

ZAVARIVANJE ČELIKA Ct.20 (GOST) PRIMJENOM ATIG POSTUPKA

WELDING OF STEEL Ct.20 (GOST) BY ATIG PROCESS

Darko BAJIĆ¹⁾

Ključne riječi: elektrolučno zavarivanje, topitelj, žilav prelom

Key words: arc welding, welding flux, ductile fracture

Sažetak: Pri zavarivanju čelika korištenjem konvencionalnog TIG-postupka, zavarivanje je ograničeno debljinom zida cijevi ili ploče. Primjena konvencionalnog TIG-postupka zavarivanja nije u stanju da u potpunosti odgovori potrebama suvremenog tržišta sa aspekta proizvodnosti i ekonomičnosti. Smanjenje vremena zavarivanja i postizanje visoko kvalitetnih zavarenih spojeva moguće je upotrebom aktivirajućeg topitelja. Koristeći pojavu aktivacije oksidacijsko-redukcijiskih procesa u zoni zavarivanja pomoću površinski-aktivativnih i elektronegativnih elemenata (ATIG-postupak) poboljšavaju se tehnološke karakteristike električnog luka [1, 2, 3]. Uvođenjem mikrokoličina lako ionizujućih elemenata u zonu zavarivanja, stvaraju se uslovi za kontrolu i upravljanje tehnološkim karakteristikama električnog luka pri zavarivanju. Pod djelovanjem struje plazme i komponenti aktivirajućeg topitelja, poboljšavaju se uslovi kristalizacije metala šava. Formiranjem šava sa sitnokristalnom dezorientiranim primarnom strukturu povećava se otpor formiranju toplih pukotina. Imajući sve ovo u vidu, jasno je da zavareni spojevi moraju posjedovati visoku pogonsku sigurnost i pouzdanost. Mehaničke osobine metala šava, naročito zatezna čvrstoća i žilavost, treba da su skoro identične sa osobinama osnovnog metala. Eksperimentalno dobiveni rezultati ukazuju da se radi o spojevima visoke žilavosti. Fraktografska ispitivanja površina loma uzoraka potvrđuje visoku kvalitetu zavarenih spojeva. Primjenom ATIG-postupka zavarivanja otvaraju se mogućnosti smanjenja pregrijavanja zone utjecaja topline uslijed brzine njegove kristalizacije i poboljšanja strukture metalna šava zahvaljujući mikrolegiranju pomoću aktivirajućeg topitelja. U radu je prezentirana tehnologija zavarivanja i rezultati metalografskih ispitivanja zavarenih spojeva ugljičnog konstrukcijskog čelika Ct.20 (GOST 1050-74) realiziranih ATIG-postupkom. Ovaj čelik je iz klase čelika C22 i C_k22 (DIN), 050A20 (B.S.), Č.1220 i Č.1331 (JUS).

Abstract: During welding of steel by conventional TIG welding process, welding is limited by wall thickness of a pipe or a plate. Application of conventional TIG welding process is not able to completely answer the needs of modern market from the productivity and economy point of view. The welding time limitation and high quality welded joint achievement is possible by application of activating welding flux. By using the oxidation-reduction processes features in weld zone by surface active and electro-negative elements (ATIG process) the technology characteristics of electric arc are improved [1, 2, 3]. By introducing the micro-amounts of easily ionised elements in welding zone, the conditions for control and management of technology characteristics of electric arc during welding are created. Due to effects of plasma current and activating flux components, the conditions of welding pass metal crystallisation are improved. The formations of weld pass with small-grained non-oriented primer structure increase the resistance to hot cracks formation. Having all this in mind, it is clear that welded joints must have high quality and security. The mechanical properties of weld metal, especially tensile strength and ductility, have to be at the level of base metal properties. Experimentally obtained results are showed high ductility of the joints. Fractographic investigations confirm high quality of welded joints. Applications of ATIG welding process decrease HAZ overheat, due to its solidification speed, improve weld metal structure, owing to micro-alloying by activating welding flux. In this paper the welding technology is presented and also the results of metallographic tests on welded joints from carbon steel Ct.20 (GOST 1050-74) produced by ATIG welding process. This steel is from steel level C22 and C_k22 (DIN), 050A20 (B.S.), Č.1220 i Č.1331 (JUS).

