



Dragan Milčić^{1 a}, Tomaž Vuherer², Miodrag Milčić¹, Andreja Radovanović³, Dragan Mitić⁴, Aleksija Đurić⁵

MEHANIČKA SVOJSTVA SUČEONIH ZAVARENIH SPOJEVA RAZLIČITIH LEGURA ALUMINIJUMA 2024-T351 / 6082-T6 DOBIJENIH MIG POSTUPKOM ZAVARIVANJA

MECHANICAL PROPERTIES OF BUTT WELDED JOINTS OF DISSIMILAR ALUMINUM ALLOYS 2024-T351 / 6082-T6 OBTAINED BY MIG WELDING

Originalni naučni rad / Original scientific paper .

Rad primljen / Paper received:

Avgust 2022.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Jul 2023.

Adresa autora / Author's address:

¹ Mašinski fakultet, Univerzitet u Nišu, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija

² Mašinski fakultet, Univerzitet u Mariboru, Smetanova ulica 17, Maribor SI-2000, Slovenija

³ IMW Institut, Aleja Milanović bb, 34325 Lužnice, Kragujevac, Srbija

⁴ NIVAR Niš, Čarnojevića 11/1 18000 Niš, Srbija

⁵ Mašinski fakultet, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Vuka Karadžića 30, 71123 Istočno Sarajevo, Bosna i Hercegovina, Republika Srpska

email: ^a dragan.milcic@masfak.ni.ac.rs

Ključne reči: zavareni spojevi različitih legure aluminijuma, legura aluminijuma 2024-T351, legura aluminijuma 6082-T6, MIG postupak zavarivanja, mikrostruktura, mehanička svojstva zavarenih spojeva

Keywords: welded joints of different aluminium alloys, aluminium alloy 2024-T351, aluminium alloy 6082-T6, MIG welding process, microstructure, mechanical properties of welded joints

Rezime

Ovaj rad ima za cilj da predstavi efekte MIG postupka zavarivanja na mehanička svojstva sučeonog zavarenog spoja različitih legura aluminijuma 2024-T351 i AA 6082-T6. Legura AA 6082 T6 je dobro zavariva klasičnim fuzionim postupcima zavarivanja (MIG i TIG), dok je legura 2024-T351 gotovo nezavariva. Za zavarivanje ovih dveju legura Al korišćen je MIG postupak zavarivanja na limu debljine 8 mm koristeći dodatni materijal 4043A (AlSi5) i mešavinu argona i helijuma kao zaštitnog gasa. Analiziran je uticaj MIG zavarivanja na dobijenu strukturu i mehanička svojstva zavarenog spoja. Procena mehaničkih svojstava zavarenog spoja različitih Al legure je vršena ispitivanje tvrdoće prema Vickersu, ispitivanje na zatezanje i savijanja zavarenih uzoraka.

Abstract

This paper aims to present the effects of the MIG welding on the mechanical properties of a butt-welded joint of dissimilar aluminium alloys 2024-T351 and AA 6082-T6. Aluminium alloy 6082 T6 is well weldable by classical fusion welding processes (MIG and TIG), while aluminium alloy 2024-T351 is almost non-weldable. For the welding of these two Al alloys, the MIG welding was used on an 8 mm thick sheet using filler material 4043A (AlSi5) and a mixture of argon and helium as a shielding gas. The influence of MIG welding on the obtained structure and mechanical properties of the welded joint was analyzed. The assessment of the mechanical properties of the welded joint of dissimilar Al alloys was performed by Vickers hardness testing, tensile and bending tests of the welded samples.

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku radova sa 32. Savetovanja sa međunarodnim učešćem „Zavarivanje 2022“ održanog na Tari, Srbija od 12. do 15. oktobra 2022. godine



1. Uvod

Aluminijum je metal koji je veoma rasprostranjen u zemljinoj kori. Posle čelika, aluminijum je najviše korišćen metal. Spada u grupu lakih metala. Približno tri puta je lakši od čelika. Aluminijumske konstrukcije se često koriste u transportnoj tehnici, u automobilskoj industriji, u industriji šinskih vozila, u brodogradnji, u avioindustriji i čak u svemirskim tehnologijama. Za proizvodnju lakih konstrukcija transportnih sredstava koriste se različite legure aluminijuma, koje imaju određena svojstva (čvrstoću, tvrdoću, žilavost, udarnu žilavost, otpornost materijala na savijanje i rast prslina, antikorozivna svojstva) uz malu gustinu materijala.

Aluminijum ima slaba mehanička svojstva. Povećanje niske čvrstoće aluminijuma moguće je: legiranjem, hladnom deformacijom, termičkom obradom i kombinacijom ovih mogućnosti: legiranjem i hladnom deformacijom ili legiranjem i termičkom obradom. Legirajući elementi su: bakar, mangan, silicijum, magnezijum i cink. Legure aluminijuma su uglavnom dvokomponentne i trokomponentne. Legure aluminijuma su podeljene u osam grupa, koje nose oznake od 1XXX do 8XXX.

