

BUNIĆ S.¹, MALINOVIĆ B.¹, RISTIČEVIĆ S.¹
 DAVIDOVIĆ Đ.², ZRILIĆ R.², MAKSIMOVIĆ M.²
 PAVLOVIĆ M.³, DAVIDOVIĆ M.⁴, MITRIĆ M.⁴

Originalni naučni rad
 UDC: 620.186Č669.14'71=861

Ispitivanje eksplozijom osvarenog međuspoja bimetala Al/čelik

U radu je prikazan način eksplozivnog spajanja (plakiranje) sistema Č 0361 i Al 99,5 i rezultati istraživanja mikrostrukture. SEM analizom određena je debljina i težinski sastav međuspoja, a RTG strukturnom analizom ispitivano prisustvo nove faze.

Ključne riječi: eksplozivno zavarivanje, veza međuspoja, međuspoj Al/čelik, nova faza

1. UVOD

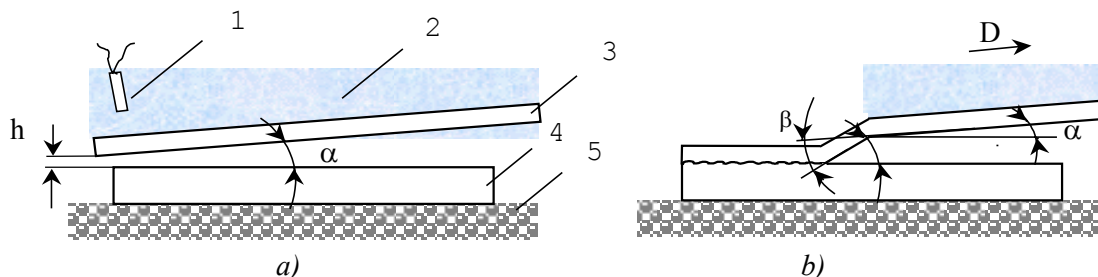
Kod svih sistema metala koji se spajaju eksplozijom (plakiraju), pa tako i sistema čelik (Č) – aluminijum (Al), postoje kritične granice oblasti spajanja eksplozijom [1,2]. Fizičko tumačenje univerzalnog postupka zavarivanja eksplozijom još nije definisano. Eksperimentalno su određeni kinetički, fizički i tehnološki parametri spajanja čelika i aluminijuma [3,4].

2. EKSPERIMENTALNI DIO

Šema spajanja (plakiranja) sistema Al/Č je prikazana slikom 1. Na pripremljenu podlogu (5), po-

stavi se bazna (Č) ploča (4), te na rastojanju (h) i uglom (α) postavi se gornja ploča (Al) (3). Na gornju ploču postavlja se niskobrizantni eksploziv (2) određene brzine detonacije (D), koji se inicira kaspisom (1).

Vršena je analiza eksperimentalno dobijenih podataka u cilju određivanja kritičnih granica oblasti spajanja na površini koordinata γ (ugao sudara) - V_k (brzina tačke kontakta) za različite brzine detonacije eksploziva. Ova analiza je pokazala da je oblast spajanja karakteristična za sistem čelik-aluminijum u rasponu izmjena parametara $2.000\text{ m/s} \leq V_k \leq 2.300\text{ m/s}$, [5,6]



Slika 1 - Prikaz plakiranja pod uglom leteće ploče; a) položaj prije spajanja, b) sistem u toku spajanja

Radi obezbjeđivanja jedinjenja pri spajanju eksplozivom potrebno je zadovoljiti osnovni kriterij [1]:

$$V_k < C_z \quad (1)$$

gdje je: C_z brzina prostiranja zvuka u metalimakoji se spajaju.

Korištenjem energije eksplozije kod plakiranog sistema u blizini granice spoja dolazi do otvrdnjavanja materijala koji se spajaju, jednog ili oba metala u spoju [6].

