



G. Adžijev*, A. Sedmak**, V. Gliha***, T. Vuherer***

UTICAJ TERMIČKIH CIKLUSA ZAVARIVANJA NA ŽILAVOST ZUT MIKROLEGIRANOG ČELIKA

WELDING THERMAL CYCLES INFLUENCE ON MICROALLOIED STEEL HAZ TOUGHNESS

Originalni naučni rad/ Original scientific paper

UDK/UDC: 621.791,051.4:620.178.7:669.15-194.2

Rad primljen / Paper received:

15.07.2003.

Ključne reči: ukupna energija loma, energija inicijacije i rasta prsline, ZUT

Izvod

Izvršeno je instrumentirano ispitivanje udarne žilavosti standardnih Šarpijevih epruveta, pri čemu je ukupna energija loma razdvojena na komponente za inicijaciju i rast prsline. Materijal je finostrukturni čelik povišene čvrstoće, klase T StE 420 (DIN 17102), mikrolegiran sa titanom, od kojeg su izrađene dve sferene posude pod pritiskom, zavarene E postupkom. Uzorci od osnovnog materijala ispitivani su na -40, -20 i +20 °C, a uzorci simuliranih mikrostrukture ZUT na -20 i +20 °C. Simulacija zavarivanja je bila sa termičkim ciklusom: za jednociklusni od 1350 °C, za dvociklusne od 600, 700, 780, 880, 960, 1100 i 1350 °C.

Adresa autora / Author's address:

*Mašinski fakultet, Skopje,

**Mašinski fakultet, Beograd,

***Strojarski fakultet, Maribor

Key words: Total impact energy, initiation and propagation energies, HAZ

Abstract

Impact test on instrumented Charpy pendulum has been performed and dividing of the total fracture energy into its two components, for initiation and propagation of the crack, has been determined. The base metal is highstrength microalloyed fine-grained steel, class T StE 420 (DIN 17102), with titanium as basic alloy element, of which two welded spherical pressure vessels are produced. Specimens of base metal are investigated on -40, -20 i +20 °C, as well as specimens with simulated HAZ's microstructure on -20 i +20 °C. Welding simulations are the following: single cyclic on 1350 °C, and double cyclic on 600, 700, 780, 880, 960, 1100 i 1350 °C.

UVOD

S obzirom da je zavareni spoj veoma kompleksan sistem sa izuzetno izraženom nejednorodnošću osobina i heterogenosti sastava i strukture, kako na makrostrukturnom, još više na mikrostrukturnom nivou, lomno ponašanje zavisi od velikog broja faktora, a najviše od osobina područja u kome je lociran i okružen vrh prsline, od njegove veličine, ali isto tako i od veličine i ponašanja područja koja ga okružuju. Iz tog razloga izvršena su ispitivanja udarne žilavosti standardnih epruveta simuliranih mikrostrukture ZUT na instrumentiranom Šarpijevom klatnu, s obzirom da

su u sfernim posudama pod pritiskom otkrivene prsline usled naponske korozije, bile locirane u ZUT.

Osnovni materijal je čelik povišene čvrstoće, ojačan mikrolegiranjem, preko mehanizma usitnjenja zrna, sa sledećim mehaničkim osobinama: $R_{eH} = 420$ MPa, $R_m = 604$ MPa i $A_5 = 24$ %. Hemijski sastav ovog čelika dat je u tabeli 1. Karakterističan je sadržaj C (0.2 %), koji je relativno visok za ovaj tip čelika, što pored titana doprinosi povećanju čvrstoće, dok za usitnjenje zrna i postizanje povoljnog odnosa između čvrstoće i plastičnosti glavni doprinos ima titan, sa sadržajem od 0.12 %.

Tabela 1: Hemijski sastav čelika T StE 420 (DIN 17102), (mas. %)

C	Si	Mn	P	S	Ti	Cr	Al	Cu	Ni	V	Mo	Nb
0.2	0.44	1.35	0.012	0.01	0.12	0.15	0.06	0.05	0.1	0.008	0.015	0.001

SIMULIRANJE TERMIČKIH CIKLUSA

Simuliranje termičkih ciklusa zavarivanja sa kontrolisanim zagrevanjem i hlađenjem kao pri realnom procesu zavarivanja sprovedeno je na simulatoru tip "Smitweld" (Thermal cycle simulator), TCS 1405 u laboratoriji za zavarivanje na Strojarskom fakultetu u Mariboru.

