C . Dijagram stanja Cu-Al legure (slika 2) pokazuje da do 9,4 %Al na sobnoj temperaturi postoji  $\alpha$  čvrsta otopina dobre oblikovljivosti. Za više od 9,4 %Al javlja se  $\gamma_2$  faza, intermetalni spoj sastava  $\text{Cu}_9\text{Al}_4$  . Kao i druge faze tog tipa, ona je tvrda i krhka. Dijagram pokazuje izvjesnu sličnost sa Fe-C dijagramom za čelik. U oba su prisutne  $\alpha$ -faze.  $\beta$ -faza iz Cu-Al dijagrama odgovara po položaju  $\gamma$  fazi, odnosno austenitu kod čelika, a prisutan je i  $(\alpha+\gamma_2)$ -eutektoid sličan eutektoidu kod  $(\alpha_{\text{id}} + \text{Fe}_3\text{C}_{\text{id}})$ . Kao rezultat ovih sličnosti čelika i Al- bronce u odgovarajućim dijagramima, može se aluminijeva bronca s oko 10%Al toplinski obraditi, tako da nastane martenzitna transformacija. Ipak kristalografiju ovih dvaju materijala treba razlikovati. [4]



Slika 2. Dijagram stanja legure Cu-Al s prikazom mikrostrukturnih promjena [4]

## 2.2. Djelovanje legirnih elemenata [5]

### ALUMINIJ

Aluminij je glavni legirni element aluminijskih bronci sa sadržajem od 8% do 13 % aluminija ili njegovih legura. Veći udio ovog elementa ima za posljedicu povećanje tvrdoće temeljne legure u rasponu 30 do 44 HRC. Posljedica toga je veliki pad duktilnosti pa se ovakve legure koriste kada je uz standardna svojstva bronce potrebna velika otpornost ka trošenju.

### MANGAN

Ovaj element se standardno dodaje bronci u svrhu dezoksidacije, baš kao i kod čelika. No kod legure CuMn11Al8Fe3Ni3, Mangan je glavni legirni element zbog svojih dobri ljevarskih svojstava – livljivosti i žitkosti taline, stoga se primjenjuje za masivne odljevke brodskih vijaka.

### NIKAL

Nikal je gamageni element i njegov sadržaj u aluminijskim broncima se kreće od 1% do 7%. Nikal je topiv s bakrom na nižim razinama te se u taljevinu dodaje zajedno sa željezom. Njegova prisutnost poboljšava otpornost na koroziju i povećava mehanička svojstva. Također pomaže kod otpornosti na eroziju pri velikim brzinama strujanja.

### ŽELJEZO

Čisto željezo povećava žilavost osnovne legure. U aluminijskim broncima ima nisku topivost na sobnim temperaturama te može stvoriti  $\kappa$  – precipitate kontroliranim precipitacijskim otvrdnjavanjem. Pravilo je da se udio ovog elementa drži uvijek manjim od udjela nikla.

### NEČISTOĆE

Najzastupljenije nečistoće svih bronci su: olovo(Pb), magnezij(Mg) i fosfor(P). Dopušteni udio olova u broncima iznosi 0,05% iako je poželjno da to bude 0,01%, u protivnom dolazi do pojave vrućih pukotina u zavarenim spojevima aluminijske bronce. Magnezij se ponekad koristi kao dezoksidant i to prije stavljanja aluminija i njegov udio također iznosi do 0,05% . No čak i pri 0,01% Mg moguć je pad duktilnosti, ako je prisutan veći udio olova. Fosfor može uzrokovati tople pukotine ako je njegov udio veći od 0,01% .



## 2.3. Svojstva

### 2.3.1. Fizikalna i mehanička svojstva [5]

Fizikalna svojstva bronce C63000 u tablici 1 približno su ista i za leguru korištenu u eksperimentalnom dijelu rada. Nadalje, usporedbom se može zaključiti kako fizikalna svojstva aluminijskih bronci nisu daleko svojstvima ugljičnog čelika.

**Tablica 1.** Fizikalna svojstva aluminijske bronce C63000 i čelika S235

Fizikalno svojstvo	C63000	Čelik S235
Gustoća	7590 kg/m <sup>3</sup>	7850 kg/m <sup>3</sup>
Talište	1060-1075 °C	1500 – 1550 °C
Toplinska vodljivost	42 W/m K	48,7 W/ m K
Električna otpornost	13 μΩ /m	10 μΩ /m
Koeficijent linearnog rastezanja	17,1 *10 <sup>-6</sup> 1/°C	11,7 *10 <sup>-6</sup> 1/°C
Toplinski kapacitet	420 J/ kgK	486 J/ kgK
Relativna magnetska permeabilnost	1,5 μ	100 μ

**Tablica 2.** Mehanička svojstva aluminijske bronce CuAl10Ni5 i kositrene bronce CuSn10

Mehaničko svojstvo	CuAl10Fe5Ni5	CuSn10
Granica razvlačenja Rp <sub>0,2</sub>	295 (495)* MPa	130 MPa
Vlačna čvrstoća Rm	635 (758)* MPa	270 MPa
Smična čvrstoća τ <sub>m</sub>	415 MPa	95 Mpa
Tvrdoća po Vickersu	200 HV	85 - 100 HV
Istezljivost A <sub>5</sub>	10 – 17 %	18 %
Modul elastičnosti E	125 GPa	110 GPa
Poissonov faktor ν	0,32	0,32

\* iznos u zagradama odnosi se na materijal isporučen u kovanom stanju

Iz tablice 2. vidljivo je kako aluminijska bronca ima bolja mehanička svojstva u odnosu na kositrenu broncu. Povećanje udjela aluminijske u bronci ima za posljedicu rast vlačne čvrstoće. Sadržaj aluminijske veći od 10% može dati i više vrijednosti čvrstoće uz potrebne toplinske obrade, ali na štetu duktilnosti.

### 2.3.2. Korozijska postojanost

Korozijska otpornost aluminijskih bronci bazirana je na istraživanjima i pokusima uglavnom u morskoj vodi i okolišu, ali manje je poznata činjenica dobre korozijske otpornosti ovih legura na razne kemikalije. Tanki zaštitni sloj oksida  $\text{Cu}_2\text{O}$  i  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sa svojstvom samoobnavljanja i u medijima siromašnijih kisikom primarno štiti aluminijske bronce od djelovanja korozijskih čimbenika. Ako je slitina legirana niklom i željezom, prisutni su i njihovi oksidi koji nastaju pri dužoj izloženosti uz veću koncentraciju kisika u mediju, a zaštitno djelovanje je tim bolje.

Djelovanje oksidnog filma:

- stvara se na površini materijala
- početna debljina iznosi 0,001 mm i u potpunosti je nepropustan
- ima sposobnost samoobnavljanja i u okolišu s malim udjelom kisika
- pruža dobru otpornost na adheziju pri brzinama ispod 4,3 m/s
- viši udio aluminijske povećava otpornost na adhezijsko i erozijsko trošenje

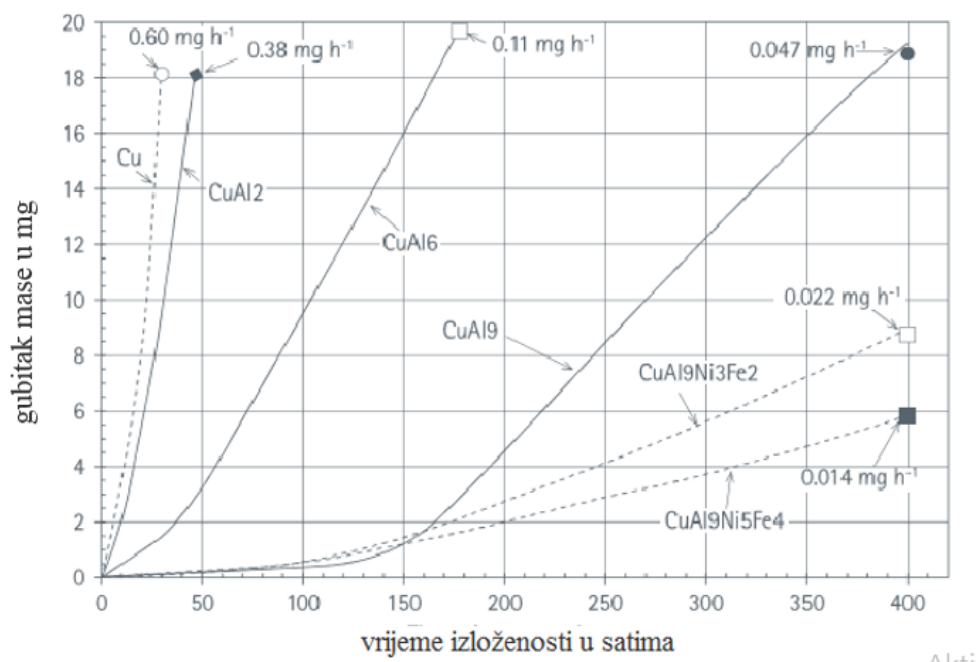
Rupičasta korozija (*eng.pitting*) se pojavljuje kao proces diferencijalne aeracije uslijed lokalnog oštećenja zaštitnog oksidnog filma. Ova pojava prije će se pojaviti kod odljevaka nego kod valjanih odnosno kovanih predmeta. Pitting je osobito opasnog djelovanja u cjevovodnim sustavima gdje su debljine stijenki manje te mogu nastati ozbiljne perforacije.

Aluminijske i nikal- aluminijske bronce pokazuju dobru otpornost na ovaj oblik korozije, osobito valjani proizvodi, a dodatna zaštita može se uspostaviti primjenom katodne zaštite.

Korozija u procijepu je oblik korozije gdje su dva jednaka materijala u kontaktu, a između njih se nalazi određeni zazor. Ovo je vrlo složen mehanizam pod utjecajem elektrokemijskih reakcija i utjecaja geometrije procijepa. Aluminijska i nikal aluminijska bronca koja nije katodno zaštićena može biti podložna ovoj vrsti korozije. K tome provedene toplinske obrade ili oblikovanje deformiranjem u toplom stanju povećavaju mogućnost nastanka ovog mehanizma. Pri oblikovanju proizvoda ovih legura valja izbjegavati stvaranje procijepa, posebno ako je radni medij stajaća morska ili boćata voda.[5]

Erozijska korozija uključuje istovremeno djelovanje erozije i korozije pri visokim brzinama okolnog medija. Do erozijskog trošenja dolazi kod trenja čvrstog tijela i pokretnog fluida, osobito ako su u radnom mediju dispergirane tvrde čestice. Poznato je da su legure bakra sklone eroziji ponajviše pri visokim brzinama strujanja. Ipak nikal aluminijske bronce su jedne od rijetkih otpornih legura u ovom slučaju pa su svoju primjenu i pronašle u dijelovima centrifugalnih pumpi gdje su brzine strujanja iznimno velike.