Legure aluminijuma serije 3XXX, 4XXX i 5XXX su aluminijumske legure termički neobrađive, koje se ojačavaju rastvaranjem legirajućih elemenata u čvrstom rastvoru i plastičnom preradom (deformaciono ojačavanje). Legure aluminijuma serije 2XXX, 6XXX, 7XXX koje sadrže legirajuće elemente bakar, silicijum i magnezijum i cink, respektivno, su termički obrađive legure. Termička obrada, u najširem smislu, odnosi se na operacije zagrevanja do određene temperature i hlađenja, koje se izvode u svrhu promene mehaničkih svojstava, povećanja tvrdoće i čvrstoće.

Konstrukcije automobila, vozova, brodova, aviona, svemirskih letilica, koje se izrađuju od različitih legura aluminijuma spajaju se najčešće klasičnim postupcima zavarivanja topljenjem MIG i TIG, eventualno postupcima zavarivanjem trenjem sa mešanjem, postupkom zavarivanja laserom i elektronskim snopom. Postupcima zavarivanja topljenjem lako se spajaju materijali koji imaju dobru zavarljivost. Materijal je dobro zavarljiv ako je određenim postupkom zavarivanja moguće napraviti takav zavareni spoj koji će izazvati najmanju moguću nehomogenost u šavu, koji će se dobro ponašati u svim eksploatacionim uslovima (opterećenje, korozija, visoka ili niska temperatura i sl.) u radnom veku korišćenja zavarenog proizvoda ili konstrukcije. Na zavarljivost legura aluminijuma

utiču brojni faktori kao što su: veći afinitet prema kiseoniku pri čemu se stvara teško topljiv oksid, veća toplotna provodljivost i veći koeficijent toplotnog širenja, veliko skupljanje pri očvršćavanju i velika rastvorljivost vodonika u tečnoj fazi, koja se smanjuje drastično pri očvršćavanju. Zavarivanjem legura aluminijuma smanjuju se mehanička svojstva u ZUT-u, snižava se koroziona postojanost, dolazi do nastajanja pora i uključaka, dolazi do nastajanja oksidacionog sloja Al_2O_3 na površini metala zbog velikog afiniteta aluminijuma prema kiseoniku, dolazi do pojave hladnih i toplih prslina. Legure aluminijuma se zavaruju sa dodatnim materijalom povećanog sadržaja Si ili Mg [1].

U poslednje vreme, vodeći proizvođači opreme za zavarivanje omogućavaju razne modifikacije MIG i TIG postupaka zavarivanja, kao što je AC MIG sa pulsiranjem tokom zavarivanja jednim ili duplim pulsom, ili TIP TIG sa automatskim dodavanjem tople žice.

Ako tehnologija postupka zavarivanja nije prikladna, mogu se pojaviti defekti u području metala šava, čime se smanjuje pouzdanost zavarene konstrukcije. Mogu se pojaviti defekti zavarenih spojeva poput poroznosti, prslina, nedostatka penetracije ili nedostatka fuzije [2].

U ovom radu su data istraživanja mehaničkog ponašanja zavarenog spoja ostvarenog MIG postupkom zavarivanja između različitih legura aluminijuma 2024 T351 i 6082 T6 koristeći dodatni materijal S Al 4043A (AlSi5).

2. Eksperimentalna procedura i rezultati

Eksperimentalna istraživanja su bila fokusirana na određivanju uticaja MIG postupka zavarivanja na metalurška i mehanička svojstva zavarenih spojeva legura 2024-T351 i 6082-T6. Legura aluminijuma 2024 spada seriji legure 2XXX gde je glavni legirajući element bakar. Mehaničke osobine ovih legura dostižu vrednosti kao kod ugljeničnih čelika. Ovako visoka čvrstoća legura je zahvaljujući jedinjenju $CuAl_2$ koje se izdvaja u obliku taloga. Taložno ojačavanje ove grupe legura odvija se kroz postupak veštačkog starenja. Kako ove legure nemaju dobru otpornost na koroziju, često se prevlače (plakiraju) čistim aluminijumom radi antikorozijske zaštite. Legure serije 2XXX zbog visoke čvrstoće, dobrih svojstava na zamorna opterećenja, zbog posedovanja svojstava visoke tolerancije oštećenja se koriste za izradu delova u avioindustriji. Ove legure se zovu durali (duraluminijum). Sa dodatkom elemenata kao što su Mg i Li, moguće je smanjiti specifičnu gustinu i



poboljšati performanse Al legura za primenu za izradu delova u avio industriji [3]. Legure serije 2XXX po pravilu imaju lošu zavarljivost klasičnim postupcima zavarivanja topljenjem (MIG, TIG), zbog velike osetljivosti ka pojavi toplih prslina, kao i zbog rastvaranja čestica taloga. Uglavnom za zavarivanje ovih legura koristi se postupak zavarivanja trenjem sa mešanjem [4,5].