Jednociklusna simulacija je urađena na temperaturi od 1350 °C, a dvociklusna simulacija na temperaturama od 600, 700, 780, 880, 960, 1100 i 1350 °C.

Svi uzorci simulacije su predgrevani na 200 °C, zatim zagrevani do predviđene temperature i hlađeni režimom definisanim sa $t_{8/5} \approx 15$ s, osim kod ciklusa 1350/600, 1350/700, 1350/780, kod kojih je hlađeno sa $t_{8/5} \approx 60$ s.

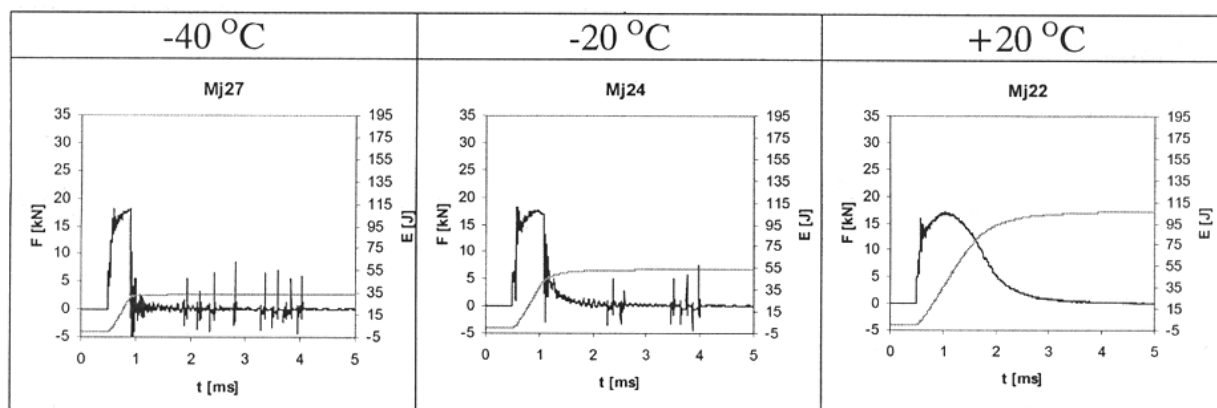
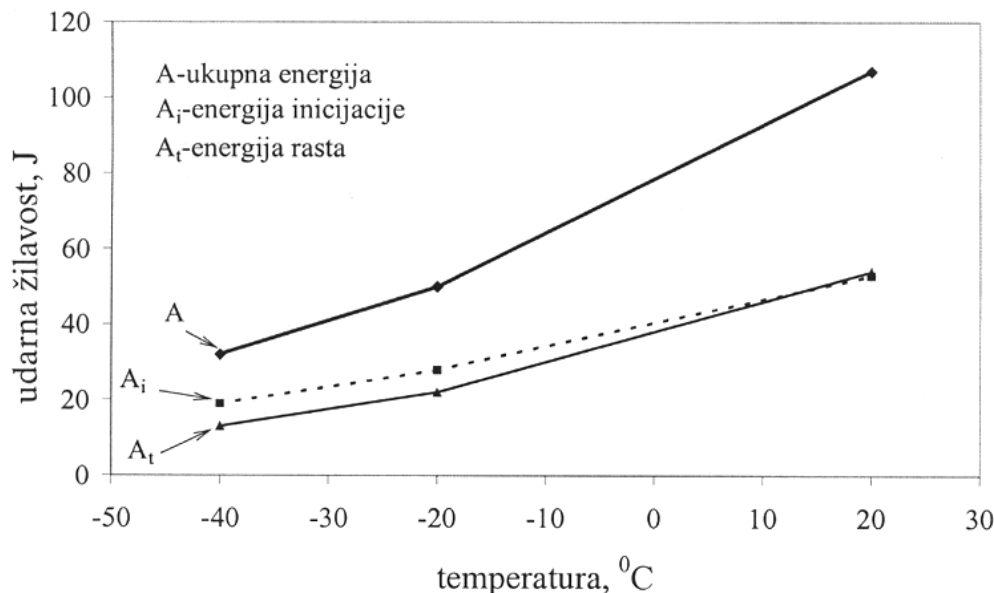


Praktično, sa jednociklusnim i dvociklusnim simulacijama pokrivena su sva karakteristična područja ZUT.

simulacijom termičkih ciklusa zavarivanja. U radu je dat komentar za osnovni materijal i tipične predstavnike finostrukturnih i grubozrnih struktura.