Kavitacija (*lat. cavus - šupalj*) je proces nastajanja plinskih mjehurića unutar kapljevito medija pri strujanju u području niskog tlaka. Tako nastali mjehurići pri izlasku iz područja niskog u područje normalnog tlaka implodiraju velikim brzinama i razaraju stijenke materijala te stvaraju karakterističnu buku i vibracije. Ovaj fenomen se najviše pojavljuje kod impelera i propelera brodskih vijaka zbog složene geometrije lopatica odnosno lakog nastanka turbulentnog strujanja. Upravo dijagram gubitka mase o vremenu izloženosti kavitaciji na slici 3 prikazuje odličnu otpornost nikal aluminijskih bronci na utjecaj kavitacije.



**Slika 3.** Otpornost kavitaciji nekih aluminijskih bronci [5]

### 2.3.3. Ostala tehnološka svojstva

Svaki materijal danas može se obrađivati raznim tehnološkim postupcima pa tako i aluminijske bronce. Jedno od tih svojstava je i zavarljivost čija je problematika opisana u poglavlju 3. a u tablici 3. slijede tehnološka svojstva aluminijske bronce prema školskom ocjenskom sustavu vrednovanja.

**Tablica 3.** Neke tehnološke značajke aluminijskih bronci

Tehnološko svojstvo	Ocijena	Opis
Livljivost	vrlo dobra	lijevanje gotovo svim postupcima; ponajviše lijevanje u pijesak te školjkastim i centrifugalnim lijevom ostali postupci: precizni lijev i kokilni lijev
Obradljivost OČ	odlična	obradljiva sa ili bez podmazivanja; u teškoj i lakoj strojnoj obradi; pri finim obradama nužno hlađenje i podmazivanje radi toplinskog širenja
Oblikovljivost	vrlo dobra	legure oblikovljive postupcima slobodnog i kovanja u ukovnju, toplog valjanja te dubokog vučenja; ograničenja postoje kod oblikovanja na hladno zbog slabije duktilnosti u odnosu na jednofazne legure
Toplinska obradivost	dobra	zbog složenosti ove legure i različitosti faza, TO su neizbježne žarenje za redukciju zaostalih naprezanja nakon zavarivanja ili oblikovanja u toplom stanju; kaljenje radi povećanja tvrdoće, slično kao i kod čelika

## 2.4 Primjena aluminijske bronce

Kako se danas aluminijska bronca često legira niklom i željezom, u nastavku će biti opisana široka primjena nikal aluminijske bronce (EN ISO CuAl10Fe5Ni5 i sličnih). Ovaj materijal svoju primjenu nalazi najčešće u području djelovanja morske vode i okoliša, ali i u drugim agresivnim sredinama.

### 2.4.1 Zrakoplovna industrija

Glavna primjena nikal aluminijske bronce u zrakoplovnoj industriji je za čahure kliznih ležajeva podvozja zrakoplova opće namjene. Odlična frikcijska svojstva, dobra mehanička svojstva te otpornost na slani okoliš tijekom odleđivanja zrakoplova u zimskim uvjetima glavne su odlike ovog materijala u odnosu na čelik. Proizvođači zrakoplova i njihovi kooperanti (slika 4) imaju svoju vlastiti standard kad se radi o nikal aluminijskoj bronci, kao naprimjer AirBus ASN-A 3406, ASN-A 3316, ASN-A 6167. [5]



Slika 4. Servisni popravak stajnog trapa putničkog zrakoplova  
- ležajne čahure izrađene od Ni-Al bronce [5]

### 2.4.2. Arhitektura

Aluminijska bronca našla je svoju primjenu u području arhitekture. Njezina prirodna sklonost stvaranju zaštitnog oksidnog filma otvara primjenu kako u kontinentalnim, tako i u morskim okolišnim uvjetima. Zgrada parlamenta u Londonu, Portcullis House na slici 5 odličan je primjer arhitektonskog rješenja implementacije nikal aluminijske bronce u gradnji. Izgrađena je da izdrži eksploziju bombe i sve to sa očekivanim vijekom trajanja od 120 godina. Gotovo 450 tona ovog materijala nalazi se u okvirima, oblogama i krovu ove zgrade. Bronce za primjenu u arhitekturi nose sljedeće nazive: za kovanje ASTM B150 C63200, C63000, te za odljevke: BS EN 1982:2008 CC333G. [5]



**Slika 5.** Portcullis House, primjer nikal-aluminijske bronce u arhitekturi [6]

### 2.4.3. Brodogradnja

Prije svega treba reći kako je upravo ovaj sektor „prirodno stanište“ većine brončanih legura, osobito nikal aluminijske bronce. Koristi se u području gradnje vojnih flota, nosača aviona, ratnog brodogradnja i podmornica, gdje do posebnog izražaja dolaze upravo zbog prigušivanja buke gdje su dvostruko bolji od čelika, neiskrenja prilikom udaraca te već spomenutog svojstva odlične otpornosti na koroziju u morskome okolišu. Cjevovodi i cijevni elementi morske vode (slika 6), dijelovi sonara, brze spojnice, elementi propulzivnog sustava – brodski vijci, dijelovi periskopa, razne priрубnice, okretna postolja oružja i mnogi drugi elementi sastavljeni su od aluminijske bronce.



**Slika 6.** Brodski elementi: zaporni ventil; propeler podmornice i kućiše periskopa [5]

Osim vojne, primjena ovog materijala česta je za propelere civilnih teretnih i putničkih brodova. Zbog svoje dobre otpornosti na kavitaciju i jednostavne i relativno povoljne cijene popravka, čini ga jednim od vodećih materijala za ove primjene. Bronze za brodske vijke i ventile u formi odljevaka pronalaze se u standardu BS EN 1982:2008 CC333G i CC212E . [5]

#### 2.4.4. Energetika i procesna industrija

Energetska postrojenja poput sustava za desalinizaciju vode i kondenzacijskih sustava mahom su u izrađeni aluminijske i nikal aluminijske bronce. Elementi i sklopovi poput ventila, impelera, pumpi, kondenzatora i kućišta (slika 7) izrađeni su od ovog materijala. U energetskim postrojenjima postiže se temperatura radnog medija do 325 °C pod visokim tlakom kondenzacijskog postrojenja. Iako aluminijska bronca nema otpornost na rast morskih algi, i dalje imaju visku otpornost na obraštaje.



**Slika 7.** Poklopac kondenzatora i kućište kondenzatora od aluminijske bronce [5]

### 3. ZAVARIVANJE ALUMINIJSKE BRONCE

#### 3.1. Zavarljivost aluminijske bronce

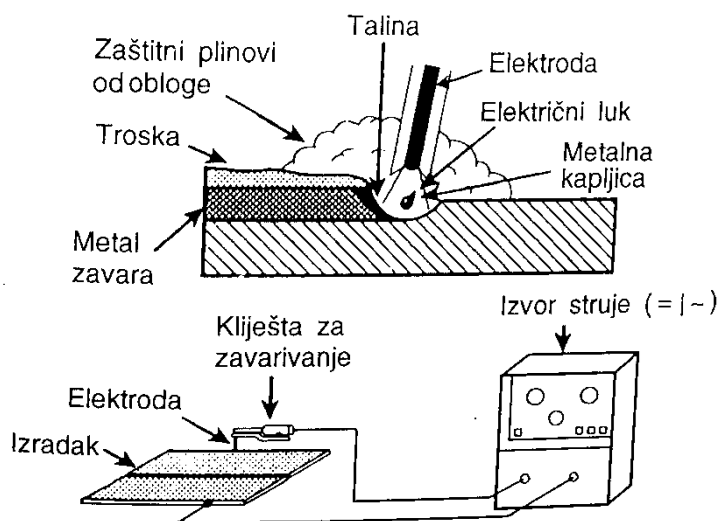
Specifičnosti zavarivanja aluminijske bronce su:

- Velika sklonost oksidaciji. Oksidni uključci negativno utječu na mehanička i kemijska svojstva, stoga je važna dobra zaštita procesa zavarivanja.
- Sklonost pukotinama i lomovima. Na višim temperaturama kod zavarivanja i kod upetih spojeva, kada dolazi do stezanja, ponekad spoj ne može izdržati naprezanja te dolazi do pojave pukotina. Kod viših temperatura bronca gubi na čvrstoći (iznad 500 °C) pa može doći do loma zbog vlastite težine.
- Nužnost predgrijavanja i polaganog hlađenja nakon zavarivanja. Predgrijavanje kod MIG zavarivanja Al- bronce od iznimne je važnosti zbog dobrog razlijevanja taline, u protivnom dolazi do naljepljivanja kao kod zavarivanja kratkim spojevima. Temperatura predgrijavanja iznosi od 200 °C do 300 °C, ovisno o naputku proizvođača dodatnog materijala. Kod zavarivanja velikih komada, naročito je važno predgrijavanje, a tijekom zavarivanja neophodno je osigurati neprestano dovođenje topline.
- Nakon zavarivanja preporuča se žarenje za redukciju zaostalih naprezanja bez obzira kojim postupkom je zavarivanje izvedeno. Kod binarnih (dvojnih) Al-bronci žari se na 300 °C, a kod višekomponentnih na 400 – 500 °C . [7]

#### 3.2. REL zavarivanje

Ručno elektrolučno zavarivanje je postupak zavarivanja uglavnom obloženim elektrodama gdje se toplinska energija dobivena od električnog luka koristi za taljenje dodatnog i osnovnog materijala. Slika 8 prikazuje odvijanje procesa kao i nužnu opremu REL postupka. Postupak se koristi za gotovo sve zavarljive metale. Prednost postupka je što je primjenjiv za zavarivanje, navarivanje i žlijebljenje, a oprema spada u jeftiniju pa ju može posjedovati svaka radionica. Nedostatak postupka je slabija produktivnost uz neizostavni otpad elektroda, gubitak zbog štrcanja metalnih kapljica te otpad zbog obloge. Parametri zavarivanja su vrsta, polaritet i jakost električne struje, a glavni čimbenik koji na to utječe je tip obloge elektrode. Osim ovih, zavarivač tijekom rada lijevom ili desnom tehnikom odabire duljinu luka i način vođenja što ovisi ponovno o tipu obloge i vrsti materijala koji se zavaruje. [8]





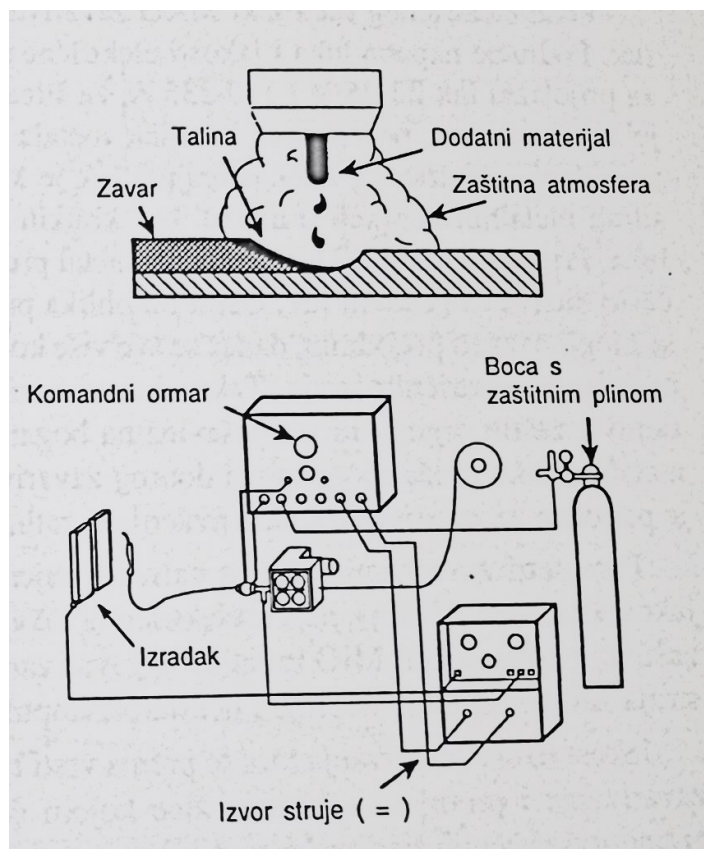
Slika 8. Shematski prikaz uređaja i postupka REL [8]

