

Behar Alić¹, Sead Pašić², Edin Džihović²

SOME EFFECTS OF THE NITROGEN INTRODUCTION IN ARGON SHIELDING GAS IN TIG WELDING OF STAINLESS STEELS

NEKI EFEKTI UVOĐENJA AZOTA U ARGON ZAŠTITNI GAS KOD TIG ZAVARIVANJA NERĐAJUĆIH ČELIKA

Originalni naučni rad / Original scientific paper**Rad primljen / Paper received:**

Januar 2017.

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa savetovanja „ZAVARIVANJE 2016“ održanog na Srebrnom jezeru 14-17. Septembra 2016

Ključne reči: austenitni nerđajući čelik, metal šava, zaštitni gas, azot

Rezime

U slučaju austenitnih nerđajućih čelika, azot se može smatrati legirajućim elementom. Jedan od razloga je to što azot, kao intersticijski rastvoren u kristalnoj rešeci železa, doprinosi poboljšanju zateznih karakteristika, prvenstveno napona tečenja. Dodatno, zahvaljujući svom jakom austenitotvornom delovanju doprinosi povećanju stabilnosti austenita, čime je omogućena delimična supstitucija skupog i deficitarnog nikla. Legiranjem metala šava austenitnih nerđajućih čelika azotom moguće je uticati na njegove osobine. Kod postupaka zavarivanja sa gasnom zaštitom, metal šava se može legirati i putem dodavanja azota u zaštitni gas. U ovom radu su razmotreni neki od efekata dodavanja azota u argon zaštitni gas kod TIG zavarivanja austenitnog nerđajućeg čelika X5 CrNi 18 10.

1. UVOD

Azot se rastvara u čeliku već pri relativno niskim temperaturama (500 – 600 °C), a sa daljim rastom temperature raste i intenzitet apsorpcije azota [1]. U ravnotežnim uslovima, apsorpcija azota se pokorava Sivertovom zakonu, prema kojem je količina apsorbovanog azota proporcionalna kvadratnom korenu njegovog parcijalnog pritiska u atmosferi iznad tečnog metala, a maksimalna rastvorivost azota u tečnom železu pri pritisku 0,1 MPa (1atm) i temperaturi 1809 K (tačka topljenja železa) iznosi 0,0445 %_{mas.} U uslovima koji vladaju u stubu električnog luka, pri temperaturama 5000-7000 K, dolazi do disocijacije dvoatomnih gasova na jednoatomne [2, 3]. Kinetička energija jonizovanog azota je viša od drugih njegovih oblika, zbog čega se kao takav laše rastvara u železu, pa

Adresa autora / Author's address:

¹ Metalurški institut "Kemal Kapetanović", Travnička 7, Zenica
 behar.alic@miz.unze.ba

² Mašinski fakultet, Univerzitetski kampus, Mostar
 sead.pasic@unmo.ba, edin.dziho@unmo.ba

Key words: austenitic stainless steel, weld metal, shielding gas, nitrogen

Abstract

In the case of austenitic stainless steels, nitrogen can be considered as alloying element. One reason is that the nitrogen, interstitially dissolved in the crystal lattice of iron contributes to improved tensile properties, primarily of the yield point. In addition, thanks to its strong austenite forming action contributes to increasing the stability of austenite, thereby enabling partial substitution of expensive and scarce nickel. Alloying of the weld metal of austenitic stainless steels with nitrogen can affect its properties. In welding processes with gas protection, weld metal can also be alloyed through the addition of nitrogen in the shielding gas. This paper discusses some of the effects of the addition of nitrogen in argon shielding gas at TIG welding of austenitic stainless steel X5 CrNi 18 10.