ISPITIVANJE UDARNE ŽILAVOSTI I DISKUSIJA

Ispitivanje je urađeno na -40 , -20 i $+20$ °C za osnovni materijal, a na -20 i $+20$ °C za strukture dobijene



Slika 1. Udarne žilavost osnovnog materijala

Osnovni materijal

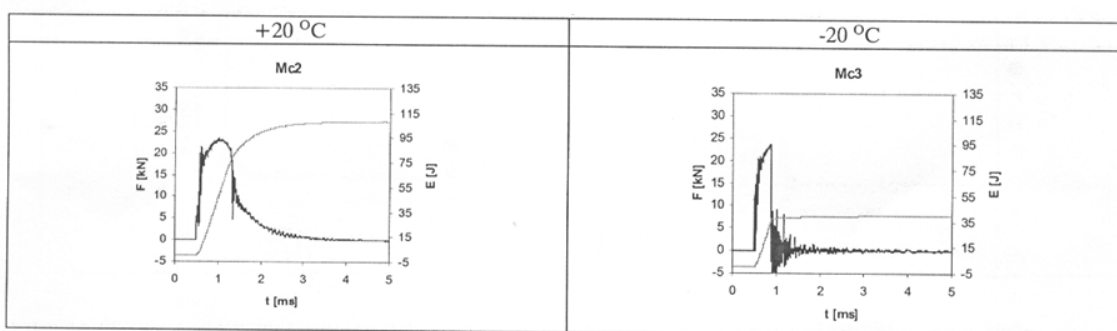
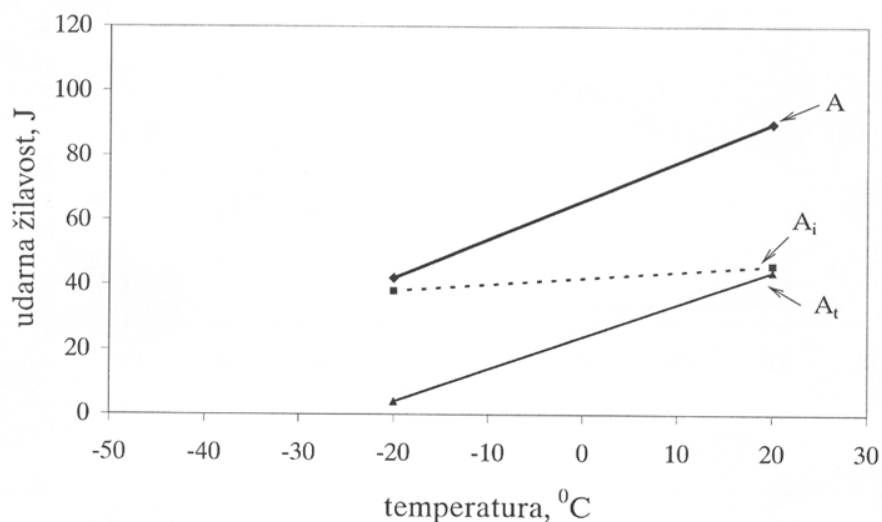
Osnovni materijal, s obzirom da je feritno-perlitne strukture, karakteriše se dobrom žilavošću, kao što se i očekivalo. Na $+20$ °C obe komponente ukupne energije su približno iste, što ukazuje na visoku sposobnost plastičnog deformisanja, ali istovremeno je i stabilan rast inicijalne prsline, tj. visoka je otpornost ka nestabilnom lomu.