REL postupkom aluminijska bronca zavaruje se vrlo dobro. Talina zavara zaštićena je od utjecaja atmosfere, a aluminijski oksid uklanja se djelovanjem obloge elektrode. Obložene elektrode se obavezno suše prije zavarivanja na temperaturi koju propisuje proizvođač u određenom trajanju, uobičajeno 2 – 3 sata. U suprotnom je moguća pojava poroznosti u zavaru. Predgrijavanje se preporuča za zavarivanje samo debelostijenih komada, dok je žarenje za redukciju zaostalih naprezanja uglavnom potrebno. Karakteristične greške zavarivaja REL-om su uključci troske ponajviše zbog teškog odstranjivanja iste s lica zavara te poroznost. Da bi se ove pojave spriječile ili barem smanjile, potrebno je koristiti pneumatske alate za uklanjanje troske, te paziti na čišćenje žlijeba, ispravno predgrijavanje te polagano hlađenje nakon zavarivanja.[7,8]

### 3.3 MIG zavarivanje

Elektrolučno zavarivanje metalnom taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi aktivnog (MAG) ili inertnog (MIG) plina je postupak zavarivanja taljenjem u kojem se žica (dodatni materijal) i osnovni materijal tale toplinom električnog luka. MIG postupak generalno kao zaštitni plin koristi argon, helij te mješavine plinova. Parametri zavarivanja koji uvelike utječu na kvalitetu spoja su: jakost struje zavarivanja, napon električnog luka, induktivitet, brzina zavarivanja, protok zaštitinog plina, a kod impulsnog režima rada i tip struje te frekvencija i trajanje impulsa. Osim ovih, važni parametri su i tehnika rada te dužina slobodnog kraja žice. Osnovna oprema za MIG sastoji se od izvora struje, čeličnih boca zaštitnog plina, mehanizma

za dodavanje žice i polikabela (slika 9). Najčešće pogreške u zavaru izvedenom ovim postupkom su: poroznost, naljepljivanje, uključci, površinski vizualno neprihvatljiv zavar, zajedni i pukotine. [8]



**Slika 9.** Shematski prikaz uređaja i postupka MIG/MAG [8]

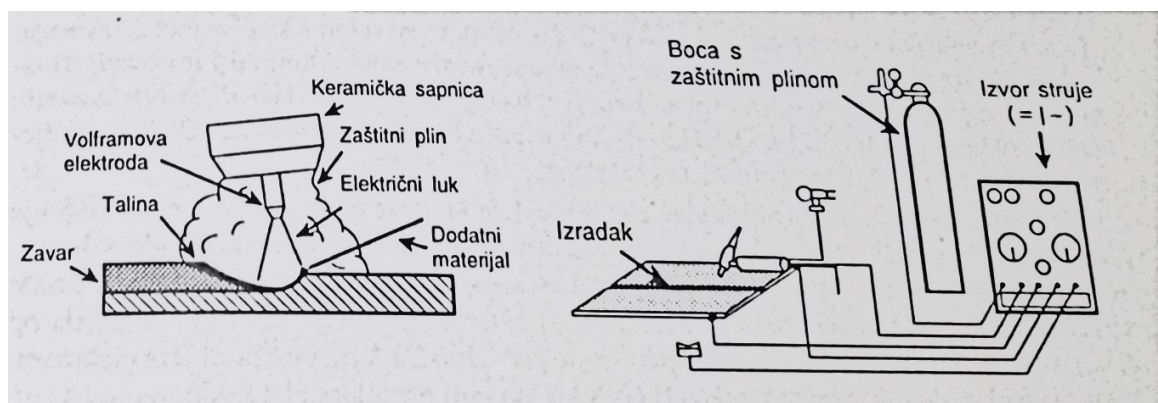
I ovim postupkom, aluminijska, ali i druge bronce zavaruju se vrlo dobro. Koristi se istosmjerna struja sa žicom na plus polu. Zbog ekonomičnosti, ovaj postupak se nameće kao povoljan kod zavarivanja debljina materijala iznad 6 mm. Ako se zavaruje visokolegiranim žicama, postoji veća mogućnost nastanka pora. U MIG postupku zavarivanja aluminijske bronce potrebno je koristiti lijevu tehniku kako bi se uklonio aluminijski oksid prisutan kod ovog materijala, baš kao i kod zavarivanja aluminija i njegovih legura. Korištenje desne ili neutralne tehnike, rezultiralo bi nedovoljnim razbijanjem aluminijskog oksida te moguće pojave hladnog naljepljivanja.[7]

### 3.4. TIG zavarivanje

Električni luk kao izvor topline za zavarivanje uspostavlja se u inertnoj atmosferi (Ar ili He) između radnog komada i volframove netaljive elektrode. Dodatni materijal se u električni luk dodaje ručno ili mehanizirano ili se ne dodaje – osnovni materijal zamjenjuje dodatni. Odvijanje procesa kao i potrebnu opremu prikazuje slika 10.

Mogu se zavarivati svi metali. Najviše se koristi za aluminij i Al – legure, magnezij i Mg – legure, bakar i Cu- legure, titan i Ti- legure te visokolegirane čelike (Cr, CrNi, CrNiMo ...). Prednosti ovog postupka su što ispravno izvedeni spojevi spadaju u najkvalitetnije zavarene spojeve, primjenjiv za sve metale i sve položaje zavarivanja, nema rasprskavanja metalnih kapljica, nema troske, nema dima, a zavar je estetski lijep, gladak i čist.

Nedostaci TIG postupka su neekonomičnost u zavarivanju debljih materijala (više od 6 mm), otežan rad na otvorenom primjerice kod vjetrovitog vremena, skup zaštitni plin te više pripremnih radnji u smislu kvalitete obrade i čistoće pripreme spoja. Oprema se sastoji od izvora struje, boce sa zaštitnim plinom, polikabela te priključnice mase.[8]

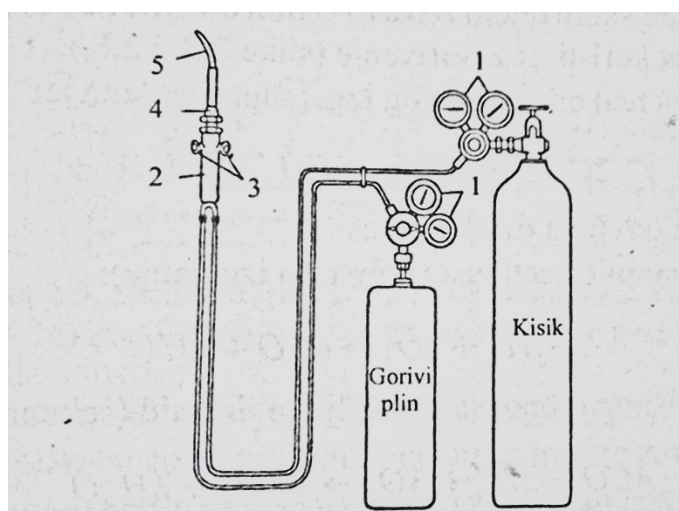


**Slika 10.** Shematski prikaz uređaja i procesa TIG [8]

TIG zavarivanje aluminijske bronce kao i ostalih bronci je odlično. Zbog postojanja aluminijskih oksida baš kao i kod zavarivanja aluminija TIG-om, potrebno je koristiti izmjeničnu struju za razbijanje ovog oksida. Zavarivanje istosmjernom strujom elektrodom na minus polu dolazi u obzir kada se istodobno primjenjuje talilo za razbijanje oksida, no zbog tehnološkog razvoja današnjih izvora za zavarivanje, takvi slučajevi su sve rjeđi. Predgrijavanje nije potrebno, a zavaruju se komadi debljine do 6 mm. [7]

### 3.5. Plinsko zavarivanje

Iako se u postupcima toplinskog rezanja materijala (čelika) često nameće kao prvi izbor, u zavarivanju je dosta slabije zastupljen. Zagrijavanje se ostvaruje plamenom kao rezultat izgaranja gorivog plina (acetilena, propan-butana...) i kisika. Osnovna oprema (slika 11) sastoji se od plamenika, čeličnih boca s kisikom i acetilenom, manometra, gumenih cijevi i osigurača povratnog plamena. Kod primjene ovog postupka, moguće je koristiti reducirajući, neutralni i oksidirajući plamen. Kod zavarivanja čelika, ali i ostalih metala poput bakra i bakrovih legura koristi se neutralni plamen. Prednost postupka svakako je relativno jednostavna oprema te rad neovisan o električnoj energiji. Primjenjiv za gotovo sve materijale, ali ima i dosta nedostataka: opasnost od požara i eksplozije, sporost postupka – široki ZUT te bitan utjecaj na svojstva materijala.



**Slika 11.** Shematski prikaz opreme za plinsko zavarivanje [1]

1- manometar; 2 - plamenik; 3 - regulator protoka; 4 - komora za miješanje; 5 - sapnica

Kada se ovaj postupak spominje u kontekstu zavarivanja legura bakra, osobito aluminijske bronce, treba napomenuti kako aluminijski oksidi i ovdje stvaraju poteškoće. Iz tog razloga se koristi talilo za rabijanje ovih oksida. No zbog sve većeg korištenja elektrolučnih postupaka i razvijanja dodatnih materijala baš za te postupke, plinsko zavarivanje postaje potisnuto. Danas, ekologija i sigurnost igraju veliku ulogu u industriji te se baš zbog toga treba upitati, ima li uopće uz sve poteškoće bronce zavarivati ovim postupkom. Odgovor je očekivan, ukoliko u danoj situaciji nema elektrolučnih postupaka, i plinsko zavarivanje će zadovoljiti, ali ipak je naglasak na ekonomičnijim procesima MIG i TIG zavarivanju. [1]

### 3.6. Ostali postupci zavarivanja

Osim konvencionalnih postupka zavarivanja navedenih ranije, aluminijska bronca može se još zavarivati postupcima zavarivanja elektronskim snopom, laserom i trenjem. Zavarivanje elektronskim snopom odvija se djelovanjem kinetičke energije elektrona u električnom polju visokog napona oslobađajući toplinsku energiju potrebnu za taljenje metala. Postupak se odvija u vakuumu kako bi se spriječila oksidacija prilikom zavarivanja. Zona utjecaja topline je vrlo uska što smanjuje deformacije i mogućnost nastanka pukotina.