¹⁾ Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet Podgorica

1. SVOJSTVA KONSTRUKCIJSKOG ČELIKA Ct.20

Ugljični konstrukcijski čelik Ct.20 (GOST), namijenjen je za izradu instalacija u termoelektranama gdje postoji veliki obim zavarivanja: cjevovodi, spiralne cijevi, cijevi pregrijivača i kolektora, cijevni izmjenjivači toplote koji rade pod pritiskom i na temperaturama od -40°C do $+450^{\circ}\text{C}$. Maksimalna dozvoljena radna temperatura instalacija od ovog čelika iznosi $450 \div 500^{\circ}\text{C}$.

Kemijski sastav čelika dan je u tablici 1. Treba naglasiti da se mehaničke karakteristike ovog čelika, prema GOST-u određuju nakon termičke obrade (normalizacije) na sobnoj temperaturi ($+20^{\circ}\text{C}$). Ovaj čelik posjeduje magnetna svojstva.

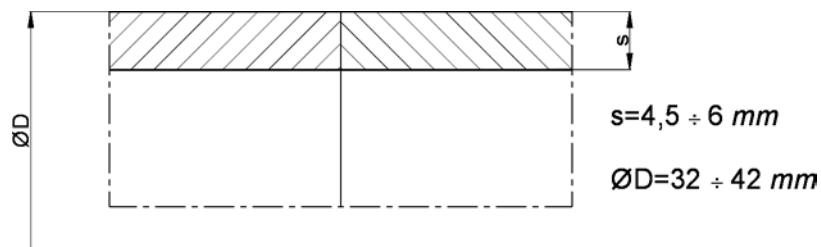
Tablica 1. Kemijski sastav čelika Ct.20, % (GOST 1050-74)

C	Si	Mn	Cr	S	P	Cu	Ni
$0,17 \div 0,24$	$0,17 \div 0,37$	$0,35 \div 0,65$	$\leq 0,25$	$\leq 0,04$	$\leq 0,04$	$\leq 0,25$	$\leq 0,25$

2. TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA ČELIKA Ct.20

Svi uzorci čelika Ct.20 zavareni su primjenom višedisperzne smjese aktivirajućeg topitelja BC-2Ξ (GOST) na bazi oksida.

Zavarivanje uzorka čelika Ct.20 dimenzije $\varnothing 32 \times 6$ mm izvršeno u dva prolaza bez skošavanja i zazora između zavarivanih ivica (sl. 1). Prvim zavarivačkim prolazom izvršeno je zavarivanje cijevi primjenom aktivirajućeg topitelja, do potpunog provarivanja stranica spoja. Kako je dobivena konkavna površina spoja, drugi prolaz u cilju postizanja neophodnog nadvišenja i ojačanja šava, izvršen je koristeći dodatni materijal, elektrodnu žicu Sv-08G2S (GOST). Kemijski sastav osnovnog materijala čelika Ct.20 i elektrodne žice dan je u tablici 2.



Slika 1. Izgled pripreme stranica cijevi za zavarivanje (bez zazora)

Tablica 2. Kemijski sastav osnovnog materijala i elektrodne žice (GOST)

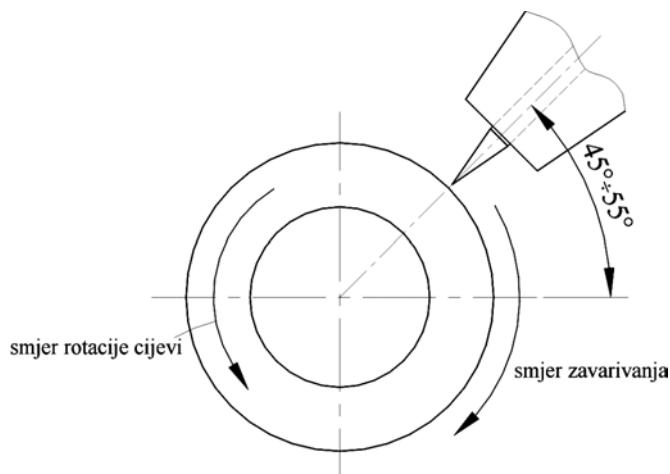
Objekat ispitivanja	Maseno učešće, %					
	C	Si	Mn	Ni	Mo	Cr
Osnovni materijal	$0,17 \div 0,24$	$0,17 \div 0,37$	$0,35 \div 0,65$	$\leq 0,25$	$0,25 \div 0,35$	$\leq 0,25$
Sv-08G2S	$0,05 \div 0,11$	$0,7 \div 0,95$	$1,8 \div 2,1$	$\leq 0,02$	-	$\leq 0,2$

Zavarivanje po sloju aktivirajućeg topitelja vrši se nakon prosušivanja sloja nanesenog aktivirajućeg topitelja na zraku (par minuta ≈ 2 min) neprekidnim električnim lukom korištenjem netopljive volframove elektrode u zaštiti inertnog gasa argona. Šav dobiven korištenjem aktivirajućeg topitelja BC-2Ξ karakterizira dobro formiranje kako sa čeone, tako i sa unutrašnje strane cijevi.