Sa sniženjem temperature očigledan je pad žilavosti usled smanjene plastičnosti, ali još uvek su obe komponente slične veličine. Na -40 °C, što je vidljivo na strmnoj karakteristici dijagrama F-t, nakon dostizanja maksimalne sile nestabilni lom se dešava u istom momentu kada se inicira prsline, što je rezultat značajnijeg sniženja energije rasta prsline u odnosu na energiju za inicijaciju. Ipak, ukupna energija je

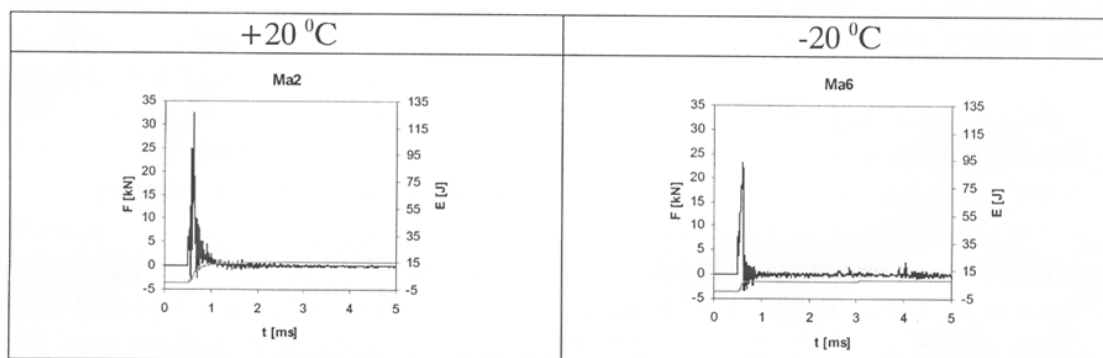
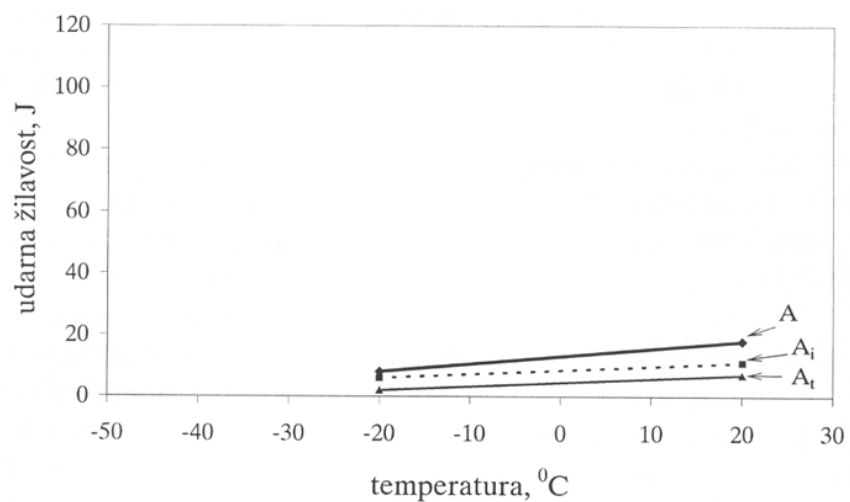
zadovoljavajuća, i čak se beleži smanjenje gradijenta opadanja žilavosti sa opadanjem temperature.

Strukture simuliranih termičkih ciklusa

Dvociklusne finostrukturne strukture ciklusa 1350/880, 1350/960 i 1350/1100 °C imaju veliku žilavost, što je logično jer su to strukture kod kojih je tokom drugog termičkog ciklusa zagrevanje na temperaturi iznad A_3 , ali ne previsoko prema tački topljenja, što bi dovelo do pregrevanja i okrupnjavanja austenita. Kod njih se desila delimična ili značajna normalizacija. Ipak, za razliku od osnovnog materijala, kod ovih struktura već pri -20 °C energija za rast prsline je skoro nula, i pored toga što je ukupna energija još na zadovoljavajućem nivou, iznad 27 J. To znači da ovakvi materijali još imaju sposobnost da apsorbuju plastičnu deformaciju, ali sve dok se ne inicira prsline, kada nastaje kruti lom.



Slika 2. Žilavost dvociklusne finozne strukture (1350/960 °C)



Slika 3. Žilavost jednociklusne grubozrne strukture



Kod jednociklusne grubozrne strukture (1350 °C), zatim dvociklusne 1350/1350 °C strukture koja je bila zagrejana na visokoj temperaturi, a u drugom ciklusu je došloje do dodatnog okrupnjavanja zrna, kao i kod dvociklusne 1350/600, 1350/700 i 1350/780 °C grubozrne strukture, za koje je karakteristično prisustvo manje ili više beinitna, pa čak i martenzitna, udarna žilavost je veoma niska i pri +20 °C, i skoro cela energija otpada na deformacioni rad, tj. energija rasta prsline je praktično nula.