Legura aluminijuma 6082 pripada seriji legura 6XXX legura gde su legirajući elementi silicijumom i magnezijumom. Ove legure su pogodne za termičku obradu (žarenje, kaljenje, starenje).

Legure sistema Al-Mg-Si imaju umerenu čvrstocu i dobru otpornost na koroziju, u poređenju sa drugim termički obradivim Al legurama. Tipično za ove legure je da imaju dobru sposobnost oblikovanja i prihvatljivu zavarljivost.

Hemijska i mehanička svojstva legura 2024-T351 i 6082-T6 koje su predmet ovog istraživanja spajane MIG postupkom date su u tabeli 1.

Hemijski sastav korišćenog dodatnog materijala pri zavarivanju prikazan je u tabeli 2.

Tabela 1. Hemijski sastav i mehanička svojstva legure aluminijuma 2024 T351 i 6082 T6 [6]

Table 1. Chemical composition and mechanical properties of aluminum alloy 2024 T351 and 6082 T6 [6]

	Mn %	Fe %	Mg %	Si %	Cu %	Zn %	Ti %	Cr %	Al %
6082 T6	0,4 - 1,0	0 - 0,5	0,6 - 1,2	0,7 - 1,3	0 - 0,1	0 - 0,2	0 - 0,1	0 - 0,25	Balance
2024 T351	0,65	0,17	1,56	0,046	4,7	0,11	0,032		Balance
	Yield strength, min R_{eh}		Ultimate tensile strength, min R_m		Elongation at break, min A			Hardness	
	[MPa]		[MPa]		[%]			[HV]	
2024 T351	310		425		10			137	
6082 T6	260		310		10			95	

Tabela 2. Hemijski sastav dodatnog materijala žice EN ISO 18273 S Al 4043A (AlSi5)

Table 2. Chemical composition of the filler material of wire EN ISO 18273 S Al 4043A (AlSi5)

Mn %	Fe %	Mg %	Si %	Cu %	Zn %	Ti %	Be %	Al %
<0,15	<0,6	<0,2	4,5 - 5,5	<0,3	<0,1	<0,15	<0,0003	Balance

Dimenzije ploča koje su korišćene za debljine 8 mm. Parametri zavarivanja dati su u zavarivanje bile su dužine 300 mm, širine 125 mm i tabeli 3.

Tabela 3. Parametri zavarivanja za MIG postupak zavarivanja sučeonih zavarenih spojeva za materijal EN AW 2024-T351 / EN AW 6082-T6

Table 3. Welding parameters for the MIG butt weld welding process for the material EN AW 2024-T351 / EN AW 6082-T6

Broj prolaza	Postupak EN ISO 4063	Struja zavarivanja I [A]	Napon zavarivanja U [V]	Dužina zavara / prolaza [cm]	Brzina žice [m/min]	Temperatura predgrevanja i međuprolaza [°C]	Brzina zavarivanja v [mm/s]	Uneta toplota [J/mm] $H=I \cdot U \cdot \eta / v$
1	131	150	21	30	6,2	40	7	360
2	131	160	22	30	6,5	90	11,5	245
3	131	160	22	30	6,5	90	7,7	366
Efficiency $\eta=0,8$								

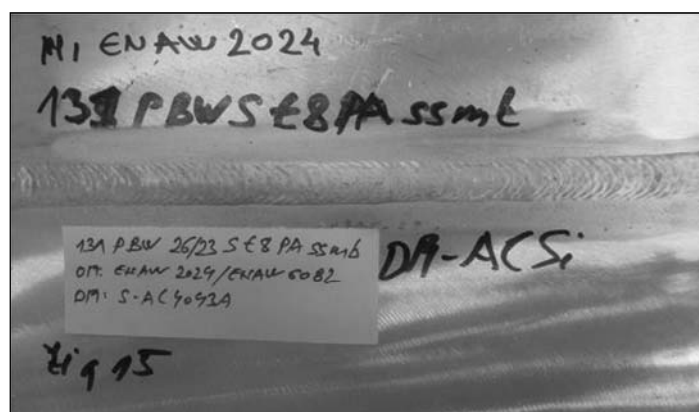


Ostali podaci vezani za korišćeni uređaj za zavarivanje, zaštitne gasove, predgrevanje i ostalo prikazani su u tabeli 4.