Za eksperimentalne svrhe korištene su dimenzije čelika (20-200) x 1000 x 2000 mm i Al debljine 1-20 mm. Kvalitet baznog materijala je Č 0361 (RSt 37-2, hemijski sastav: C 0,13-0,15, Mn 0,45-0,55, Si 0,15-0,25, P 0,020 max, S 0,20, Al 0,02 max.), a plakirajućeg Al 99,5 (hemijski sastav: Fe 0,40, Zn 0,02, zajedno: Cu, Mn, Si, i Pb 0,01). Gornja ploča (leteća) je Al. Plakiranje (spajanje, eksplozivno zavarivanje) ploča u početnom stanju je pod uglom. Razmak je oko dvije (2) debljine leteće ploče. Ugao spajanja je u rasponu od 15 – 23°, zavisno od brzine detonacije eksploziva i pripreme bazne ploče. Unesena količina eksploziva proizvodi pritisak na gornju ploču od oko 6 GPa, i temperaturu od 900 °C [7].

Adresa autora: ¹UNIS Institut, PJ Banja Luka, Rep. Srpska, ²Univerzitet u Banjaluci, Rep. Srpska, ³Univerzitet I. Sarajevo, Tehnološki fakultet Zvornik, Rep. Srpska, ⁴Institut za nuklearne nauke - Vinča, Srbija

Zbog komercijalne zaštite samoga postupka plakiranja kombinacije čelik- aluminijum u radu nisu izneseni, "precizni detalji" postupka, već navedene opšte naznake.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

3.1. Ispitivanje kvaliteta spojenosti bimetalna čelik-aluminij

Linija spoja čelik-aluminijuma je talasastog oblika. Visina amplitude talasastog spoja zavisi od parametara spajanja.

Bimetal je ispitivan sa UZ-defektoskopom i UZ-sondom. Na osnovu snimljenih ehograma gledano na visinu odjeka od spojne zone evidentno je ostvarenost spoja po čitavoj spojnoj površini. Kvaliteta spoja nije ravnomjerna po čitavoj spojnoj površini što se zaključuje na osnovu otklona na ekranu. Po rubovima uzorka do 20 mm je uočena nespojenost.

Ispitivanje zatezne čvrstoće je vršeno prema prihvaćenim standardima proizvođača aluminijuma (Aluminijum PECHINEY br. 322.71/13.01). Iz dobijenih rezultata kao i drugih radova je vidljivo da čvrstoća spoja varira u intervalu koji približno odgovara čvrstoći Al 99,5 pa čak i prelazi njegovu čvrstoću [8].

Tabela 1 - Rezultati ispitivanja zatezne čvrstoće bimetalna čelik-aluminijum

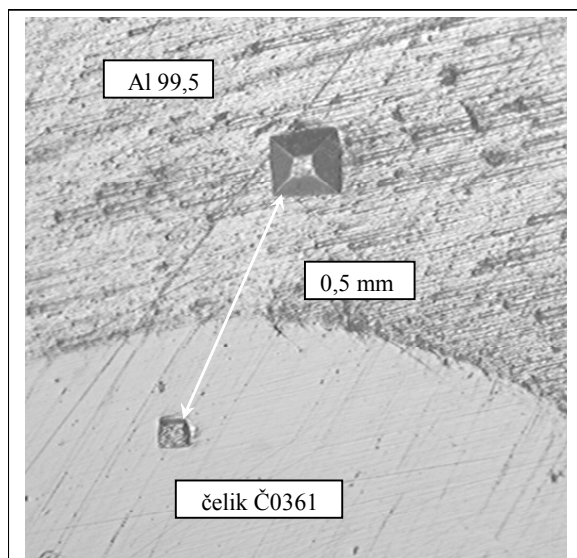
Red. broj	Oznaka uzorka	Zatezna čvrstoća (N/mm ²)	
		Dostavno	žareno na 300 ⁰ S, 24 sata i prirodno hladeno
1	A1	87,5	66,6
2	A2	102,7	70,3
3	A3	107,8	71,8