Poluautomatsko zavarivanje je izvršeno koristeći uređaja ARK 3-11PB (radijalno-konzolni) ruske proizvodnje, čije su tehničke karakteristike:

- Maksimalna dužina zavarivanja: 2.500 mm;
- Maksimalna brzina zavarivanja: 80 m/čas;
- Ugao obrtanja oko vertikalne ose: 350°
- Korištena glava pri zavarivanju: ASGV- 4R (GOST).

Izvor napajanja uređaja za zavarivanje je agregat VSP- 315 ruske proizvodnje. Zavarivanje se izvodi po sljedećoj shemi prikazanoj na slici 2.



Slika 2. Šematski prikaz položaja elektrode uzoraka koji se zavaruju

U tablici 3 prikazan je režim zavarivanja čelika Ct.20, pri brzini zavarivanja $v=5,33$ m/h.

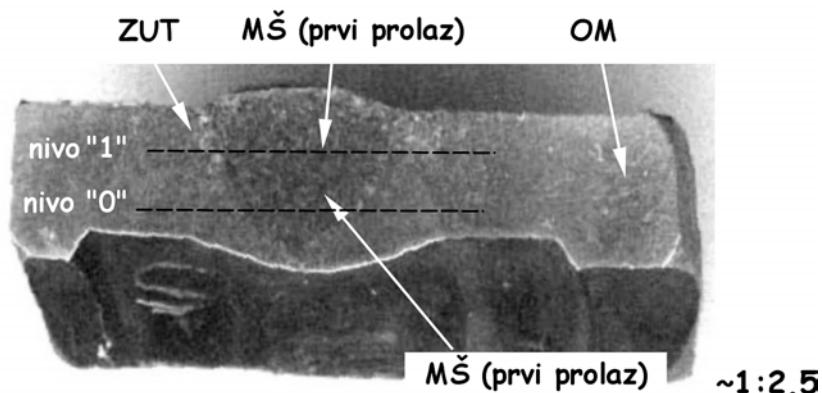
Tablica 3. Režim zavarivanja čelika Ct.20 ($\varnothing 32 \times 6$ mm)

Red. br.	Struja I_e (A)	Napon U (V)	Potrošnja argona (l/min)		Dužina električnog luka ℓ_{el} (mm)	Napomena
			zaštita električnog luka	zaštita korijena šava		
1	70	9,8	10	-	2,5	pričuvanje materijala
2	105	9,4	10	4	1,25÷1,5	zavarivanje korištenjem topitelja
3	95	9	10	-	≈3,5	zavarivanje korištenjem žičane elektrode