Zavarivanje laserom aluminijskih bronci je moguće uz ograničenje debljine materijala. Kako je ovo relativno nov postupak, rade se istraživanja korištenja ovog postupka posebice zbog uskog područja ZUT-a.

Zavarivanje trenjem je također moguće primijeniti na ovaj materijal. Postupak se temelji na generiranju topline između dvaju dijelova koji rotiraju uz djelovanje trenja. Pritom nije potreban nikakav dodatni materijal, već se zavar ostvaruje djelovanjem normalne sile kada je ostvarena dovoljna količina topline na mjestu spoja. [8]

### 3.7. Pregled dodatnih materijala za zavarivanje bronce

Kako je već ranije opisano, bronce su uglavnom dobro zavarljive elektrolučnim postupcima pa se na tržištu pojavljuju dodatni materijali u obliku elektroda za REL, koluta žice za MIG te šipki za TIG zavarivanje. Ponuda dodatnih materijala najviše je zastupljena na inozemnom tržištu od strane poznatih proizvođača poput Castolina i Boehlera, koji nude materijale za zavarivanje i navarivanje različitih bronci. Na domaćem tržištu, tvrtka Elektroda Zagreb nudi slabiji izbor dodatnog materijala za zavarivanje bakra i njihovih legura. U tablici 4 slijedi pregled dodatnog materijala tvrtke Wisconsin Wire Works Inc. usklađene po američkom AWS standardu.

**Tablica 4.** Pregled dodatnih materijala za zavarivanje bronce [9]

Naziv materijala	Standard (AWS)	Postupci	Primjena
ALUMINIJSKA BRONCA A1	AWS A5.7 / ER CuAl – A1	MIG, TIG	Srednje čvrstoće za metalizaciju i navarivanja u autoindustriji, nije primjenjiva za zavarivanje.
ALUMINIJSKA BRONCA A2	AWS A5.7 / ER CuAl – A2	MIG, TIG	Bolja mehanička svojstva, za zavarivanje sličnih bronci te spajanje s bakrom, željeznim ljevovima, legurama nikla. Primjena u reparaturama odljevaka, održavanju i gdje je potreban zavar visoke čvrstoće.
ALUMINIJSKA BRONCA A3	AWS A5.7 / ER CuAl – A3	MIG, TIG	Odlična mehanička svojstva. Primjena za zavarivanje odljevaka Al bronce, popravke ležajnih površina svih bakrenih legura.
NIKAL – ALUMINIJSKA BRONCA	AWS A5.7 / ER CuNiAl	MIG, TIG	Za spajanje i popravak gnječanih i lijevanih istoimenih legura. Za izradu i reparaure dijelova brodskih vijaka i sličnih elemenata. Otporan na bočatu i morsku vodu.
FOSFORNA BRONCA A	AWS A5.7 / ER CuSn - A	MIG, TIG	Za zavarivanje bronce, mjedi i bakra. Najviše za popravke odljevaka i spajanje materijala sličnog kemijskog sastava.
FOSFORNA BRONCA B	AWS A5.7 / ER CuSn - B	MIG, TIG	Boljih mehaničkih svojstva od prethodne CuSn – A legure. Za zavarivanje istoimene bronce, visokočvrste bronce i mjedi.

SILIKONSKA BRONCA	AWS A5.7 / ER CuSi - A	REL,MIG, TIG	Za zavarivanje silikonske bronce i mjedi, te spajanje s čelikom. Moguće je zavarivanje ove bronce sa pocinčanim čelikom.
ČISTI BAKAR	AWS A5.7 / ER Cu	REL, MIG, TIG	Za zavarivanje čistog bakra i elektrolitičkog bakra najviše čistoće. Potrebno predgrijavanje na visoke temperature do 540 °C .

## 4. EKSPERIMENTALNI DIO RADA

### 4.1. Materijali i priprema spoja

#### 4.1.1 Osnovni materijal

U radu su korištene ispitne ploče odljevaka aluminij-nikal bronce (slika 12) po ASTM-u C95800. Ploče su isporučene u dimenziji 350 x 120 x 20 mm. Ovaj materijal se koristi pretežito za elemente centrifugalnih pumpi poput kućišta, rotora i statora, raznih ventila, brodskih vijaka i ostalih dijelova izloženih djelovanju morske vode.



Slika 12. Osnovni materijal – odljevak CuAl10Fe5Ni5

Osnovni materijal je isporučen sa atestom tvrtke Croatia Pumpe Nova d.d. koji je prikazan na slici 13. Treba još dodati kako se ove ploče koriste u ljevaonici za određivanje mehaničkih svojstava odljevaka, ali itekako mogu poslužiti kao vrijedan materijal za ispitivanje zavarljivosti.



	<b>POTVRDA O ISPITIVANJU</b> <b>Inspection certificate</b> (EN 10204: 3.1)	OB-KVA-12 CROATIA PUMPE NOVA Mala Švarča 155 HR-47000 KARLOVAC
	<b>Datum / Date:</b> 25.05.2016.	<b>Broj potvrde / Certificate no:</b> 048/16

<b>Kupac</b> Customer	<b>EUREKA PUMPS AS, Tananger, NORWAY</b>	<b>Projekt</b> Project	<b>19089-1-03</b>
		<b>Narudžba</b> Order	

<b>Polozicija / Position – Br.</b> <b>Nacrta/Drawing</b>	<b>Količina / Quantity</b>	<b>Materijal / Material</b>	<b>Šarža br. / Cast no.</b>
Kontrolna ploča, SK-4304-01	4+4	C95800	30/16,37/16
Kontrolna ploča, SK-4304-02	4+4	C95800	30/16,37/16
Podložna traka SK-4304-03	8+8	C95800	30/16,37/16


<b>KEMIJSKI SASTAV / CHEMICAL ANALYSIS</b>										
		Al %	Cu %	Fe %	Mn %	Ni %				
<b>Zahtjevane vrijednosti /</b> <i>Required values</i>		8,5-9,5	79,0 min	3,5-4,5	0,8-1,5	4,0-5,0				
<b>Šarža br. /</b> <i>Cast no.</i>	30/16	<b>9,3</b>	<b>80,28</b>	<b>4,49</b>	<b>0,84</b>	<b>4,63</b>				
	37/16	<b>9,34</b>	<b>80,75</b>	<b>4,26</b>	<b>0,83</b>	<b>4,42</b>				

<b>MEHANIČKA SVOJSTVA / MECHANICAL PROPERTIES</b>								
		<b>Epruveta / Test piece</b>		<b>Vlačna</b> <b>čvrstoća<sup>1</sup></b> <i>Tensile</i> <i>strength<sup>2</sup></i> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Granica</b> <b>razvlačenja</b> <i>Yield stress</i> [N/mm <sup>2</sup> ]	<b>Izduženje</b> <i>Elongation</i> %	<b>Udarna</b> <b>žilavost</b> <i>Impact energy</i> [J/mm <sup>2</sup> ]	<b>Tvrdoća</b> HB 5/250 <i>Hardness</i>
		<b>Dimenzije</b> <i>Dimensions</i> [mm]	<b>Presjek</b> <i>Cross section</i> [mm <sup>2</sup> ]					
<b>Zahtjevane vrijednosti /</b> <i>Required values</i>				585min	240min	15min		
<b>Šarža br.</b> <i>Cast no.</i>	30/16	Ø14	153,86	<b>689</b>	<b>357</b>	<b>16,6</b>		
	37/16	Ø14	153,86	<b>679</b>	<b>377</b>	<b>16,0</b>		

Slika 13. Atest osnovnog materijala


#### 4.1.2. Dodatni materijal

Odabrani su dostupni dodatni materijali Castolin *CastoMag 45703* (slika 14) i *CastoMag 45711* (slika 15) koji odgovaraju normi AWS A5.7 / ER CuSn-C. Iako se radi o materijalu prvenstveno za zavarivanje i navarivanje kositrene bronce, prema napatku proizvođača isti se može koristiti za zavarivanje i aluminijskih bronci. Kada bi se javila potreba za zavarivanje teže opterećenih konstrukcija, odabrao bi se materijal Castolin *CastoMag 45752* koji odgovara normi AWS A5.7 / ER CuAl-A3 i najbliži svojstvima osnovnog materijala.




Relevé de Contrôle  
Werkszeugnis  
Test Report

Messer Croatia Plin d.o.o.  
Industrijska 1  
10290 ZAPRESIC  
Hrvatska (Croatia)



EN 10204-2.2

Objekt M24 A-2350 Wiener Neudorf



Date/Datum/Date: 30.10.2017

Type de produit	Produkttyp	Product type	:	
Désignation	Bezeichnung	Designation	:	CastoMag 45703 1,2 15Kg
Dimension	Abmessung	Dimension	:	
Lot No.	Chargen-Nr.	Batch No.	:	1032.03.16
Quantité	Menge	Quantity	:	135,0000kg
Commande	Bestellung	Order	:	AES007991 / DEL437318 18.07.2016
Norme	Norm	Standard	:	EN ISO 24373

Analise	Analyse	Analysis	:	
C	%	Fe	< 0,1	%
Si	%	Nb		%
Mn	%	Ti		%
P	0,01 – 0,4	V		%
S	%	W		%
Cr	%	Co	< 0,2	%
Ni	< 0,2	Cu	Bal.	%
Mo	%	B		%
		Zn	< 0,2	%
		Sn	7,5 – 8,5	%
		Ag		%
		Cd		%
		Pb	< 0,02	%
		Al		%
		Mg		%
		Others	< 0,2	%

Résist. à la traction	Zugfestigkeit	Tensile strength (Rm)	(N/mm <sup>2</sup> )	:
Limite d'élasticité	Dehngrenze	Yield strength (Rp 0,2)	(N/mm <sup>2</sup> )	:
Allongement	Bruchdehnung	Elongation (A5)	(%)	:
Dureté	Härte	Hardness	( )	:
Résilience	Kerbschlagarbeit	Impact strength (Av)	(J)	:

Remarques/Bemerkungen/remarks:

Nous certifions que la livraison est conforme aux stipulations de l'acceptation de la commande.  
Es wird bestätigt, daß die Lieferung den Vereinbarungen bei der Bestellannahme entspricht.  
We hereby certify, that the material described above complies with the terms of the order contract.

L'expert de l'usine / Der Abnahmebeauftragte / Authorized Representative

Ce certificat est un document électronique et il est valable sans signature.  
Dieses Zeugnis wurde maschinell erstellt und ist ohne Unterschrift gültig.  
This certificate was issued by DP-equipment and does not require signature.