3.2. Mikrostruktura

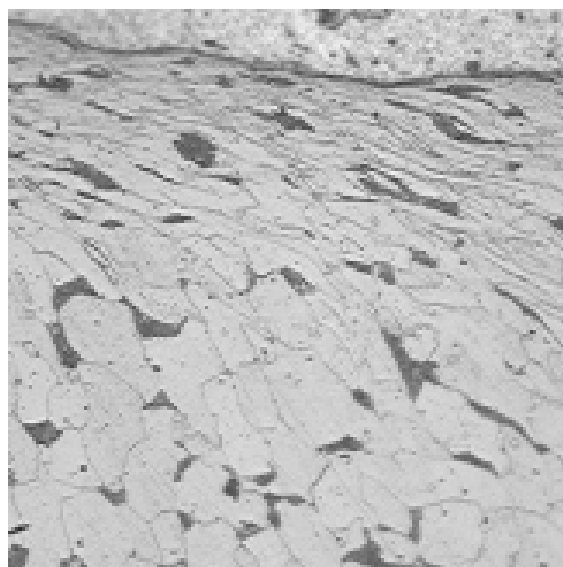
Za određivanje mikrostrukture korišten je optički mikroskop ZEISS Axiovert 25 te AXIOPLAN. Za pripremu uzorka korištena su sljedeća sredstva za nagrizanje :

- 3% Nital (nagrizanje čelika)
- Kelerov reagens (nagrizanje aluminija)

Na sljedećim slikama su prikazane granice spoja uz različita uvećanja.



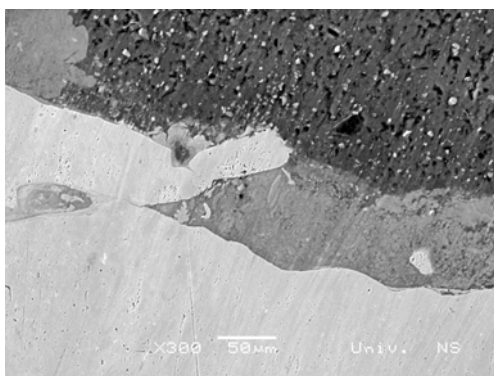
Slika 2 - Prikaz sl. mikrotvrdoće



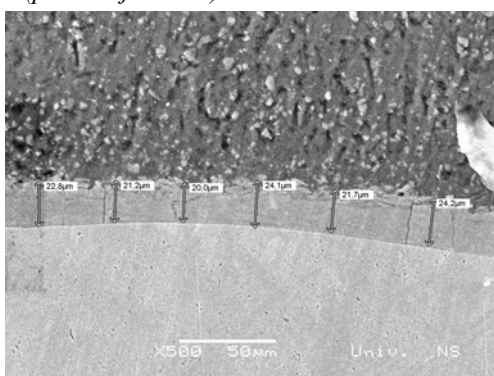
Slika 3 - Spoj Č-Al uvećanje 200X

3.3. Skenirajuća elektronska mikroskopija (SEM-scanning electron microscope)

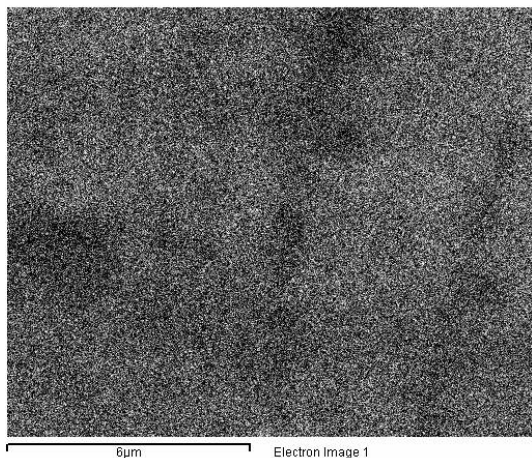
Uzorci su pripremljeni poliranjem. Ispitivanje spoja čelika sa aluminijumom vršeno je na mikroskopu oznake JEOL JSM – 6460LV. Proizvođač analizatora sa kojim je radeno je OXFORD Instruments a softver za obradu podataka INCASight. Srednja debljina ispitivanog međuspoja je 22.18 μm, sa standardnom devijacijom 2,15. Rezultati su prikazani kroz grafički odnos težinskog učešća elemenata sa tabelarnim prikazom težinskog i atomskog prisustva pojedinih elemenata u selektovanom području kod pojedinih mjerenja. Na svim priloženim slikama u ovome dijelu rada Al je tamnije nijanse, a Fe svjetlije nijanse.