Tabela 4. Ostale karakteristike procesa zavarivanja

Table 4. Other characteristics of welding process

Aparat za zavarivanje:	Fronius Trans Puls Synergic 4000
Zaštitni gas:	I3-ArHe-30
Protok gasa:	18 l/min
Prečnik šobe:	Ø 12 mm
Rastojanje šobe:	8 – 12 mm
Ugao gorionika:	90 ° , Tehnika "unapred"
Način predgrevanja:	Ne (zagrejano heftanjem)



Slika 1. Izgled zavarenog spoja, lice šava

Figure 1. Appearance of the welded joint, the weld metal face



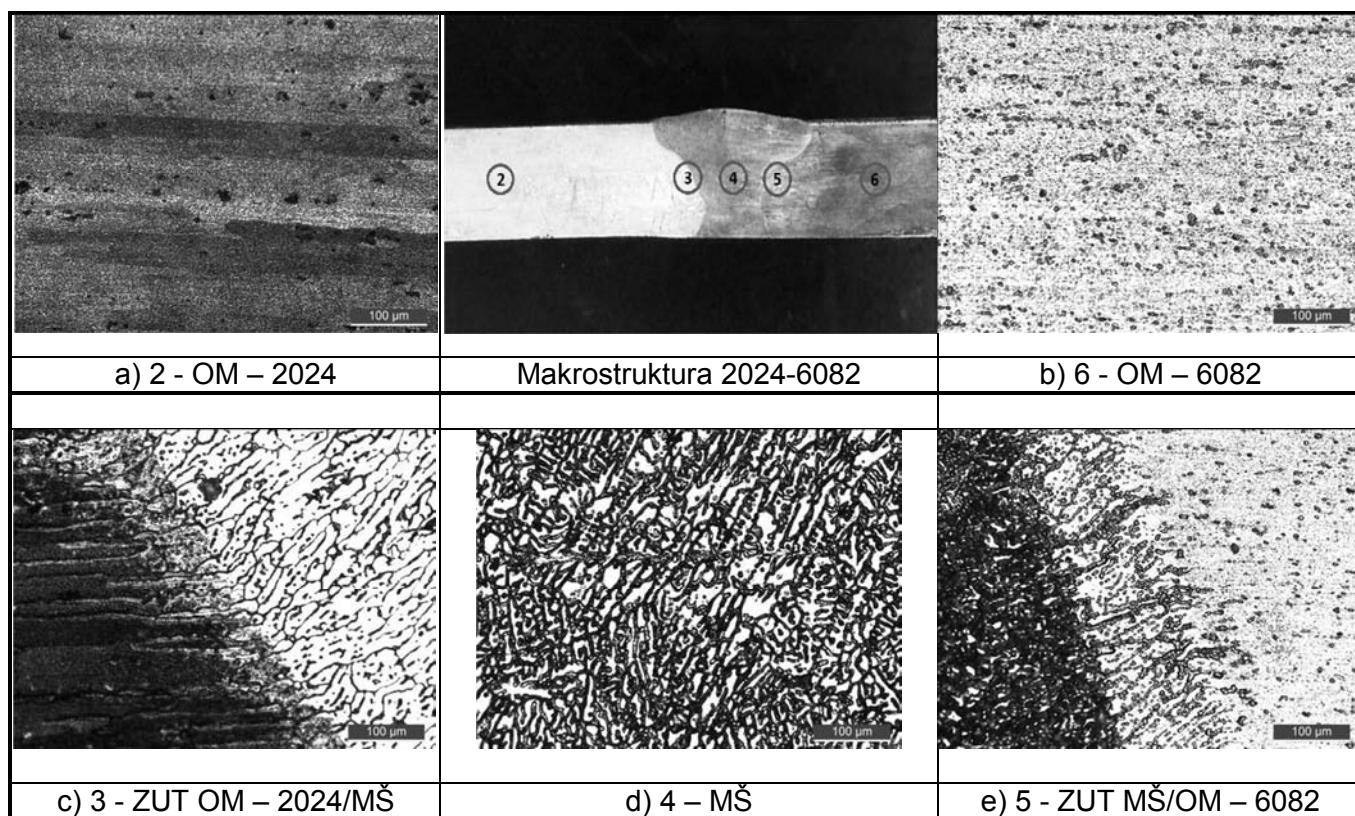
Slika 2. Makrostruktura zavarenog spoja rađenog sa korenom letvom, poprečni presek

Figure 2. Microstructure of a welded joint made with a root lath, cross section



Iz zavarenih uzoraka su isečene epruvete postupkom sečenja vodenim mlazom. Pripremljenu su epruvete za ispitivanje makro- i mikrostrukture zavarenih šavova, za ispitivanje tvrdoće, za ispitivanje udarne žilavosti metodom instrumentiranog Šarpijevog klatna, epruvete za ispitivanje na zatezanje, epruvete za ispitivanje parametara mehanike loma i brzine rasta prsline.