je rastvorivost azota pod TIG električnim lukom više direktno proporcionalna parcijalnom pritisku azota u zaštitnoj atmosferi. Zbog toga se, u ovom slučaju, u metalu šava mogu postići viši sadržaji azota, između 0,07 i 0,2 % [3]. Kao jak austenitotvorni element, čiji stabilizirajući efekat je 20 do 30 puta jači nego efekat nikla, azot izuzetno doprinosi stabilizaciji austenitne strukture, odnosno smanjenju sadržaja delta ferita u strukturi metala šava austenitnih nerđajućih čelika [4]. Međutim, obzirom da se kod sadržaja delta ferita ispod 2-3 % uočava pojava toplih pukotina, poželjno je prisustvo delta ferita u metalu šava austenitnih nerđajućih čelika 3 do 10 % [1]. Azot ima pozitivan uticaj na povećanje mehaničkih osobina: zatezne čvrstoće, napona tečenja, otpornosti na puzanje i žilavost [4,



5]. Povećanje navedenih mehaničkih osobina rezultat je prvenstveno ojačavanja čvrstim rastvorom, u kojem je azot prisutan kao intersticijski rastvoren element.

2. EKSPERIMENT

Ispitni komadi za eksperiment su izrađeni zavarivanjem TIG postupkom zavarivanja, pri čemu su, kao zaštitni gas korišteni čisti argon, te smese argona sa 1,25 i 2,50 % azota. U skladu sa sadržajem azota u zaštitnom gasu izvršeno je označavanje ispitnih komada, kako sledi:

AN0 – ispitni komad zavaren uz primenu čistog argona (0,00 % azota u argonu)

AN1 – ispitni komad zavaren uz primenu smjese argona sa 1,25 % azota

AN2 – ispitni komad zavaren uz primenu smjese argona sa 2,50 % azota

Zavarivanje je sprovedeno uz primenu uređaja za zavarivanje sa automatskim dodavanjem dodatnog materijala u vidu žice. Za izradu ispitnih komada, korišten je lim iz austenitnog nerđajućeg čelika sa oznakom X5CrNi 18 10, u skladu sa standardom EN 10088-2 (AISI 304, u skladu sa ASTM). Standardom propisani hemijski sastav navedenog čelika i hemijski sastav lima korištenog za izradu ispitnih komada, dati su u tabeli 1.

Oznaka (Standard)	Hemijski elementi, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	N
X5CrNi 18 10 (EN 10088-2)	max. 0,07	max. 1,00	max. 2,00	max. 0,045	max. 0,030	17,5÷19,5	8,0÷10,5	---	≤ 0,11
Strugotina iz ploče	0,04	0,34	1,20	0,007	0,006	18,8	9,5	0,22	0,050

Tabela 1. Uporedni hemijski sastav čelika X5CrNi 18 10 u skladu sa standardom i materijala lima

Kao dodatni materijal korištena je žica promera 1,2 mm, proizvođača Askaynak, sa oznakom MW 308LSi (G 19 9 LSi prema EN 12072). Prosečni

(kataloški) hemijski sastav žice i hemijski sastav uzorka uzetog iz kotura žice, dati su u tabeli 2.

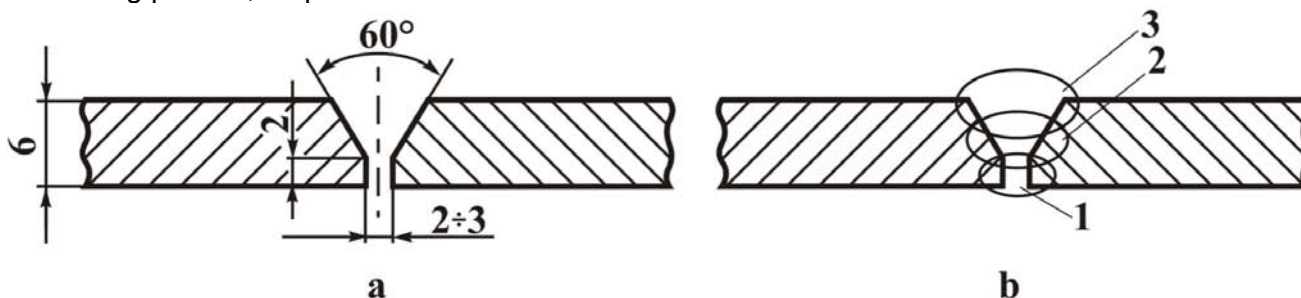
Oznaka	Hemijski elementi, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	
Kataloške vrijednosti	max. 0,03	0,85	1,70	P + S < 0,035		20,0	10,0	0,15	
Uzorak žice	0,03	0,80	1,90	0,007	0,007	20,1	9,90	0,07	