Slika 4 - Izgled zone spoja uzorka sa livenim uključkom (povećanje 300 X)



Slika 5 - Izgled zone spoja uzorka sa prikazanom debljinom (povećanje 500 X)

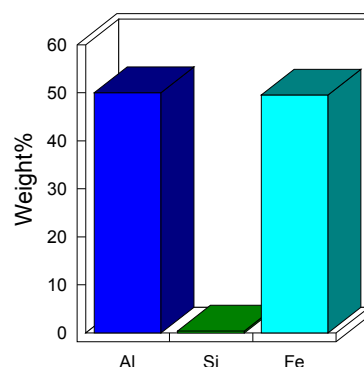


Slika 6 - Prikaz ispitivanog uzorka 2 oznake uz 2 Al Fe 4, zona međuspoja

Tabela 2 - Uzorak 1 oznake Al Fe 04 sa prikazom težinskog i atomskog udjela elemenata u selektovanom području

Element	Približna koncentracija	Korekcija broja intenziteta	tež.%	tež.%	Atom. %
				(greška)	
Al	31.59	0.5866	49.73	0.12	67.19
Fe	50.82	0.9337	50.27	0.12	32.81
Ukupno			100.00		

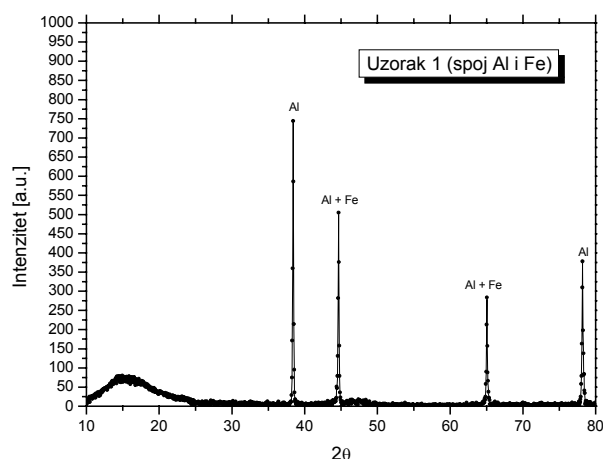
Quantitative results



Slika 7 - Prikaz rezultata težinskog udjela elemenata pod oznakom uz 2 Al Fe 04

3.1. Rentgenska strukturalna analiza

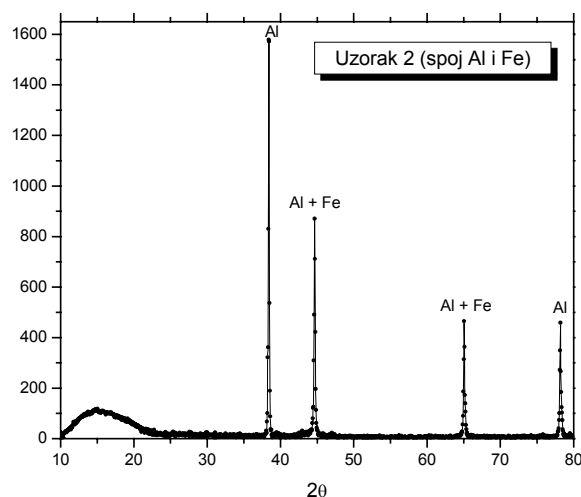
Granična površ eksplozijom spojenog Al/Fe nije ravna te je praktično bilo nemoguće odvojiti samo granični sloj bez polaznih materijala. Zato se na konačnom difraktogramu uzoraka uzetih sa granične površi praktično vidi smješa aluminijuma, α -gvožđa i graničnog sloja. Udio ovih komponenti zavisi od načina i mjesta sa kojeg je uzet uzorak. Da bi stekli neku opštu sliku o strukturi graničnog sloja uzorci su uzimani sa više mjesta i za svaki od njih je snimljen difraktogram. Difraktogrami dva najkarakterističnija uzorka prikazani su na slikama 8 i 9.



Slika 8 - Difraktogram uzorka uzetog iz dijela graničnog sloja aluminijuma i gvožđa (uzorak 1). Difrakcioni maksimumi su identifikovani i označeni odgovarajućim simbolom

Na difraktogramima se jasno može uočiti prisustvo uskih difrakcionih maksimuma polaznih materijala (aluminijuma i α -gvožđa) i oni su na slici identifikovani. Pored njih, na pomenutim slikama na malim uglovima se jasno uočava široki difrakcioni maksimum sa položajem na 2θ -skali od oko 15° . Ovaj široki difrakcioni maksimum odgo-

vara amorfizovanoj strukturi graničnog sloja. Pored širokog difrakcionog maksimuma koji odgovara amorfnoj fazi nisu uočeni nikakvi drugi difrakcioni maksimumi koji bi odgovarali nekoj novoj kristalnoj fazi koja je eventualno nastala u graničnom sloju.