Slika 14. Atest dodatnog materijala *Castomag 45703* uzorka A



Castolin GesmbH  
IZ NO-Süd, Straße 14, Objekt M24 A-2355 Wiener Neudorf

**WERKSZEUGNIS  
TEST REPORT  
RELEVÉ DE CONTRÔLE**

**EN 10204-2.2**

Messer Croatia Plin d.o.o.	Nr.	: 460/15/MAL
Industrijska 1	Datum	: 30.09.2015
10290 Zapresic	zu Lieferschein	: DEL214187
Hrvatska (Croatia)	vom	: 30.09.2015

Produkttyp	Product type	Type de Produit	: <b>Bronze Massivdraht</b>
Bezeichnung	Designation	Désignation	: <b>CastoMag 45711</b>
Chargen-Nr.	Batch no.	Série No.	: 1039.01.15
Menge	Quantity	Quantité	: 300 kg
Bestellung	Order	Commande	: e-mail / 24.08.2015
Norm	Standard	Norme	: ISO 24373: Cu5211
Abmessung	Dimensions	Dimensions	: Ø 1,2 mm

Richtanalyse des Schweißgutes/Average analyses of the welding material:

C		%	Fe	<0,1	%	Zn	<0,05	%
Si	0,25	%	Nb	<0,1	%	Sn	9,5	%
Mn	0,27	%	Ti		%	Ag	<0,05	%
P	<0,02	%	V		%	Cd		%
S		%	W		%	Pb	<0,02	%
Cr		%	Co		%	Al	<0,01	%
Ni		%	Cu	base	%	Mg		%
Mo		%	B		%	FN		

				Mindestwerte bei 20°C
Zugfestigkeit R <sub>m</sub>	Tensile strength (R <sub>m</sub> )	Résist. à la traction (R <sub>m</sub> )	[MPa]	
Dehngrenze (R <sub>p0,2</sub> )	Yield strength (R <sub>p0,2</sub> )	Limite d'élasticité	[MPa]	
Bruchdehnung (A5)	Elongation (A5)	Allongement (A5)	[%]	
Kerbschlagarbeit	Impact strength	Résilience	(J)	
Härte	Hardness	Dureté	[HV30]	
Bemerkungen/Remarks/Remarques:				

Es wird bestätigt, dass die Lieferung den Vereinbarungen bei der Bestellannahme entspricht.  
We hereby certify, that the material described above complies with the terms of the order contract.  
Nous certifions que la livraison est conforme aux stipulations de l'acceptation de la commande.

CASTOLIN GESELLSCHAFT M.B.H

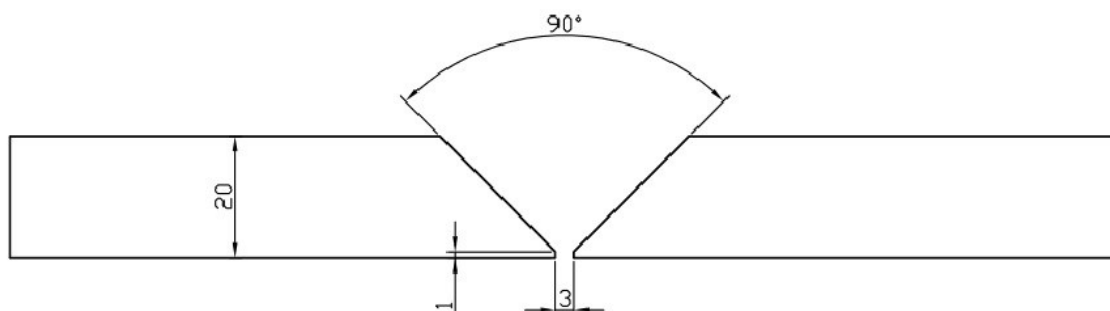
*A. Altphart*  
i. A. Manuela Altphart

**Slika 15.** Atest dodatnog materijala *Castomag 45711* uzorka B

Ovim materijalima moguće je zavarivati različite vrste bronci, te kombinacije bronca-čelik, bronca – nikal i bronca – željezni ljevovi. Dobra osobina je odlična korozivna otpornost na pitku i morsku vodu te organske kiseline. Ovi materijali su namijenjeni održavanju i produživanju životnog vijeka proizvoda poput ležajeva, rotora pumpi, pužnih vijaka, radilica, čahura kliznih ležajeva i ostalih.

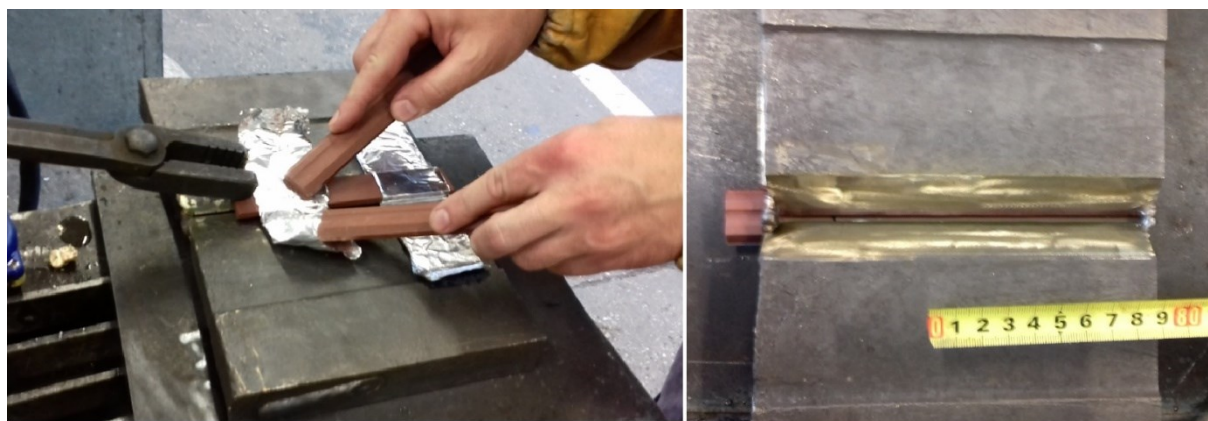
### 4.1.3. Priprema spoja

Prije zavarivanja, ploče je trebalo odmastiti i očistiti te pripremiti za strojnu obradu. Strojna obrada izvršena je u Laboratoriju za alatne strojeve FSB-a. Postupkom obodnog(čeonog) glodanja izrađen je kut od  $45^\circ$  na rubovima ploča. Ploče su odrezane na duljinu približno 180 mm te zajedno čine otvor od  $90^\circ$ , sa zračnošću od 3 mm u grlu žlijeba prikazan slikom 16.



**Slika 16.** V- $90^\circ$  priprema spoja

Zbog relativno velike zračnosti V- žlijeba i velike žitkosti taline bronce, korištena je keramička podloga (slika 17) zalijepljena trakom za pridržavanje na strani korijena. Nakon polaganja korijenskog prolaza, keramika je uklonjena i zamijenjena bakrenom podloškom radi boljeg odvođenja topline.



**Slika 17.** Lijepljenje keramike na korijensku stranu probnih ploča – lijevo; Žlijeb spreman za zavarivanje korijenskog prolaza - desno

## 4.2 Oprema i opis eksperimenta

Ploče su prije samog zavarivanja pripojene na krajevima i predgrijane na temperaturu od 200 °C prema naputku proizvođača dodatnog materijala Castolin. Predgrijavanje je provedeno u elektrootpornoj peći. Za kontrolu temperature predgrijavanja korišten je prijenosni laserski termometar *Fluke 568* prikazan na slici 18. U tablici 5 prikazana je specifikacija proizvođača termometra korištenog u eksperimentu.



**Slika 18.** Prijenosni termometar *Fluke 568* [10]

Kako je već ranije spomenuto, nakon svakog sloja zavara, ploče su hladene ispod 100 °C. Za kontrolu međuprolazne temperature koristio se već spomenuti laserski termometar i termokreda od 101 °C. Kako se termokreda pokazala pouzdanijom, korištena je kao mjerodavan indikator temperature do završetka svih zavarivačkih radova. Proizvođač termokrede je američka tvrtka Tempilstik, a ilustracija je prikazana na slici 19.



**Slika 19.** Termokreda *Tempilstik 101°C*



**Tablica 5.** Specifikacija termometra [10]

<b>Specifikacija termometra Fluke 568</b>	
Temperaturni raspon	-40°C to +800°C
Točnost mjerenja	0°C: ±1°C ili ±1% očitavanja, veća vrijednost
Vrijeme odaziva	<500ms
Koeficijent emisije	0,10 – 1,00
Temperaturni koeficijent	±0.1 °C/°C ili ±0.1 %/°C očitavanja
Rezolucija prikaza	0.1°C
Ponovljivost rezultata mjerenja	±0.5% od očitavanja ili ±0.5°C
Masa uređaja	322 grama
Temperatura primjene	0 °C to 50 °C
Važeća sigurnosna norma	IEC 61010-1: 2001
Norma/Klasa zaštite	IEC 60529: IP54

Izvor struje zavarivanja korišten u eksperimentu je VARSTROJ *Daihen Welbee 500L* prikazan na slici 20. Namijenjen je profesionalnom zavarivanju u servisnim radionicama te industriji. Radi se o inverterskom aparatu sa ravnom strujno naponskom karakteristikom. Specifikacija uređaja dana je u tablici 6.

**Tablica 6.** Specifikacija izvora struje

<b>Specifikacija izvora struje za zavarivanje</b>	
Proizvođač/tip	Daihen VARSTROJ / Welbee 500L
Frekvencija	50 Hz
Napon napajanja	3x400V ± 15 %
Ulazna snaga	25 kVA, 22.9 kW
Najveća struja	DC : 500 A      Impulsno : 400 A
Područje regulacije struje	30 do 500 A
Područje regulacije napona	12 do 45 V
Napon praznog hoda	80 V
Nazivna intermitencija	DC : 60 %      Impulsno : 80 %
Temperatura primjene	-10 to 40 °C
Masa	83 kg

Statička karakteristika		konstantna naponska	
Tip MIG gorionika		ABIMIG W 540 (4m)	
Sinergijski programi za DC zavarivanje obojenih materijala			
Naziv programa	Plin	Promjer žice	Brzina žice
Al/PURE	MIG (100 % Ar)	1.2/1.6	standardno
Al/Mg		1.0/1.2/1.6	standardno
Brazing CuSi		0.8/1.0/1.2	standardno
Brazing CuAl		0.8/1.0/1.2	standardno

Navedeni uređaj posjeduje iznimno bogatu ponudu sinergijskih programa zavarivanja što zavarivačkom osoblju pojednostavljuje rad i smanjuje pripremu završno vrijeme. U ovom eksperimentu korišten je program *Brazing CuAl* sa istosmjernom strujom i debljinom žice 1,2 mm.