ZAKLJUČAK

Osnovni materijal se karakteriše visokom udarnom energijom i na sobnoj i na sniženim temperaturama od -20 i -40 °C, pri čemu su obe komponente, za iniciju i rast prsline, približno jednake. Pad žilavosti je intenzivniji između +20 i -20 °C, dok trend opadanja ima manji gradijent između -20 i -40 °C, tako što bi se moglo pretpostaviti da će i na -50 °C ukupna energija loma biti na zadovoljavajućem nivou. Ipak, obe njene komponente, nezavisno gledane, odmah nakon -20 °C imaju vrednost manju od 27 J, što znači da materijal nije pogodan za niske temperature ispod -40 °C ukoliko u njemu ima prsline, pogotovo što je već pri -40 °C energija rasta prsline izuzetno niska (13 J). Uostalom, i prema standardu JUS C.B0.502, ovaj čelik ima garantovanu žilavost do -40 °C.

Ako se sledi dijagram zavisnosti žilavosti od temperature ispitivanja za strukturu sa drugim ciklusom od 960 °C, energija inicijacije i rasta prsline su na sobnoj temperaturi približno iste, što ukazuje da je materijal podjednako plastičan u celom procesu loma, i

da je sposoban da apsorbuje plastičnu deformaciju oko vrha prsline.

Sniženje ispitne temperature dovodi do opadanja žilavosti, kao rezultat sniženja energije za rast prsline, što je direktna posledica mikrostrukture i veličine zrna.

Energija za rast prsline se menja skoro paralelno sa ukupnom energijom loma, što znači da je opadanje žilavosti sa sniženjem temperature uglavnom rezultat sniženja energije rasta prsline. Energija inicijacije prsline ne pokazuje takvu zavisnost i ona se sporije menja sa promenom temperature, što je rezultat smanjenja plastične zone oko vrha zarez.

Moglo bi se konstatovati da simulirane finozne strukture karakteristične za ZUT u realnom zavaru, na +20 °C imaju dobru otpornost na rast prsline, dok na sniženoj temperaturi od -20 °C energija rasta prsline je nula. Ovo znači da se one karakterišu određenom plastičnošću, ali ukoliko postoji prsline one su, praktično, neotporne na lom, s obzirom da je za njih karakterističan mali, ali uticajan sadržaj mikrostrukturnih komponentata osetljivih na pojavu krstosti pri sniženim temperaturama, kao što je gornji beinit (~15 %).

LITERATURA

- [1] Adžijev, G.: *Uticaj mismečinga na integritet zavarene konstrukcije sa prslinom*; Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Skopje, 2003.

MT-KOMEX d.o.o.

Preduzeće za proizvodnju, promet i usluge

Peći za sušenje elektroda:



Tip MT-100

Tehnički podaci :

1. Dimenzije : 790 x 600 x 650 mm
2. Sušenje se obavlja uz prirodnu cirkulaciju vrelotog vazduha
3. Temperatura sušenja do 400 °C
4. Proces sušenja vodi elektronski termoregulator sa očitavanjem temperature na displeju
5. Kapacitet do 100 kg elektroda
6. U komori se može sušiti prah za EPP postupak
7. Snaga uređaja 5 kW
8. Napon 380 V, 50 Hz



Tip MT-20

Tehnički podaci :

1. Dimenzije : 220 x 220 x 700 mm
2. Komora je toplotno izolovana
3. Sušenje se obavlja uz prirodnu cirkulaciju vrelotog vazduha
4. Temperatura sušenja do 300 °C
5. Proces sušenja je automatizovan
6. Kapacitet do 20 kg elektroda
7. Snaga uređaja 1,65 kW
8. Napon 220 V, 50 Hz



Tobolac

Tehnički podaci :

1. Sušenje se obavlja uz prirodnu cirkulaciju vrelotog vazduha
2. Kapacitet do 10 kg elektroda
3. Snaga uređaja 125 W
4. Napon 75 V, (uređaj radi na zavarivačkom naponu aparata za zavarivanje)

Delatnost preduzeća u oblasti zavarivanja

- Servis i rezervni delovi svih proizvođača opreme za zavarivanje
- Proizvodnja uređaja i rezervnih delova
- Reparaturno zavarivanje u svim postupcima
- Iznajmljivanje aparat za