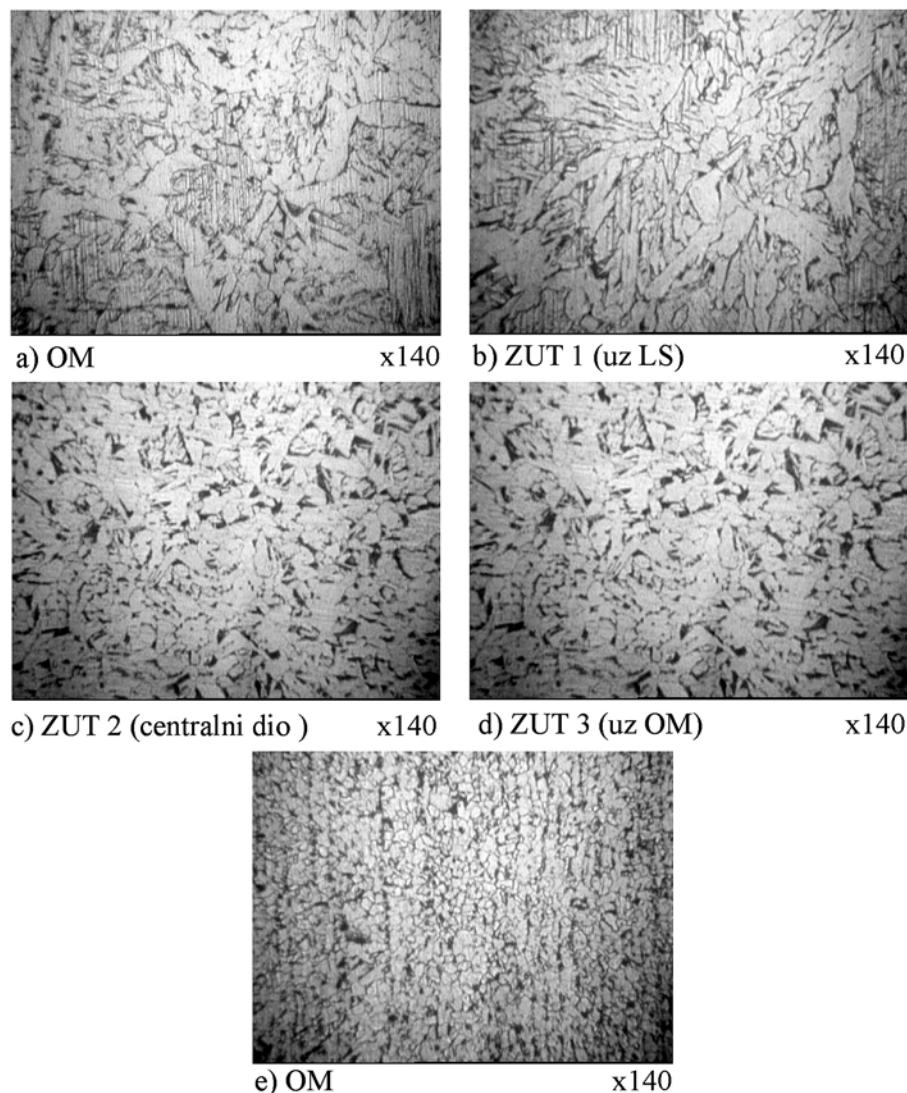
3. MAKRO- I MIKROSTRUKTURNA ANALIZA

Makrosnimka zavarenog spoja prikazan je na slici 3. Pri nagrizanju u 2% nitalu zavarenog spoja jasno se uočavaju tri zone: MŠ- metal šava, ZUT- zona utjecaja topline i OM- osnovni metal.

Mikrostruktura MŠ prvog zavarivačkog prolaza (nivo "0" sl. 3) je feritno-perlitna. Kompaktna feritna mreža je izdvojena po granicama bivših austenitnih zrna, sl. 4a. Mikrostruktura ZUT-a, je feritno-perlitna sa tendencijom usitnjavanja idući od linije stapanja - LS (sl. 4b) ka OM (sl.4d). Mikrostruktura OM je feritno-perlitna, sl. 4e.