Tabela 2. Prosečan (kataloški) i hemijski sastava realnog uzorka žice

Zavarivanje je provedeno uz primenu slijedećih parametara zavarivanja

- struja zavarivanja: 130 A,
- brzina zavarivanja: 5 cm/min, za svaki prolaz i
- brzina dotura dodatnog materijala (žice): 0.30, 0.26 i 0.18 m/min kod prvog, drugog i trećeg prolaza, respektivno.

Napon (dužina) luka je održavan na približno istom nivou, a pošto je prije zavarivanja narednog prolaza ispitni komad prethodno potpuno ohlađen, međuslojna temperatura je odgovarala temperaturi okoline. Oblik i dimenzije žleba i redosled zavarivanja su prikazani na slici 1.



Slika 1. Žleb za zavarivanje (a) i redosled zavarivanja (b) ispitnih komada



Nakon zavarivanja, na ispitnim komadima je izvršeno merenje feritnog broja – FN (sadržaja delta ferita). Merenje je izvršeno na svakih 20 mm po osi metala šava, po dužini zavarenog spoja. Nakon merenja feritnog broja izvršeno je uzimanje strugotine za hemijsku analizu, također duž ose šava, te su izrezani segmenti za izradu epruveta za mehanička ispitivanja.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati hemijske analize dati su u tabeli 3., u kojoj su navedeni i podaci o ekvivalentnom sadržaju hroma ($Cr_{eq.}$) i nikla ($Ni_{eq.}$), dobijeni izračunavanjem korištenjem sledećih jednačina [5]:

$$Cr_{eq.} = Cr + Mo + 0,7 Nb \quad (1)$$

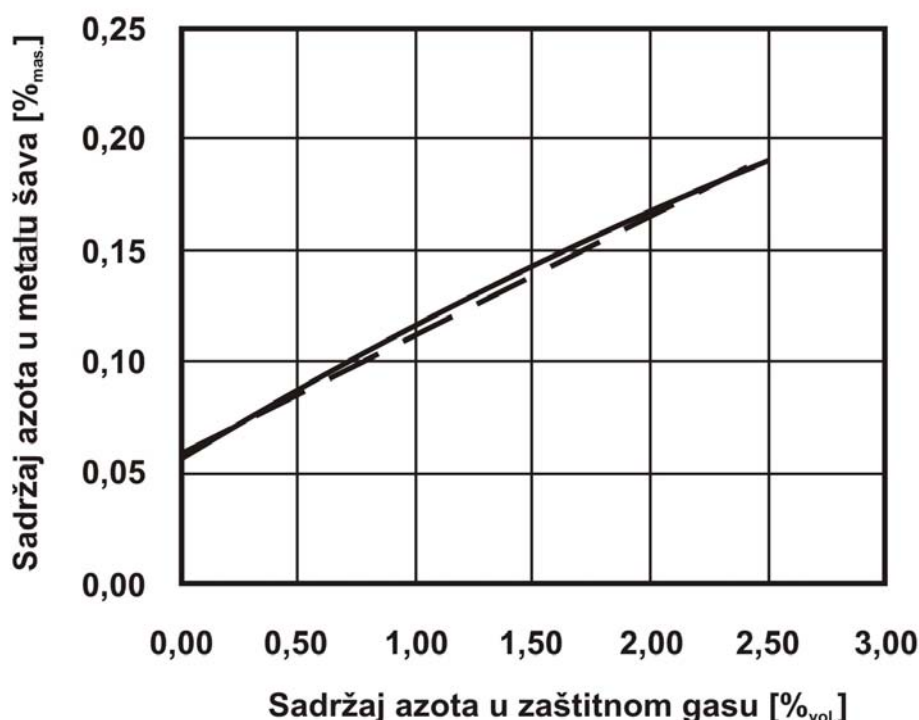
$$Ni_{eq.} = Ni + 35 C + 20 N + 0,25 Cu \quad (2)$$