Za analizu mikrostrukture zavarenog spoja korišćen je optički mikroskop Leica Q500MC. Mikrostruktura je ispitivana na poprečnom preseku uzoraka nakon uobičajene metalografske pripreme i nagrizanja u Kelerovom reagensu. Na slici 3 date mikrostrukture zavarenog spoja u zonama osnovnih materijala, zonama uticaja toplote i u metalu šava.

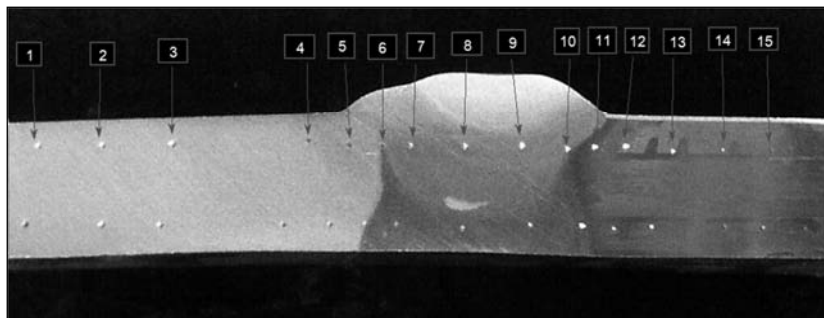


Slika 3. Mikrostruktura zavarenog spoja

Figure 3. Microstructure of the welded joint (OM=BM, ZUT=HAZ, MŠ=WM)

Merenje tvrdoće prema Vickersu je vršeno na uređaju za merenje tvrdoće Willson VH1150. Prema standardnoj proceduri po tri merenja tvrdoće su rađena u osnovnom metalu 2024-T351 (OM1), tri u zoni uticaja toplote (ZUT) na strani

OM1, tri u metalu šava (MŠ), tri u zoni uticaja toplote (ZUT) na strani osnovnog metala 6082-T6 (OM2) i tri u osnovnom metalu 6082-T6. Na slici 4 prikazana su mesta merenja tvrdoće u zavarenom spoju blizu čela i blizu korena spoja.



Slika 4. Mesta merenja tvrdoće na zavarenom spoju

Figure 4. Hardness measuring points on the welded joint



Rezultati merenja tvrdoće dati su u tabeli 5, a dijagram profila tvrdoće sa merenjima duž dva horizontalna pravca blizu čela i blizu korena zavarenog spoja data je na slici 5.

Tabela 4. Rezultati merenja tvrdoće zavarenog spoja blizu korena šava

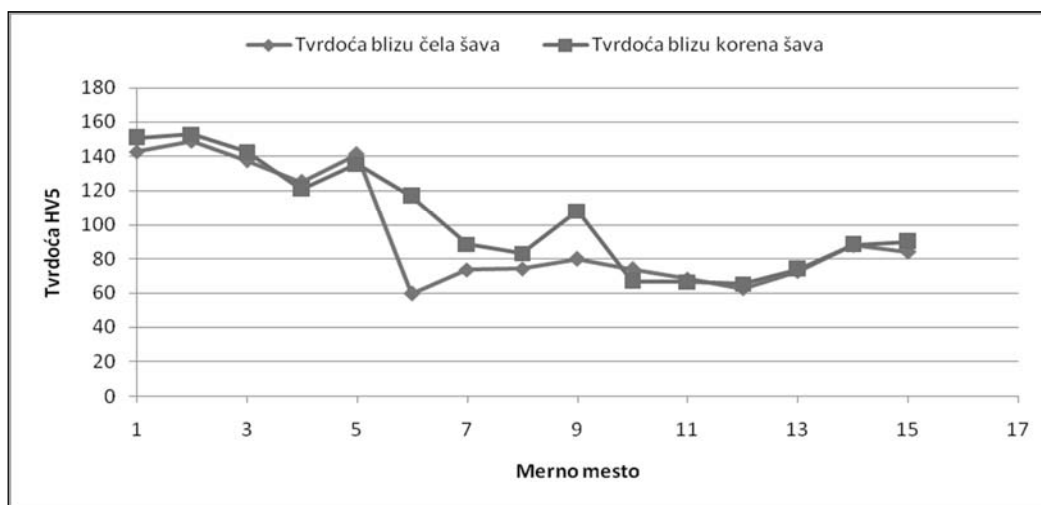
Table 4. Hardness results for welded joint near the root of the seam

Merno mesto	Položaj mesta otiska	Izmerena vrednost (HV)	Merno mesto	Položaj mesta otiska	Izmerena vrednost (HV)
1/16	OM 1	142,7/150,7	9/24	MŠ	80,0/108,1
2/17	OM 1	149,0/152,8	10/25	ZUT 2	73,9/67,0
3/18	OM 1	137,7/142,6	11/26	ZUT 2	68,3/66,7
4/19	ZUT 1	125,0/120,9	12/27	ZUT 2	62,7/65,4
5/20	ZUT 1	141,1/135,6	13/28	OM 2	72,9/74
6/21	ZUT 1	59,7/116,7	14/29	OM 2	87,9/88,3
7/22	MŠ	73,7/88,5	15/30	OM 2	84,1/90,1
8/23	MŠ	74,4/83,3			