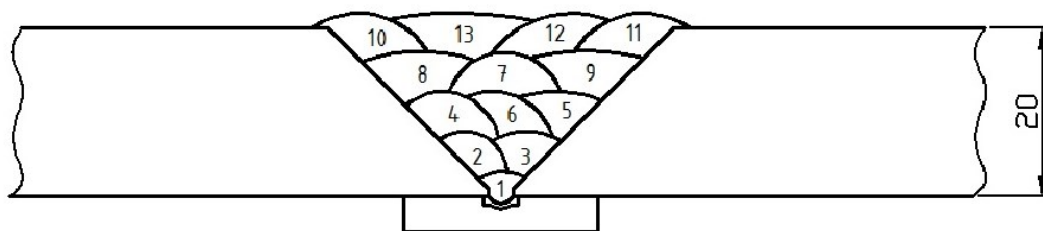
**Slika 20.** Izvor struje za zavarivanje VARSTROJ Welbee 500L

#### 4.2.1 Opis zavarivanja

Zavari su polagani brzo i sa minimalnim njihanjem luka. Korištena je lijeva tehnika rada prilikom koje električni luk putuje ispred taline. Na taj način postiže se efekt čišćenja aluminijskog oksida sa osnovnog materijala. U suprotnom moglo bi doći do naljepljivanja zbog zaostalog oksida. Zaštitni plin bio je 100% Argon stupnja čistoće 4.8 i protoka 18 l/min. Oba uzorka zavarana su žicom promjera 1,2 mm. Nakon svakog zavara, izvršena je provjera temperature te su ploče hlađene na 100 °C . U tijeku procesa zavarivanja, nisu primijećene pukotine.

#### 4.2.2. Zavarivanje uzorka A

Uzorak A zavaren je dodatnim materijalom Castolin CastoMag 45703 . U tablici 7 slijede parametri zavarivanja i redosljed slaganja zavara. Slika 21 prikazuje traženi tijek polaganja prolaza, a slika 22 provedbu u praksi.



Slika 21. Redosljed zavarivanja uzorka A

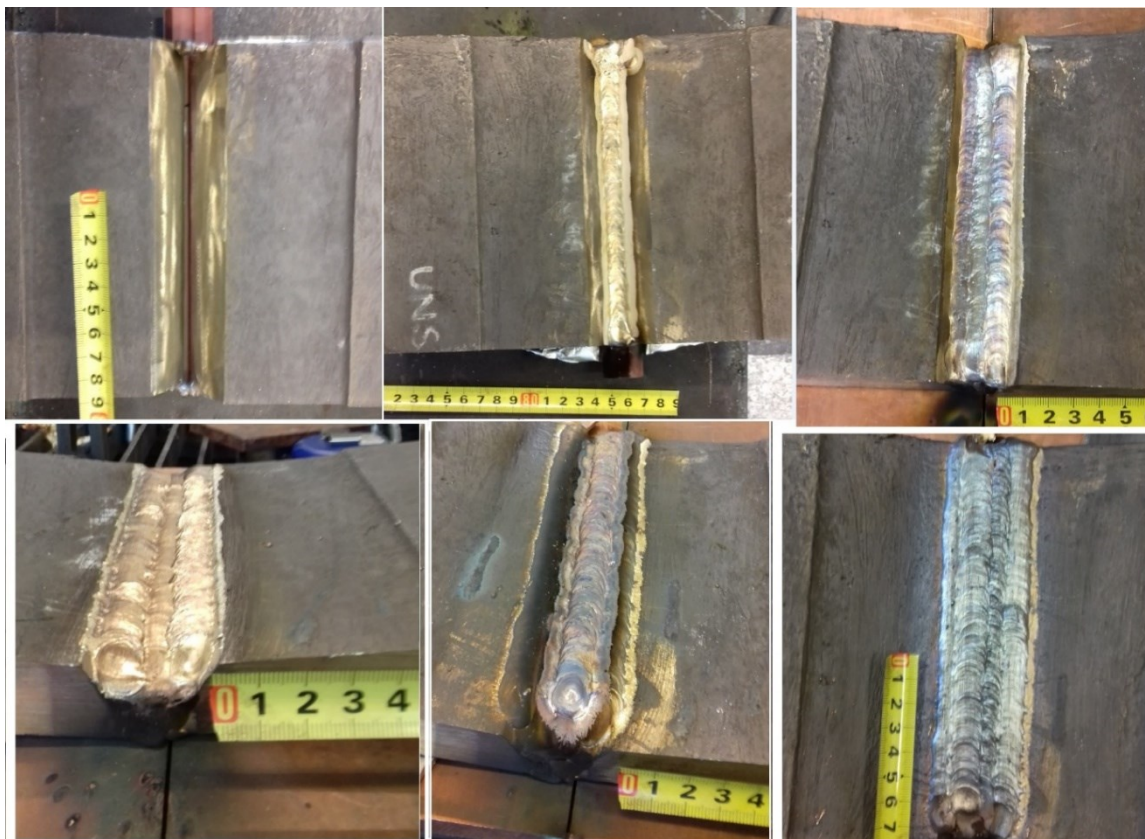
Zbog relativno velikog otvora žlijeba i naputka o minimalnom njihanju pištolja tijekom zavarivanja, došlo se do čak 13 prolaza. Kako prikazuje slika 21, redosljed prolaza je bio nasuprotan kako bi se komad ravnomjerno hladio. Nakon polaganja 3. prolaza, keramička podloga je uklonjena, te je umjesto nje postavljena bakrena podloška. Zadatak bakrene podloške je brže odvođenje toplote.



U tablici 7. nalaze se stvarne vrijednosti zavarivanja uzorka A. Pomoću tih vrijednosti je kasnije izračunat unos topline za svaki prolaz.

**Tablica 7.** Parametri zavarivanja uzorka A

Broj prolaza	Struja [A]	Stvarna struja [A]	Napon [V]	Stvarni napon [V]	Brzina žice v <sub>ž</sub> [m/min]	Brzina zavarivanja [cm/min]
1.	150	147	23,5	22,8	5,5	30 – 32
2.	200	198	24,5	26,5	7	22 – 26
3.	200	198	24,5	26,4	7	22 – 26
4.	200	197	24,5	27	7	22 – 26
5.	200	195	24,5	27	7	22 – 26
6.	200	197	24,5	26,3	7	22 – 26
7.	200	196	24,5	26	7	22 – 26
8.	200	197	24,5	26,8	7	22 – 26
9.	200	196	24,5	26	7	22 – 26
10.	200	198	24,5	27,1	7	22 – 26
11.	200	194	24,5	27,3	7	22 – 26
12.	200	189	24,5	27	7	22 – 26
13.	200	192	24,5	27,1	7	22 – 26



**Slika 22.** Tijek izvođenja zavarivanja uzorka A s lijeva na desno.

Prije početka zavarivanja, u svrhu određivanja početne struje i napona zavarivanja, na ispitnom uzorku izvršeno je probno navarivanje. Ustanovljeno je kako će struja od 150 A biti dovoljna za zavarivanje korijenskog prolaza.

### 4.2.3. Zavarivanje uzorka B

Uzorak B zavaren je dodatnim materijalom Castolin CastoMag 45711 . U nastavku slijede parametri zavarivanja i redoslijed slaganja zavara.

**Tablica 8.** Parametri zavarivanja uzorka B

Broj prolaza	Struja [A]	Stvarna struja [A]	Napon [V]	Stvarni napon [V]	Brzina žice v <sub>ž</sub> [m/min]	Brzina zavarivanja [cm/min]
1.	150	146	23,5	22,6	5,5	30 – 32
2.	200	197	24,5	26,8	7	22 – 26
3.	200	195	24,5	26,5	7	22 – 26
4.	220	217	25,5	27,1	8,1	22 – 26
5.	220	218	25,5	27,2	8,1	22 – 26
6.	220	216	25,5	27,4	8,1	22 – 26
7.	220	215	25,5	27,2	8,1	22 – 26
8.	220	216	25,5	27	8,1	22 – 26
9.	220	215	25,5	26,9	8,1	22 – 26
10.	220	218	25,5	27,1	8,1	22 – 26
11.	220	215	25,5	27,1	8,1	22 – 26
12.	220	216	25,5	27,2	8,1	22 – 26
13.	220	217	25,5	27	8,1	22 – 26

Tijek zavarivanja uzorka B je istovrijedan zavarivanju uzorka A (*vidi sliku 21 i 22.*)

#### 4.2.4. Unos topline u zavaru

Unos topline tijekom zavarivanja određen je u skladu sa normom HRN EN 1011-1:2009 Preporuke za zavarivanje metalnih materijala – 1. dio: Opće smjernice za elektrolučno zavarivanje. [12]

Izraz za unos topline u zavaru:

$$Q = k \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} \text{ [kJ/mm]}$$

gdje su:

$Q$  unesena toplina; kJ/mm

$k$  koeficijent iskoristivosti topline električnog luka (za MIG  $k=0,8$ )

$U$  napon električnog luka; V

$I$  jakost struje zavarivanja; A

$v$  prosječna brzina zavarivanja; mm/s .

Koeficijent iskoristivost luka za MIG i REL postupak iznosi 0.8, za EPP 1.0 dok za TIG samo 0.6. Brzina zavarivanja bazirana je na rezultatima mjerenja vremena za nekoliko prolaza. Pri tome određena je prosječna brzina zavarivanja za korijenski prolaz te za popunu. U tablici 9. nalaze se rezultati mjerenja vremena za korijenski prolaz te prosječno vrijeme za popunu.

$$v = \frac{s}{t} \text{ [m/s] ,}$$

gdje je

$s$  dužina zavara ( $s = 180 \text{ mm}$ )

$t$  vrijeme zavarivanja

**Tablica 9.** Rezultati mjerenja vremena i prosječne brzine

	Uzorak A	Uzorak B
Vrijeme za korijenski prolaz [s]	32,1	33,2
Vrijeme za popunu [s]	43,8	45,2
Brzina – korijen [mm/s]	5,6	5,42
Brzina – popuna [mm/s]	4,1	3,98

Unos topline je izračunat sa stvarnim vrijednostima jakosti struje i napona koji se nalaze u tablici 10 za uzorak A, odnosno tablici 11 za uzorak B.

**Tablica 10.** Unos topline uzorka A

Prolaz	I [A]	U [V]	v [mm/s]	Q [kJ/mm]
1.	147	22,8	5,6	0,478
2.	198	26,5	4,1	1,024
3.	198	26,4	4,1	1,020
4.	197	27	4,1	1,038
5.	195	27	4,1	1,027
6.	197	26,3	4,1	1,011
7.	196	26	4,1	0,994
8.	197	26,8	4,1	1,030
9.	196	26	4,1	0,994
10.	198	27,1	4,1	1,047
11.	194	27,3	4,1	1,033
12.	189	27	4,1	0,996
13.	192	27,1	4,1	1,015

**Tablica 11.** Unos topline uzorka B

Prolaz	I [A]	U [V]	v [mm/s]	Q [kJ/mm]
1.	147	22,8	5,4	0,495
2.	198	26,5	4,0	1,055
3.	198	26,4	4,0	1,051
4.	197	27	4,0	1,069
5.	195	27	4,0	1,058
6.	197	26,3	4,0	1,041
7.	196	26	4,0	1,024
8.	197	26,8	4,0	1,061
9.	196	26	4,0	1,024
10.	198	27,1	4,0	1,079
11.	194	27,3	4,0	1,065
12.	189	27	4,0	1,026
13.	192	27,1	4,0	1,046

Iz podataka o unosu topline, možemo vidjeti kako je ona bila prilično visoka, zbog izvrsne toplinske vodljivosti bakrenih legura. Shodno tome provedena je redukcija unosa topline, međuslojnom temperaturom od 100 °C.