Red. broj	Oznaka uzorka	Hemijski sastav [% _{mas.}]							Ekviv. Sadržaj	
		C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N	$Cr_{eq.}$	$Ni_{eq.}$
1.	AN0	0,023	0,51	1,50	18,50	8,60	0,16	0,056	18,66	10,88
2.	AN1	0,042	0,51	1,48	18,40	8,60	0,18	0,130	18,58	12,67
3.	AN2	0,029	0,51	1,43	19,00	8,40	0,19	0,190	19,19	13,22

Tabela 3. Hemijski sastav metala šava ispitnih komada

Na osnovu podataka iz gornje tabele može se zaključiti da se sa povećanjem sadržaja azota u zaštitnom gasu povećava njegov sadržaj u metalu šava. Isto se može videti i sa dijagrama prikazanog na slici 2., sa kojeg se dodatno može uočiti da

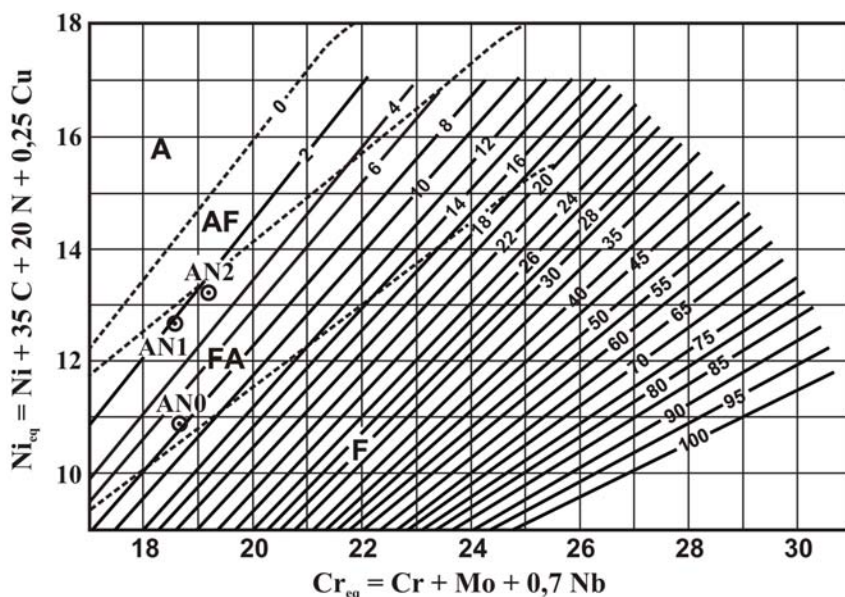
postoji dosta dobra saglasnost između stvarne zavisnosti i crtkanom linijom prikazane linearne zavisnosti sadržaja azota u metalu šava od njegovog zapreminskog učešća u zaštitnom gasu.



Slika 2. Zavisnost sadržaja azota u metalu šava od njegovog sadržaja u argonu

Nanošenjem odgovarajućih vrednosti ekvivalentnog sadržaja kroma i nikla, datih u tabeli 3. u dijagram WRC-1992 i iznalaženjem tačaka koje predstavljaju strukturni sastav metala šava ispitnih komada,

može se zaključiti da, po svom strukturnom sastavu metal šava svih ispitnih komada leži u feritno-austenitnoj oblasti (slika 3.)