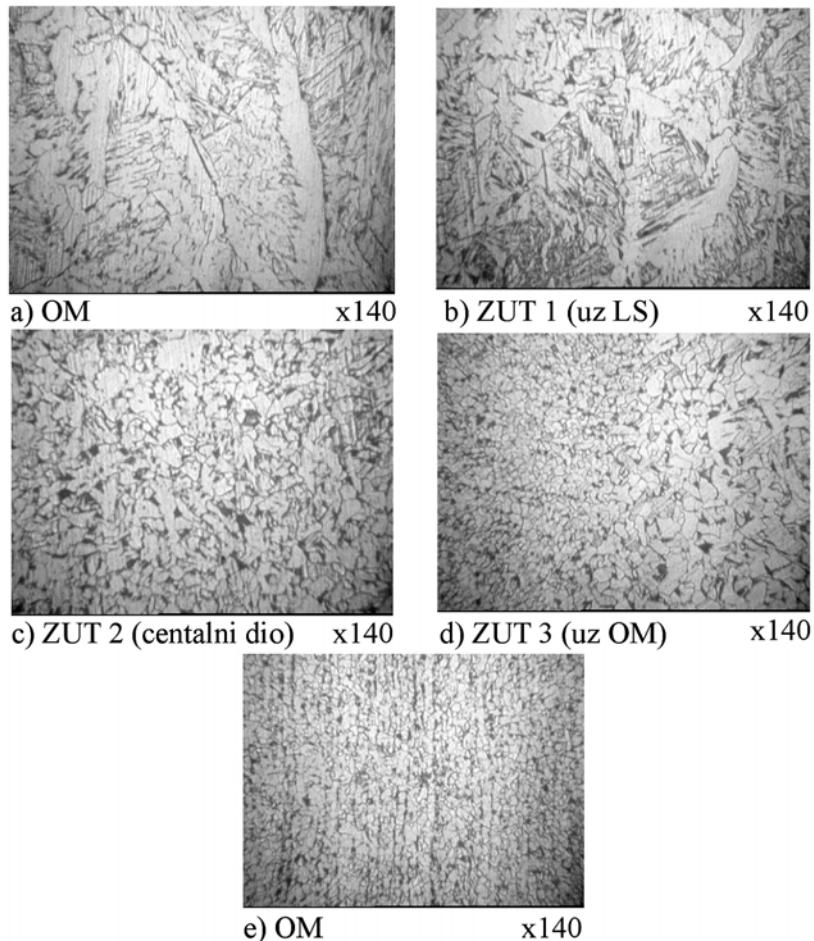


Slika 3. Makrosnimka zavarenog spoja čelika Ct.20 korištenjem elektrodne žice pri drugom zavarivačkom prolazu



Slika 4. Mikrostruktura prvog zavarivačkog prolaza (nivo "0" sl. 3)

Mikrostruktura drugog zavarivačkog prolaza sl. 5 (nivo "1" sl. 3), karakteriše se sličnim mikrostrukturama kao prvi prolaz.



Slika 5. Mikrostruktura drugog zavarivačkog prolaza (nivo "1" sl. 3)

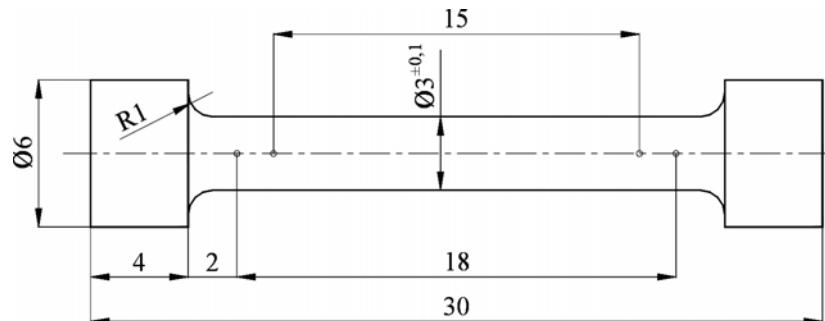
4. MEHANIČKE KARAKTERISTIKE ZAVARENOG SPOJA ČELIKA Ct.20

Korištenjem mikropruveta MI-12 GOST 6996-66 (tip I) (sl.6) određene su mehaničke karakteristike zavarenog spoja: svojstava otpornosti (R_p , R_m) i svojstava deformacije (A_5 , Z_5) na sobnoj temperaturi (+20 °C) (tablica 4). Ispitivanje epruveta je urađeno na kidalici, uređaju njemačke proizvodnje "Lichtbild" oznake CD-4Mp sa maksimalnom silom opterećenja od 4 tone i maksimalnim hodom od 250 mm, pri sobnoj temperaturi +20 °C.

Tablica 4. Mehanička svojstva zavarenih spojeva čelika Ct.20

F_m (kN)	R_p (MPa)	R_m (MPa)	A_5 (%)	Z_5 (%)
33,91	118,84	483,19	21,3	35,44

Napomena: Prikazane vrijednosti predstavljaju srednju vrijednost dobijenih rezultata.