OM– osnovni metal = (BM)
 ZUT – zona uticaja toplote = (HAZ)
 MŠ – metal šava = (WM)

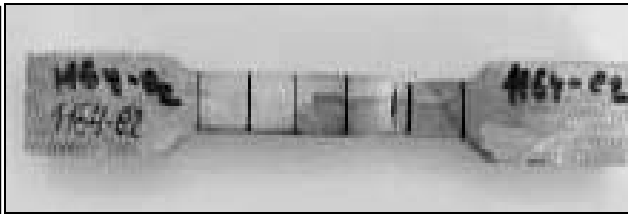
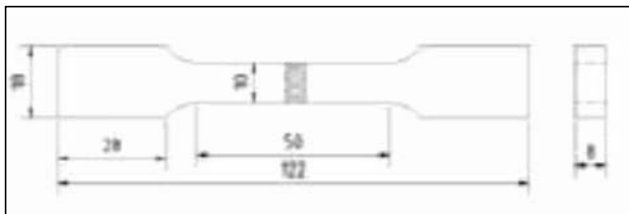
Slika 5. Raspodela tvrdoće kroz sučeonu MIG zavareni spoj legura 2024-T351/6082-T6

Figure 5. Hardness distribution through a butt MIG welded joint of alloys 2024-T351/6082-T6, (OM=BM, ZUT=HAZ, MŠ=WM)



Zatezna svojstva su određena na sobnoj temperaturi korišćenjem kidalice Shimadzu AG-X 300 kN. Korišćene su epruvete definisane standardom ASTM E8M dobijene iz zavarenih

uzoraka upravno na zavareni spoj. Dimenzije epruvete date su na slici 6. Na slici 7 prikazana je epruveta nakon loma.



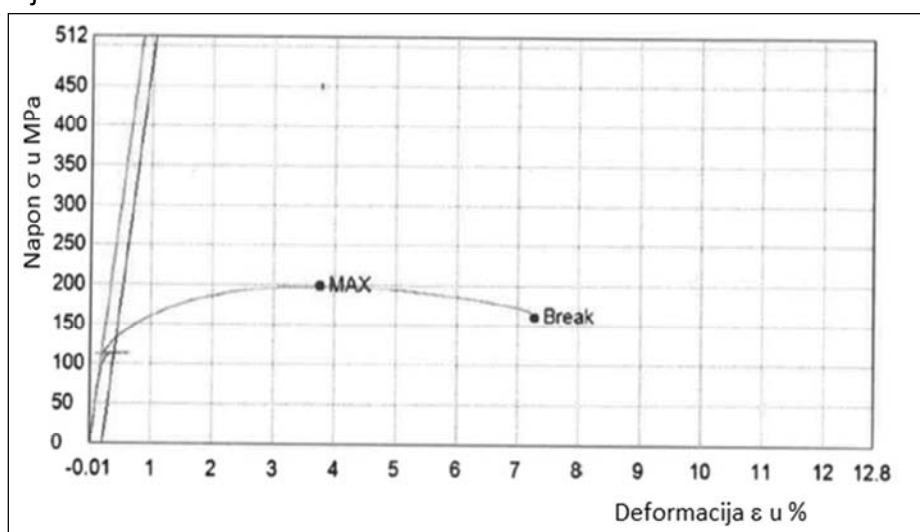
Slika 6. Dimenzije epruvete za ispitivanje na zatezanje

Slika 7. Epruveta nakon ispitivanja na zatezanje

Figure 6. Dimensions of the tensile test sample

Figure 7. Test sample after tensile test

Relacija između napona i deformacije pri ispitivanju na zatezanje data je na slici 8, a rezultat ispitivanja prikazan je u tabeli 5.



Slika 8. Dijagram napon-deformacija

Figure 8. Stress-strain diagram

Tabela 5. Rezultati ispitivanja na zatezanje

Table 5. Tensile test results

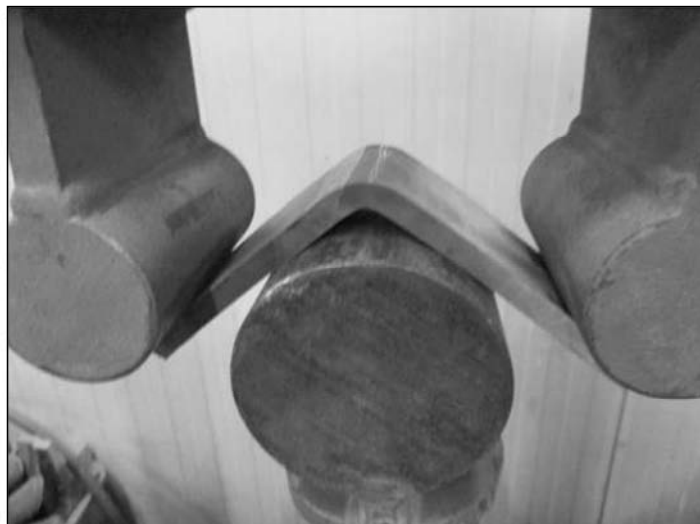
Dimenzije uzorka	Početna merna dužina	Granica tečenja $R_{p0,2}$ [MPa]	Zatezna čvrstoća R_m [MPa]	Izduženje posle prekida A_{50} [%]
8x10	50	113	198	7,3