Slika 3. Dijagram WRC 1992 sa naznačenim ekvivalentnim sadržajem kroma i nikla

Međutim, metal šava ispitnih komada sa većim sadržajem azota nalazi se bliže austenitno-feritnoj oblasti. Primenom istog dijagrama, grafičkim putem su utvrđene vrednosti feritnog broja (FN), metala

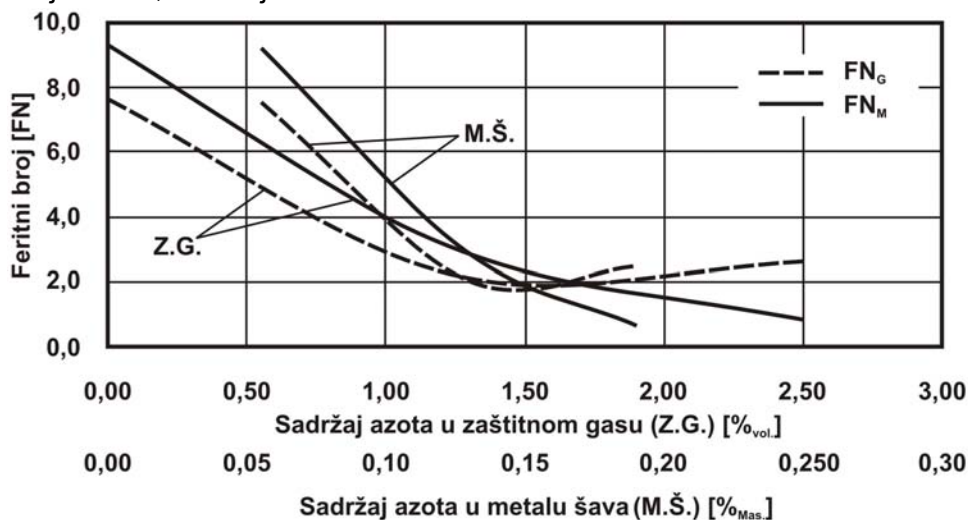
šava pojedinih ispitnih komada, koje su, zajedno sa prosečnim vrijednostima feritnog broja dobijenim mjerenjem, date u tabeli 4

Red. broj	Oznaka ispitnog komada	Sadržaj azota u metalu šava, [% _{mas.}]	Vrijednost FN	
			Izmjerena	Grafički određena
1.	AN0	0,056	9,25	7,6
2.	AN1	0,130	2,97	2,2
3.	AN2	0,190	0,82	2,5

Tabela 4. Izmerene i grafički određene vrednosti FN

Iz table 4. se vidi da postoji relativno dobra saglasnost između izmerenih i grafičkim putem dobijenih vrijednosti feritnog broja, pri čemu je veći stepen saglasnosti karakterističan za više vrednosti feritnog broja. Iz iste table se takođe vidi da se sa povećanjem sadržaja azota, sadržaj ferita u metalu

šava (izražen preko feritnog broja) značajno smanjuje, što je prikazano i na dijagramu na slici 4, na kojem se oznake FN_M i FN_G odnose na krive dobijene na osnovu izmerenih i grafičkim putem dobijenih vrednosti, respektivno.

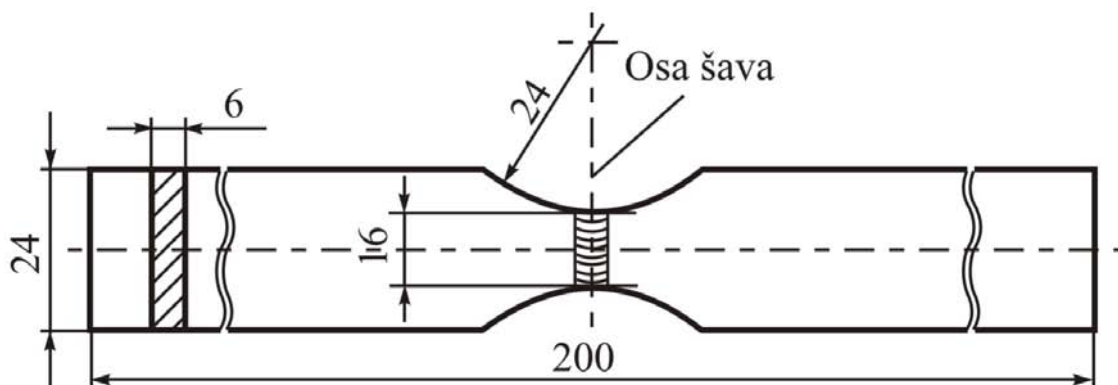


Slika 4. Promjena feritnog broja u zavisnosti od sadržaja azota u metalu šava i u zaštitnom gasu



Povećanje vrijednosti FN, do kojeg dolazi sa povećanjem sadržaja azota, koje se može konstatovati na osnovu podataka iz tabele 4. i sa dijagrama prikazanog na slici 4. nije u skladu sa gamagenom prirodom azota i rezultat je malih razlika u rezultatima hemijske analize između pojedinih ispitnih komada, prvenstveno u sadržaju hroma.