## 4.3 Kontrola zavarenih spojeva

### 4.3.1 Vizualna kontrola

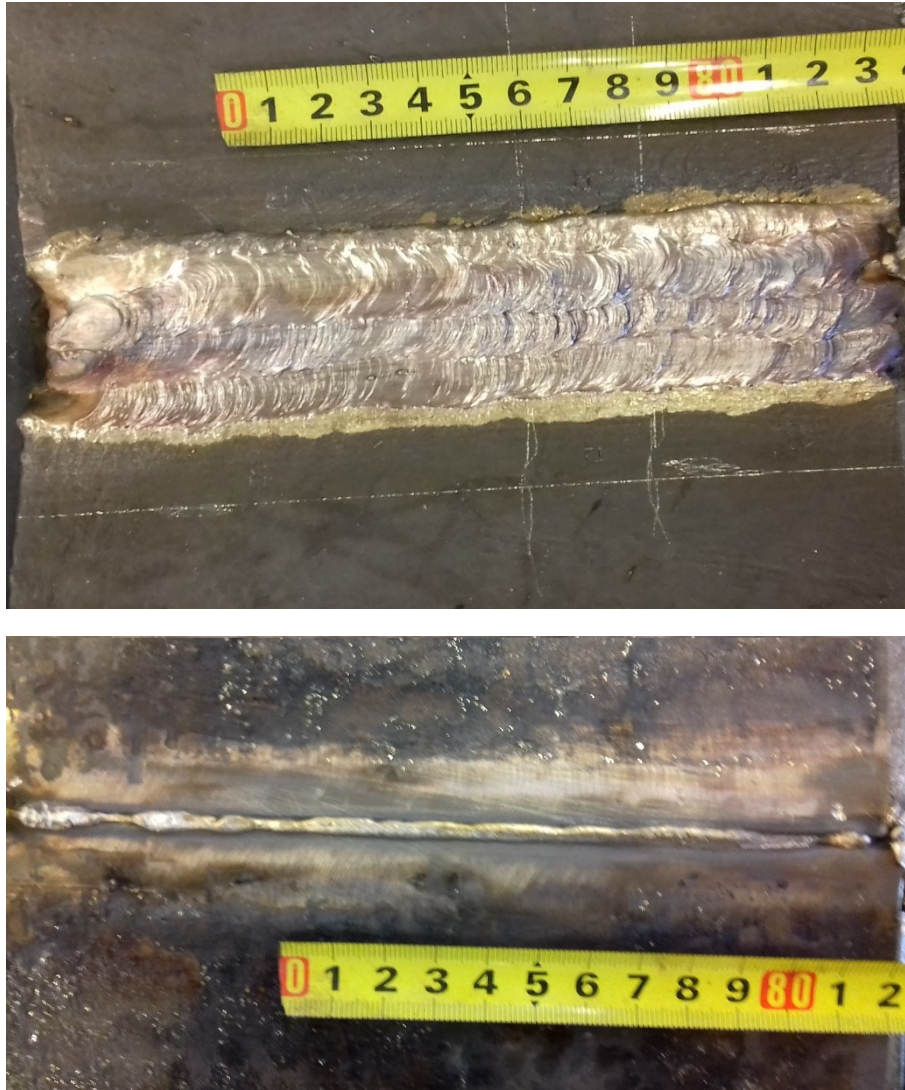
Vizualna kontrola se primjenjuje prije bilo koje druge metode ispitivanja. Osim što je najjeftinija, ne oduzima puno vremena i daje vrlo korisne informacije o zavarenim spojevima i potrebi daljnjeg ispitivanja.[13]

U ovom radu, vizualna kontrola provodila se tijekom zavarivanja prilikom polaganja slojeva zavara te nakon zavarivanja. Slike 22 i 23 zorno prikazuju lice i korijen ispitnog uzorka A odnosno uzorka B.



Slika 23. Lice i korijen zavara uzorka A





**Slika 24.** Lice i korijen zavara uzorka B

Kontrolom tijekom zavarivanja i nakon zavarivanja nisu primjećene pukotine. Korijen uzorka A je bolje popunio utor keramičke podloške u odnosu na korijen zavara B, a razlog tomu leži u činjenici kako se ipak radi o različitim dodatnim materijalima, no za utvrđivanje takve tvrdnje uputnu je napraviti dodatna ispitivanja. Lice obaju zavara imaju primjetno nadvišenje što se u slučaju V – 90°pripreme žlijeba nije moglo izbjeći, no to ne predstavlja nikakvu pogrešku.

### 4.3.2 Određivanje kemijskog sastava uzoraka

Kemijski sastav određen je metodom XRF i uređajem Innov-X Systems Olympus XRF prikazanog na slici 25. Ispitivanje je provedeno u Laboratoriju za zaštitu materijala FSB-a. Uređaj radi na principu rentgenske fluorescentne spektroskopije. XRF je nerazorna metoda koja se bazira na pobuđivanju atoma ispitivanog uzorka rentgenskim zračenjem, što rezultira emisijom fluorescentnoga zračenja iz materijala, karakterističnog za elementni sastav. Te informacije daju nam i kvalitativnu i kvantitativnu sliku o elementnom sastavu uzorka. Uređaj koristi i računalni program koji na jednostavan način prikazuje rezultate ispitivanja.



Slika 25. Prijenosni spektroskop Olympus XRF(*gore*) i analiza u praksi(*ispod*)



Iako je osnovni materijal isporučen s atestom tvrtke Croatia Pumpe Nova d.d., iskorištena je prilika te je provjeren i njegov kemijski sastav. Na razini statističke pogreške, zaključujemo da su rezultati atesta istovrijedni analizi provedenoj u laboratoriju.

Tablice 12, 13 i 14 redom prikazuju dobivene rezultate o provjeri kemijskog sastava.

**Tablica 12.** Kemijski sastav osnovnog materijala (UNS C95800) \*

Cu %	Al %	Fe %	Ni %	Mn %	Si %	Pb %
80,74	9,41	4,32	4,43	1,03	0,042	0,028

\* kemijski sastav OM jednak je za oba uzorka – jedinstvena šarža

**Tablica 13.** Kemijski sastav metala zavara uzorka A (žica Castolin CastoMag 45703)

Cu %	Sn %	Fe%	Ni %	Mn %	Si %
91,18	7,13	0,95	0,69	0,17	0,022

**Tablica 14.** Kemijski sastav metala zavara uzorka B (žica Castolin CastoMag 45711)

Cu %	Sn %	Fe%	Ni %	Mn %	Si %
89,92	7,76	0,95	0,95	0,40	0,021

### 4.3.3 Analiza makrostrukture

Makroizbrusci su izrađeni izrezivanjem zavarenih ploča na tračnoj pili (slika 26). Kako je ovaj materijal niže tvrdoće od čelika te vrlo dobre strojne obradivosti, površina dobivena rezanjem zahtijevala je manje grubog brušenja.



Slika 26. Rezanje ploča na tračnoj pili

Da bi se ispunili zahtjevi koje makroizbrusak treba zadovoljiti, njegova površina je podvrgnuta postupnoj finoj obradi brušenjem. Brušenje je izvedeno na mokro uz uporabu brusnih papira znatosti redom 100, 180, 240, 320 i 400. Nakon brušenja makroizbrusak je temeljito očišćen vodom i završno ispran alkoholom (slika 27).



Slika 27. Makroizbrusci nakon brušenja i čišćenja

Nagrizanje izbruska je provedeno u otopini: 30 ml HCl, 10 ml HNO<sub>3</sub>, 60 ml H<sub>2</sub>O i 5 g NaF u trajanju od 5 minuta pri sobnoj temperaturi. Ova otopina koristi se primarno u ljevarskoj industriji za pregled makro i mikro struktura odljevaka bronci.



**Slika 28.** Makroizbrusak uzorka A



**Slika 29.** Makroizbrusak uzorka B

Makroizbrusci prikazani na slici 28 i 29 imaju slabo izražene slojeve zavara, ali jasno su vidljive sve karakteristične zone: osnovnog metala, metala zavara i prilično uskog ZUT-a. Nadvišenje zavara je iznosilo 2 mm što nije povoljno, ali kako se ipak radi o simulaciji reparaturnog zavarivanja, navedeni višak bi se u naknadnoj obradi odvajanjem čestica odstranio.

Korijenski prolaz ima veću širinu kod uzorka A, što ukazuje na veći razmak prilikom izrade pripoja. Uzorak B u konačnici ima i veća kutna odstupanja ponajviše zbog većeg unosa topline.

#### 4.4 Prijedlog tehnologije zavarivanja Al- bronce MIG postupkom

Zavarivanje Al bronci najčešće se susreće u reparaturama odljevaka kositrenih i aluminijskih bronci. Prethodno je potrebno odstraniti svaku pukotinu, poru ili uključak pijeska te oblikovati žlijeb pazeći da pri tome nema oštih prijelaza koji bi mogli izazvati koncentraciju naprezanja.

Za MIG postupak predlaže se korištenje V žlijeba s otvorom kuta od 30° do 45°. Predgrijavanje provoditi u peći ili elektrootpornim grijačima ukoliko se radi o većem komadu na temperaturu od 200 °C minimalno 2 h prije početka zavarivanja.

U tablici 15. nalaze se preporučeni parametri za debljinu materijala 20 mm i promjer žice dodatnog materijala 1,2 mm. Na kraju ovoga rada, priložene su specifikacije postupka zavarivanja za korištene materijale.

**Tablica 15.** Preporučeni parametri zavarivanja Al bronce

Parametri	Vrijednost
Struja [A]	istosmjerna +; 200
Napon [V]	27
Brzina zavarivanja [mm/s]	4
Brzina žice [m/min]	7,5
Protok vrsta inertnog plina [l/min]	18, Argon

Nakon zavarivanja, zavareni spoj potrebno je polagano hladiti u pijesku ili koristeći izolacijske materijale poput keramičke vune.

## 5. ZAKLJUČAK

Cilj ovoga rada bio je primarno utvrđivanje zavarljivosti aluminijske bronce uz primjenu MIG postupka zavarivanja, a sekundarno prikaz svojstava te vrlo široke primjene ovog materijala u gotovom svim tehničkim područjima.

U eksperimentalnom dijelu rada izvršeno je zavarivanje odljevaka bronce ASTM C95800 s dvije probne ploče odnosno dvama dodatnim materijalima. U oba slučaja tijekom polaganja slojeva nisu primijećene pukotine, a unos topline i V 90° – priprema spoja rezultirali su znatnim kutnim deformacijama probnih uzoraka. Međuslojna temperatura iznosila je 100°C radi redukcije unosa topline te izbjegavanja mogućih pukotina.

Nakon zavarivanja, ploče su polagano hladene u kvarcnom pijesku, radi izbjegavanja nastanka hladnih pukotina. Cijeli postupak zavarivanja je vrlo sličan postupku reparaturnog zavarivanja sivog lijeva, uz iznimku što ovdje nije bilo raskivanja slojeva zavara.