Testovi savijanja korena i lica zavarenog spoja su data na slici 9 i 10. Test je vršen u uslovima sobne temperature primenom metode savijanja u tri tačke.



Slika 9. Savijanje korena zavarenog spoja

Figure 9. Bending of the root of the welded joint



Slika 10. Savijanje lica zavarenog spoja

Figure 10. Bending of the face of the welded joint

3. Diskusija rezultata

U ovom radu sprovedena su makrostrukturna, mikrostrukturna i mehanička ispitivanje svojstva zavarenog šava kojim su spojeni različiti materijali AA 2024-T351, koji je gotovo nezavariv klasičnim postupcima zavarivanja i AA 6082-T6 dobro zavariva legura. Zavarivanje izvršeno MIG postupkom u zoni zaštitnog gasa mešavine Ar i He sa dodatnim materijalom 4043A.

Mikrostruktura OM1 - legure aluminijuma 2024-T351 prikazana je na slici 3a. Na uzorku su uočena izdužena zrna u pravcu valjanja. Prisutne su čestice sitnog taloga.

Mikrostruktura OM2 – legure aluminijuma 6082-T6, prikazane na slici 3b. Na uzorku se uočava IMF izdvojen u obliku krupnijih čestica u smeru valjanja i sitne čestice taloga nastale u procesu starenja.

Unosom toplote spajaju se osnovni metali i dodatni metal, te se stvara zona metala šava sa strukturom koja je drugačija od strukture osnovnih metala. Veći procenat silicijuma (oko 5%) u hemijskom sastavu dodatnog materijala je koristan za povećanje duktilnosti zavarene strukture. Zona topljenja, ili oblast metala šava, nastaje popunjavanjem prethodno pripremljenog žleba rastopljenim dodatnim materijalom. Po završetku očvršćavanja metal šava ima karakterističnu strukturu livenja. Sloj koji poslednji očvršćava ima izrazito dendritnu strukturu, za koju je karakteristična pojava likvacije, tj. lokalne hemijske nehomogenosti, zbog nedostatka vremena za

difuziju atoma legirajućih elemenata. Na slici 3d prikazana je mikrostruktura metala šava. Uočavaju se čestice taloga izdvojene po granicama zrna. Zrna su različitih veličina i imaju usmerenu orijentaciju, saglasno [7].

Na slici 3e data je mikrostruktura ZUT-a između metala šava i osnovnog metala 6082 T6. U MŠ do ZUT-a prisutna je uska zona stubastih kristala. Talog je izdvojen po granicama zrna i unutar zrna u krupnoj formi. Talog u ZUT-u je izdvojen nasumično kao globularne krupne čestice. Na slici 3c data je mikrostruktura ZUT-a između metala šava i osnovnog metala 2024 T351. U ZUT-u talog je izdvojen po granicama zrna. U MŠ do ZUT-a talog je izdvojen po granicama zrna stubaste orijentacije.

Što se tiče mehaničkih svojstava sučeonog zavarenog spoja 2024-T351/6082-T6, legura 2024-T351 ima mehanička svojstva (zatezna čvrstoća i granica tečenja) kao konstrukcioni čelici. Mehanička svojstva ove legure su značajno veća od svojstava 6082-T6 zbog efekta bakra koji povećava čvrstoću.

Mikrostruktura metala šava dobijena MIG postupkom zavarivanja se značajno razlikuje od mikrostrukture osnovnih metala, pa saglasno tome su i mehanička svojstva zavarenog spoja manja od mehaničkih svojstava osnovnih metala. Ispitivanjem na zatezanje je uočena i manja duktilnost.

Presek površine loma epruvete za ispitivanje na zatezanje prikazan je na slici 7. Lokacija loma je u OM2 – 6082-T6. Rezultati ispitivanja na savijanje



ukazuju na loša tehnološka svojstva zavarenih spojeva. Mali ugao savijanja do pojave prsline ukazuje da su zavareni spojevi veoma kruti saglasno [7, 8, 9 i 10].