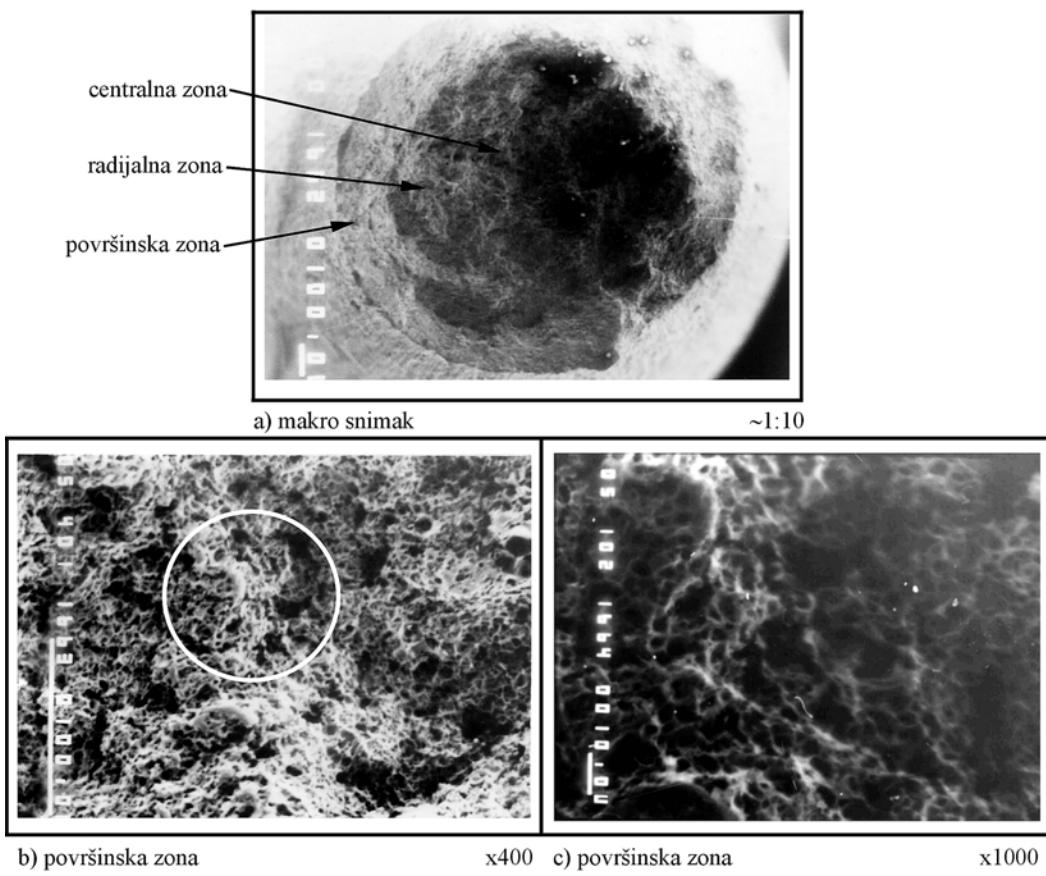
Slika 6. Epruveta MI-12 (GOST 6996-66 tip I) za ispitivanje na zatezanje

Kod svih uzoraka lom je nastao po OM na udaljenosti 12÷14 mm od ose šava.

Koristeći elektronsku mikrosondu (SSE) izvršena je fraktografska analiza površine loma mikropruveta MI12. Analizom dobivenih slika može se uočiti da postoje tri zone (sl. 7):

1. centralna zona – zona ravnomjernog razvlačenja (vlaknasta zona)
2. radijalna zona
3. površinska zona gdje je jako izraženo tečenje materijala i plastične deformacije, tj. zona bočnog nagiba.

Sa mikroskopskim uvećanjem površine loma može se zaključiti da dominira žilavi prelom i smicanje u zoni bočnog nagiba, a u radijalnoj zoni uobičajeni mehanizmi za duktilni lom čelika (sl. 7).



Slika 7. Fraktografija površine loma mikropruvete MI12

5. ZAKLJUČAK

Korištenjem aktivirajućeg topitelja stvaraju se uslovi za dobijanje visoko pouzdanog zavarenog spoja. Metalografska analiza je pokazala da je struktura zavarenog spoja feritno-perlitna sa tendencijom usitnjavanja. Formštanjem šava sa sitnokristalnom dezorientisanom primarnom strukturom povećava se otpor formiranju topnih pukotina. Objasnjenje se nalazi u činjenici da se pri ATIG zavarivanju povećava vrijednost kritične brzine deformacije pri kojoj dolazi do formiranja ovih pukotina.

Ispitivanjem površine loma uzoraka potvrđeni su mehanizmi duktilnog loma.

6. LITERATURA

- [1] Bajić D., Савицкий М.М., Blečić Ž.: Prednosti zavarivanja čelika A-TIG postupkom, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Beograd, 2001.
- [2] Bajic, D.R, Savitsky, M.M., Melnicuk, G.M., Lusan, A.F.: A-TIG welding of structural steels for power engineering applications, The Paton Welding Journal, Kiev, Ukraina, 2002.
- [3] Bajić, D.: "Istraživanje mogućnosti zavarivanja sklopova energetske opreme korišćenjem aktivirajućeg topitelja" Doktorska disertacija, Metalurško-Tehnološki fakultet Podgorica, Crna Gora, 2003. godine.