U konačnici se može zaključiti kako je aluminijska bronca dobro zavarljiva MIG postupkom zavarivanja. Pri tome čak nije nužno koristiti dodatne materijale iz grupe aluminijskih već i iz ostalih (u ovom radu kositrenih) bronci. Za kvalitetu dobro obavljenog posla, zaslužno je konstantno praćenje parametara zavarivanja te sljedivost zavarivačkog osoblja u radu, odnosno poštivanje zadane procedure.

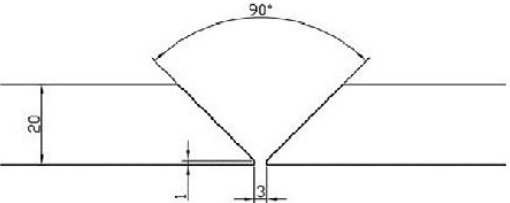
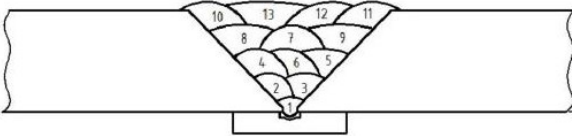
## LITERATURA

- [1] Gojić M. ;Tehnike spajanja i razdvajanja materijala, Zagreb; 2003.
- [2] PROJEKT FORMULA STUDENT – STRIX FSB RACING TEAM, Zagreb; 2017.
- [3] Projektiranje tehnologije zavarivanja <http://www.sfsb.unios.hr/kth/zavar1/sadrzaj.htm>
- [4] Filetin,Kovačićek, Indof; Svojstva i primjena materijala, Zagreb; 2002.
- [5] Richardson I.; Guide to Nickel Aluminium Bronze for Engineers; 2016. Copper Development Association
- [6] web:<https://www.express.co.uk/comment/expresscomment/754381/westminster-portcullis-house-maintenance-cost-ministers-plants-fig-trees>
- [7] J.Brezetić; Reparaturno zavarivanje odljevaka od bronce; Karlovac; 1980.
- [8] I.Juraga, M.Živčić, M. Gracin; Reparaturno zavarivanje, Zagreb; 1994.
- [9] web: [http://www.wisconsinwireworks.com/aluminum\\_bronze.html](http://www.wisconsinwireworks.com/aluminum_bronze.html)
- [10] web:<https://www.fluke.com/en-us/product/temperature-measurement/ir-thermometers/fluke-568#>
- [11] web:<http://www.daihen-varstroj.si/varilni-aparati/varjenje-po-mig-mag-postopku/welbee-varilni-inverterji1/welbee-p-500l-slo.html>
- [12] Norma: HRN EN 1011-1: 2009
- [13] web:<http://www.zavar.hr/hrv/opsirnije/metodebezrazaranjakbr/vizualnakontrola/#.XXufhy4zbDc>

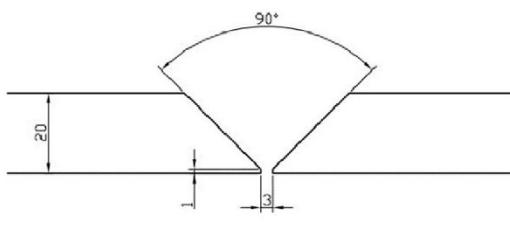
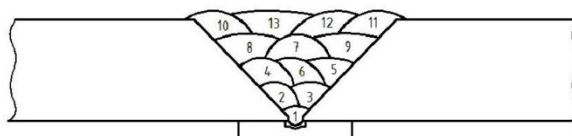
## **PRILOZI**

- I. CD-R disc
- II. Tehnička dokumentacija – WPS 2 kom



Uzorak A		SPECIFIKACIJA POSTUPKA ZAVARIVANJA (SPZ) WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)				Br. / No.	A131-PA		
						Rev.	0		
						Datum / Date:	Veljača, 2020		
OBJEKT ASSEMBLY:	Ispitivanje zavarljivosti aluminijske bronce			NACRT DRAWING:	-		Z. SPO J. WELD JOINT	PA/2	
POSTUPAK ZAV. WELDING PROCEDURE:	131 (MIG)			A TEST POSTUPKA WPAR:	-				
OSNOVNI MATERIJAL / BASE MATERIAL				DODATNI MATERIJAL / FILLER MATERIAL					
	Oznaka Designation	Debljina Thickness mm	Promjer Diameter mm	Oznaka Designation	AWS A5.7 / ER CuSn - A		Sušenje Drying		
1.	ASTM C95800 (CuAl10Fe5Ni5)	20	-	Tvomički naziv Trade name	CASTOLIN CastoMag 45703		-		
2.	-	-	-						
PRIPREMA SPOJA JOINT PREPARATION:				REDOSLIJED ZAVARIVANJA WELDING SEQUENCE					
									
PARAMETRI ZAVARIVANJA / WELDING PARAMETERS									
Prolaz Pass	Vrsta dod. materijala za zavarivanje Type of welding filler material	Ø dod. mat. za zavarivanje Ø filler material for welding mm	Postupak zavar. / Welding procedure	Jakost struje Strength of current A	Napon Voltage V	Vrsta struje/ polaritet Kind of current / polarity	Brzina žice Wire feed m/min	Brzina zavar. Welding speed cm/min	Unos topline Heat input KJ/cm
1.	CastoMag45703	1,2	131(MIG)	150	23,5	DC (+)	5,5	30-32	4,8
2. – 13.	CastoMag45703	1,2	131(MIG)	200	27	DC (+)	7	22-26	10
Priprema spoja, čišćenje: <b>Strojno - glodanje</b> Joint preparation, cleaning: Vrsta spoja: <b>sučeljeni zavar / BW</b> Joint type: Položaj zavarivanja: <b>PA</b> Welding position: Promjer sapnice : <b>25/18 mm</b> Nozzle diameter: Zaštitni plin: <b>Argon 4.8</b> Protective gas: Protok plina (l/min): <b>18 l/min</b> Gas flow rate (l/min): Zaštitni plin (korijen): <b>Argon 4.8</b> Protective gas (root): Protok plina (korijen): <b>18 l/min</b> Gas flow rate (root): Pojediniosti o zavarivanju pulsirajućim strujama: - Details on pulsed current welding Udaljenost kontaktne vodilice od osnovnog materijala: Contact tip distance:					Pojediniosti o žljebljenju i podlozi: <b>Odmašćivanje, četkanje</b> Details on gouging and weld backing: Kut nagiba pištolja: <b>70° - 90°</b> Torch angle: Njihanje <b>NE</b> Swinging: Ime i prezime zavarivača: <b>Krešimir Sukobljević</b> Welder's full name: <b>PREDGRIJAVANJE/DOGRIJAVANJE</b> Temperatura predgrijavanja (°C): <b>200° C</b> Preheating temperature (°C): Međuslojna temperatura (°C): <b>100° C</b> Interpass temperature: Dogrijavanje: - Postheating: Vrijeme, temperatura, postupak toplinske obrade: Time, temperature, heat treatment procedure: - Polagano hlađenje u pijesku nakon zavarivanja Dodatne informacije: <b>Čišćenje i četkanje.</b> Further information:				
Izradio: Prepared by: <b>Marko Ivančić</b>			Datum / Date:  veljača, 2020.		Napomena / OBS:  Završna kontrola: VT 100%				
Odobrio: Approved by: <b>Dr.sc. Ivica Garašić dipl.ing.</b>									



Uzorak B		SPECIFIKACIJA POSTUPKA ZAVARIVANJA (SPZ) WELDING PROCEDURE SPECIFICATION (WPS)			Br. / No.		B131-PA		
					Rev.		0		
					Datum / Date:		veljača 2020.		
OBJEKT ASSEMBLY:		Ispitivanje zavarljivosti aluminijske bronce			NACRT DRAWING:		-		
POSTUPAK ZAV. WELDING PROCEDURE:		131 (MIG)			ATEST POSTUPKA WPAR:		-		
OSNOVNI MATERIJAL / BASE MATERIAL				DODATNI MATERIJAL / FILLER MATERIAL					
	Oznaka Designation	Debljina Thickness mm	Promjer Diameter mm	Oznaka Designation	AWS A5.7 / ER CuSn - C			Sušenje Drying	
1.	ASTM C95800 (CuAl10Fe5Ni5)	20	-	Tvornički naziv Trade name	CASTOLIN CastoMag 45711			-	
2.	-	-	-						
PRIPREMA SPOJA JOINT PREPARATION:				REDOSLIJED ZAVARIVANJA WELDING SEQUENCE					
									
PARAMETRI ZAVARIVANJA / WELDING PARAMETERS									
Prolaz Pass	Vrsta dod. materijala za zavarivanje Type of welding filler material	Ø dod. mat. za zavarivanje Ø filler material for welding mm	Postupak zavar. Welding procedure	Jakost struje Strength of current A	Napon Voltage V	Vrsta struje/ polaritet Kind of current / polarity	Brzina žice Wire feed m/min	Brzina zavar. Welding speed cm/min	Unos topline Heat input KJ/cm
1.	CastoMag45703	1,2	131(MIG)	150	23	DC (+)	5,5	30-32	4,9
2. - 13.	CastoMag45703	1,2	131(MIG)	220	26,5	DC (+)	8	22-26	10,5
Priprema spoja, čišćenje: <b>Strojno - glodanje</b> Joint preparation, cleaning:				Pojediniosti o žljebljenju i podlozi: <b>Odmašćivanje, četkanje</b> Details on gouging and weld backing:					
Vrsta spoja: <b>sučeljeni zavar / BW</b> Joint type:				Kut nagiba pištolja: <b>70° - 90°</b> Torch angle:					
Položaj zavarivanja: <b>PA</b> Welding position:				Njihanje <b>NE</b> Swinging:					
Promjer sapnice: <b>25/18 mm</b> Nozzle diameter:				Ime i prezime zavarivača: <b>Krešimir Sukobljević</b> Welder's full name:					
Zaštitni plin: <b>Argon 4.8</b> Protective gas:				<b>PREDGRIJAVANJE/DOGRIJAVANJE</b> Temperatura predgrijavanja (°C): <b>200° C</b> Preheating temperature (°C):					
Protok plina (l/min): <b>18 l/min</b> Gas flow rate (l/min):				Meduslojna temperatura (°C): <b>100° C</b> Interpass temperature:					
Zaštitni plin (korijen): <b>Argon 4.8</b> Protective gas (root):				Dogrijavanje: <b>-</b> Postheating:					
Protok plina (korijen): <b>18 l/min</b> Gas flow rate (root):				Vrijeme, temperatura, postupak toplinske obrade: Time, temperature, heat treatment procedure: <b>-</b> Polagano hlađenje u pijesku nakon zavarivanja Dodatne informacije: <b>Čišćenje i četkanje.</b> Further information:					
Pojediniosti o zavarivanju pulsirajućim strujama: <b>-</b> Details on pulsed current welding									
Udaljenost kontaktne vodilice od osnovnog materijala: Contact tip distance:									
Izradio: Prepared by:			Datum / Date:			Napomena / OBS:			
Marko Ivančić			veljača, 2020.			Završna kontrola: VT 100%			
Odobrio: Approved by:									
Dr.sc. Ivica Garašić dipl.ing.									