Slika 9 - Difraktogram uzorka uzetog iz dijela graničnog sloja aluminijuma i gvožđa (uzorak 2). Difrakcioni maksimumi su identifikovani i označeni odgovarajućim simbolom

Međutim, difrakciona mjerenja ne isključuju postojanje nekih novih faza u graničnom sloju i to iz sljedećih razloga: difrakciona mjerenja ne mogu da konstatuju prisustvo neke faze manje od 1% a kako je praktično nemoguće izdvojiti materijal iz samog graničnog sloja postoji vjerovatnoća da u uzetom uzorku bude neka nova faza u vrlo malom udjelu koja se ne može detektovati.

ZAKLJUČAK

1. Sva mehanička mjerenja spojenosti Al/Fe zadovoljavaju standarde koja su prihvaćena od strane proizvođača aluminijuma (Aluminijum PECHINEY br. 322.71/13.01).

2. Metalografskim pregledom spoja opaža se u Č.0361 u zoni i blizini veze sa Al da ima strukturu feritno-perlitna, dok se kod aluminijuma u blizini zone spoja opaža rekristalizacija zrna.

3. Na strani granice spoja čelika je uočljiva deformacija zrna koja su izdužena u smjeru prostira-

nja talasa detonacije, odnosno smjera formiranja samoga spoja.

4. Skenirajućom elektronskom mikroskopijom je otkriveno da međusloj nastao u procesu plakiranja ima širinu $22,18 \cdot 10^{-6}$ m,

5. Težinski omjer Fe i Al u ukupno izmjerenom međuspoju je približno isti. Udio svakog elementa ponaosob opada u smjeru prema granici sa drugim u spoju.

6. RTG strukturnom analizom je registrovano prisustvo amorfne strukture, što ne isključuje postojanje nekih novih faza u nastalom međuspoju Al/Fe.

5. LITERATURA

- [1] J. A. Konon, L. B. Pervuhin, A. D. Čudnovski, Svarka vzrivom "Mašinstroene", Moskva, 1987.
- [2] S. Bunić, S. Baltić, i dr.; Izvještaj o spajanju čelika i aluminijuma eksplozijom sa ciljem eliminisanja difuzije na granici spoja; Projekat finansiran od strane Vlade Republike Srpske-Ministarstva za nauku i tehnologiju, 2003. god.
- [3] S. Bunić, R. Zrilić, Đ. Davidović, J. Manić i dr. "Analiza sloja eksplozijom plakiranog Al sa čelikom"; 6TH Scientific/research symposium with international participation, „metalni i nemetalni anorganski materijali“, Zenica 27th-28th April 2006.
- [4] S. Bunić; "Spajanje čelika i olova eksplozijom"-magistarski rad; Tehnološki fakultet; Banjaluka, 2000.
- [5] S. Bunić, Đ. Davidović, R. Zrilić; Spajanje materijala eksplozijom, eksperimentalni rad; Glasnik hemičara i tehnologa Republike Srpske, 45 (2003) 113-119;
- [6] S. Bunić, Đ. Davidović, R. Zrilić, „Stahl-und aluminiumplattierung durch die explosivenergie“, Izlaganje na Međunarodnom kongresu u Permu, Rusija, Zavarivanje i kontrola 2004., 17-20 maj 2004.
- [7] B. A. Grinberg i dr. „Bimetallic Junctions of Orthorhombic Titanium Aluminide with a Titanium Alloy“, The physics of metals and metallography, (2005) Vol. 99 No. 2.
- [8] O. Miletić, M. Todić, S. Bunić, „Position effect of the composition layer during punching and stamping out“, Slavjanovskije čtenija; 589-595, Lipeck 2004. god.

ABSTRACT

In the paper is illustrated the mode of process explosive cladding of system Al/steel and the results research of microstructure. SEM analyses define the thickness and weight bonding interface and X-ray diffraction analyse was investigated attendance of new phase.

Key words: *explosive cladding, bonding interface, interfaces of Al/steel, new phase.*