Ispitivanje zatezne čvrstoće i utrošene energije udara je izvršeno uz korišćenje epruveta koje omogućavaju određivanje ovih osobina za metal šava. U tom smislu, ispitivanje zatezne čvrstoće je provedeno uz korišćenje epruveta sa udubljenim bokovima, čiji izgled i dimenzije su prikazane na slici 5.



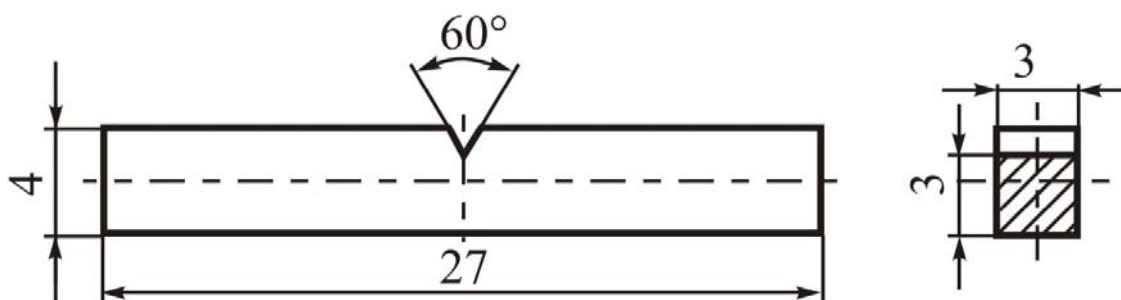
Slika 5. Epruveta za ispitivanje zatezanjem sa udubljenim bokovima

Vrednost zatezne čvrstoće, u slučaju korišćenja navedenih epruveta, se izračunava prema obrascu, koji je propisan standardom, a glasi:

$$R_m = 0,926 F_m/a \cdot b_2 \text{ [MPa]} \quad (3)$$

Pošto istim standardom nije definisan način izračunavanja konvencionalnog napona tečenja, odnosno granice razvlačenja, određivanje ove mehaničke osobine nije ni provedeno.

Ispitivanje utrošene energije udara je izvršeno uz korišćenje epruveta čiji su izgled i dimenzije prikazani su slici 6.

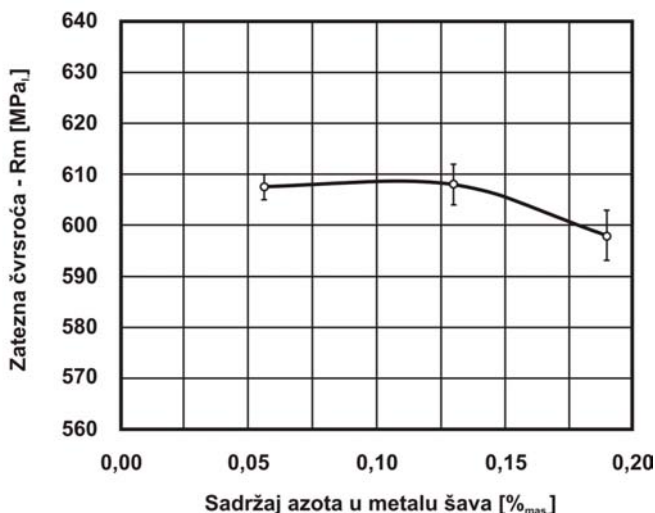


Slika 6. Izgled i dimenzije epruvete za ispitivanje utrošene energije udara.