Tvrdoća metala šava, mereno blizu čela i blizu korena je oko 80 HV, što je manje u odnosu na mekši osnovni metal 6082-T6 koji ima tvrdoću oko

4. Zaključak

Na osnovu napred navedenog može se zaključiti:

- Maksimalna zatezna čvrstoća zavarenog spoja je (198 MPa) u poređenju sa (310 MPa) legure 6082-T6 koji je slabiji materijal zavarenog spoja, odnosno smanjenje čvrstoće je oko (36%).
- Utvrđeno je da se lom epruvete ispitivane na zatezanje dogodio na strani legure aluminijuma 6082-T6.
- Tvrdoća metala šava je 55% niža u odnosu na tvrdoću osnovnog metala 2024-T351.
- Za poboljšanje performansi zavarenih spojeva različitih legura aluminijuma 2024-T351 i 6082-T6 moraju se odabrati optimalni parametri zavarivanja.

Zahvalnost

Ovaj istraživački rad finansijski je podržalo Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije (Ugovor br. 451-03-68/2022-14/200109).

Ovaj rad je rezultat istraživanja u okviru bilateralnog projekta sa Republikom Slovenijom "Obezbeđenje visoke pouzdanosti aluminijumskih struktura i njihovih delova u transportnoj tehnici" u projektnom ciklusu 2020-2022 (br.projekta 337-00-21/2020-09/48).

References / Literatura

- [1] Metals Handbook, (1997), Vol. 6: Welding, Brazing and Soldering, ASM Metals Park, Ohio.
- [2] Molian, P. A., Srivatsan, T. S. (1990), Weldability of aluminium-lithium alloy 2090 using laser welding, J. Mater. Sci., 25, 7, 3347–3358.
- [3] A. Heinz, A. Haszler, C. Keidel, S. Moldenhauer, R. Benedictus, and W. Miller, (2000), "Recent development in aluminium alloys for aerospace applications", Mater. Sci. Eng. A, 280, 1, 102–107.

90 HV, a značajno manje u odnosu na osnovni metal 2024-T351, koji ima tvrdoću oko 150 HV. Tvrdoća ZUT-a prema osnovnom metalu 6082-T6 je oko 60HV, manja nego u zoni metala šava zbog rasta zrna u ovoj zoni. Na drugoj strani, ZUT prema osnovnom metalu 2024-T351 ima tvrdoću oko 120 HV.

4. Conclusion

Based on the results of the performed investigation, it can be concluded:

- The maximum tensile strenght od welded joint is (198 MPa) compared to (310 MPa) alloy 6082-T6 which is a weaker welded joint material, so the reduction in strenght is about (36%).
- The fracture of the tensile test sample was found to occur on the 6082-T6 aluminium alloy side.
- Weld metal hardness is 55% lower than base metal hardness 2024-T351.
- To improve the performance of welded joints of different aluminium alloys 2024-T351 and 6082-T6, optimal welding parameters must be selected.

Acknowledgment

This research work was financially supported by the ministry of education, science and technological development of the Republic of Serbia (contract no. 451-03-68/2022-14/ 200109).

This work is the result of research within the bilateral project with the republic of Slovenia "Ensuring high reliability of aluminium structures and their parts in transport technology" in the project cycle 2020-2022 (project no. 337-00-21/2020-09/48).

- [4] Milcic, M., Vuherer, T., Radisavljevic, I., Milcic, D. (2019). Experimental Investigation of Mechanical Properties on Friction Stir Welded Aluminum 2024 Alloy. Springer Nature Switzerland AG 2019, N. Mitrovic et al. (Eds.): CNNTech 2018, LNNS 54, 44-58.

- [5] Milcic, M., Vuherer, T., Radisavljevic, I., Milcic, D., Kramberger, J. (2019), The influence of process parameters on the mechanical properties of friction stir welded joints



[6] ASM Handbook, (1990), Vol.2 - Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Special-Purpose Materials, Edition Metals Handbook, ASM International 10th Ed.

[7] Nawres Jabar Nasser, (2016), Mechanical Properties of MIG Joints for Dissimilar Aluminum Alloys (2024-T351 and 6061-T651), Al-Khwarizmi Engineering Journal, 12, 3, 121- 128.

[8] Cavaliere, P., Nobile, R., Panella, F. W., Squillace, A. (2005), Mechanical and microstructural behavior of 2024-7075aluminum alloy sheets joined by friction stir welding, International Journal of Machine Tools and Manufacture 46, 588-594.

[9] Muafaq, M. S. (2005), Studying the effect of joint design, angle and heat treatment on mechanical properties of the aluminum alloy weldments (7020-T6) by MIG process, Master Thesis, Technical College/Baghdad.

[10] Missori, S., Sili, A. (2000), Mechanical behavior of 6082-T6 aluminum alloy welds, Metallurgical Science and Technology, 18, 12-18.



Ispitivanje Materijala Zavarenih Spojeva & Betonskog Čelika

www.sigmalab.rs