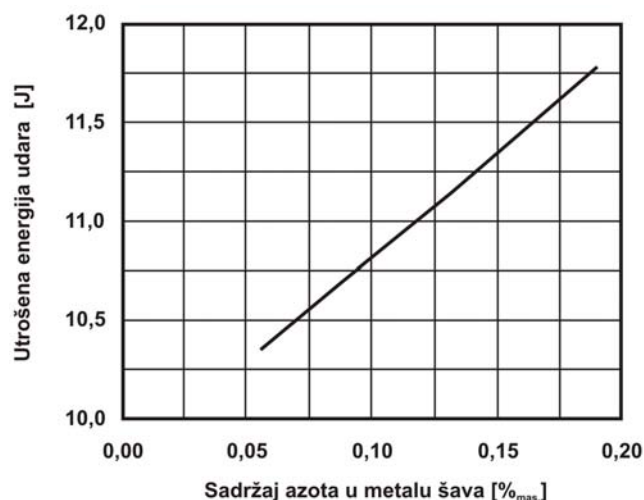
Rezultati ispitivanja zatezne čvrstoće i utrošene energije udara dati su u tabeli 5, a odgovarajući dijagramski prikazi dati su na slikama 7. i 8.

Red. broj	Oznak a uzorka	Zatezna čvrstoća [MPa]		Utrošena energija udara [J]			
		Epruveta I	Epruveta II	I	II	III	Prosjek
1.	AN0	610	605	10,89	10,10	10,10	10,35
2.	AN1	612	604	11,48	10,60	11,28	11,12
3.	AN2	593	603	11,97	11,77	11,58	11,77

Tabela 5. Rezultati ispitivanja zatezne čvrstoće i utrošene energije udara



Slika 7. Zavisnost između zatezne čvrstoće metala šava i sadržaja azota u metalu šava



Slika 8. Zavisnost između utrošene energije udara metala šava i sadržaja azota u metalu šava

Sa prikazanih dijagrama se može videti da sa povećanjem sadržaja azota u metalu šava zatezna čvrstoća u početku blago raste, a kasnije opada, dok utrošena energija udara gotovo linearno raste. Dobijeni rezultati mogu biti posledica promena izazvanih prisustvom azota, ali i relativno malog obima provedenih ispitivanja i kao takvi se mogu smatrati osnovom za definisanje pravca i obima daljih ispitivanja.

4. ZAKLJUČCI

Na osnovu rezultata ispitivanja može se zaključiti slijedeće:

- Sa dodavanjem azota u argon zaštitni gas, kod TIG postupka zavarivanja, moguće je legiranje metala šava sa azotom;
- Sadržaj azota u metalu šava u %_{mas.} gotovo je proporcionalan njegovom zapreminskom udelu u zaštitnom gasu, odnosno zaštitnoj atmosferi, u %_{vol.};
- Sa povećanjem sadržaja azota u metalu šava, sadržaj delta ferita (feritni broj) se naglo smanjuje;
- Nasuprot literaturnim podacima, zatezna čvrstoća sa povećanjem sadržaja azota u metalu šava u početku blago raste, a kod većih sadržaja azota počinje opadati;

- Povećanje sadržaja azota u metalu šava rezultuje povećanjem utrošene energije loma;
- Potrebno je provesti obimniji eksperiment, a dobijeni rezultati mogu poslužiti kao osnova za utvrđivanje obima i pravca daljih ispitivanja.

5. LITERATURA

1. O. Pašić, Zavarivanje, IP „Svjetlost“, Sarajevo, 1998.
2. T. Kuwana, The oxygen and nitrogen absorption of iron weld metal during arc welding, Department of Material Processing, Tohoku University, Japan, 1996.
3. P.D. Blake, Nitrogen in steel weld metals, Metal Construction 9, April 1979., pp. 196-197
4. K.H. Tseng, C.P. Chou, The study of nitrogen in argon gas on the angular distortion of austenitic stainless steel weldments, Journal of materials processing and technology, 142, 2003. pp. 139 - 144
5. D. J. Kotecki, T. A. Siewert, WRC-1992 Constitution Diagram for Stainless Steel Weld Metals: A Modification of the WRC-1988 Diagram, Welding Research supplement, May 1992, pp. 171-178.