

ODREĐIVANJE ŽILAVOSTI MATERIJALA RAZLIČITIM PARAMETRIMA DOBIJENIM ŠARPIJEVIM KLATNOM

MATERIAL TOUGHNESS ASSESSMENT USING DIFFERENT PARAMETERS OBTAINED BY CHARPY PENDULUM

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC: 620.1:669.14

Rad primljen / Paper received: 15.11.2002.

Adresa autora / Author's address:

Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu

27. marta 80, Beograd

Ključne reči

- instrumentirano udarno ispitivanje
- energija nastanka i rasta prsline
- oblik površine preloma
- krti lom
- poprečno širenje

IZVOD

Na instrumentiranom Šarpi klatnu može se ukupna energija loma razdvojiti na energiju inicijacije i energiju rasta prsline. To je iskorišćeno u ovom radu za ispitivanje udarne žilavosti E postupkom zavarenog spoja čelika, mikrolegiranog niobijumom, vanadijumom i titanom. Izmerena je tvrdoća spoja, i izvedena su makro- i mikrostrukturalna ispitivanja. Merenjem poprečne deformacije epruveta posle loma, fraktografskim pregledom i određivanjem udela krtog loma na površini preloma dobijeni su dodatni podaci o mehanizmu loma. Poređenje svih praćenih parametara omogućava ocenu sklonosti materijala ka krtom lomu, otpornosti na nastanak i rast prsline i potencijalnih mesta nastanka loma.

UVOD

Ispitivanje udarne žilavosti, jedan od najstarijih postupaka udarnog ispitivanja (potiče još iz 1884. godine), u sebi sjedinjuje tri vida ispitivanja: ispitivanje na savijanje, ispitivanje uzorka sa zarezom i ispitivanje udarnim opterećenjem. Godinama su razvijane nove metode za određivanje udarne žilavosti radi što boljeg opisivanja ponašanja materijala, mehanizma loma i objedinjavanja faktora koji utiču na lom. Svaka od tih metoda predstavlja korak dalje u istraživanju, ali uvek ostaju problemi vezani za složenost izrade uzorka i izvođenja ispitivanja ili nepotpunost rezultata zbog zanemarivanja nekih uticaja.

Najnovija istraživanja vraćaju se na polaznu metodu za određivanje udarne žilavosti, na primenu Šarpijevog klatna. Instrumentiranjem klatna, odnosno ugradnjom uređaja koji zapisuje promenu sile i energije sa vremenom ispitivanja, napravljen je značajni napredak u razvoju ispitivanja udarne žilavosti [1]. Rezultati ispitivanja na instrumentiranom Šarpijevom klatnu omogućavaju potpuno praćenje i razumevanje mehanizma loma i razdvajanja ukupne energije na energiju inicijacije i energiju rasta prsline. Prednosti ovog ispitivanja su i u lakoj pripremi uzorka, jednostavnosti, brzini i malim troškovima ispitivanja.

Energija inicijacije i energija rasta prsline nisu jedini podaci koji se mogu dobiti ovim ispitivanjem. Merenjem poprečne deformacije Šarpijevih epruveta, fraktografskim

Keywords

- instrumented impact test
- energy for crack initiation and growth
- fracture surface appearance
- brittle fracture
- lateral expansion

ABSTRACT

It is possible to divide total impact energy on instrumented Charpy pendulum into energies for crack initiation and growth. This is applied in this paper for impact toughness testing of the joint, welded by E procedure in the steel, microalloyed with niobium, vanadium and titanium. Hardness of the joint was measured, and macro- and microstructural analysis has been performed. By measuring of lateral extension of specimens after fracture, fractography and brittle fracture appearance on fracture surface additional data about fracture mechanisms are obtained. The comparison of all considered parameters enables assessment of material susceptibility to brittle fracture, crack initiation and growth resistance and potential sites of fracture occurrence.

pregledom [2] i određivanjem procentualnog udela krtog loma na prelomnoj površini, dobijaju se dodatni podaci o ponašanju materijala pri lomu. Ovim ispitivanjem se takođe može odrediti i temperatura nulte plastičnosti (prelazna temperatura krtosti). Kriterijum može biti energetski (temperatura na kojoj vrednost udarne energije opadne za 50% u odnosu na udarnu energiju na sobnoj temperaturi), ili deformacioni (temperatura na kojoj poprečno širenje opadne za 50% u odnosu na poprečno širenje na sobnoj temperaturi) ili vizuelni (podjednak udeo žilavog i krtog loma na prelomnoj površini). Prelazna temperatura je bitan podatak za izbor materijala, u zavisnosti od radnih uslova kojima će konstrukcija biti izložena.

ODREĐIVANJE ŽILAVOSTI ZAVARENOG SPOJA NA INSTRUMENTIRANOM ŠARPIJEVOM KLATNU

Imajući u vidu da je zavareni spoj kritično mesto u konstrukciji [3], u radu je ispitana žilavost zavarenog spoja nikolegiranog čelika visoke čvrstoće, debljine 7,2 mm, mikrolegiranog niobijumom, vanadijumom i titanom. U tab.1. je dat hemijski sastav, a u tab. 2. mehaničke osobine čelika. Ploče čelika sučeo su zavarene E postupkom, elektrodom EL E 53 B Ni, $\phi 3,25$ mm [4]. Iz zavarene ploče isečene su epruvete za žilavost dimenzija 6x10x55 mm, sa V zarezom dubine 2 mm, u osnovnom metalu, zoni uticaja toplote (ZUT) i metalu šava (sl. 1).

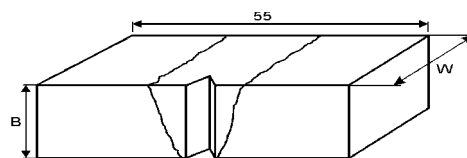
Tabela 1. Hemijski sastav mikrolegiranog čelika, %

C	Si	Mn	P	S	Cu	Al	Nb	Ti	V
0.056	0.32	1.28	0.012	0.005	0.031	0.049	0.045	0.02	0.054

Tabela 2. Mehaničke osobine mikrolegiranog čelika

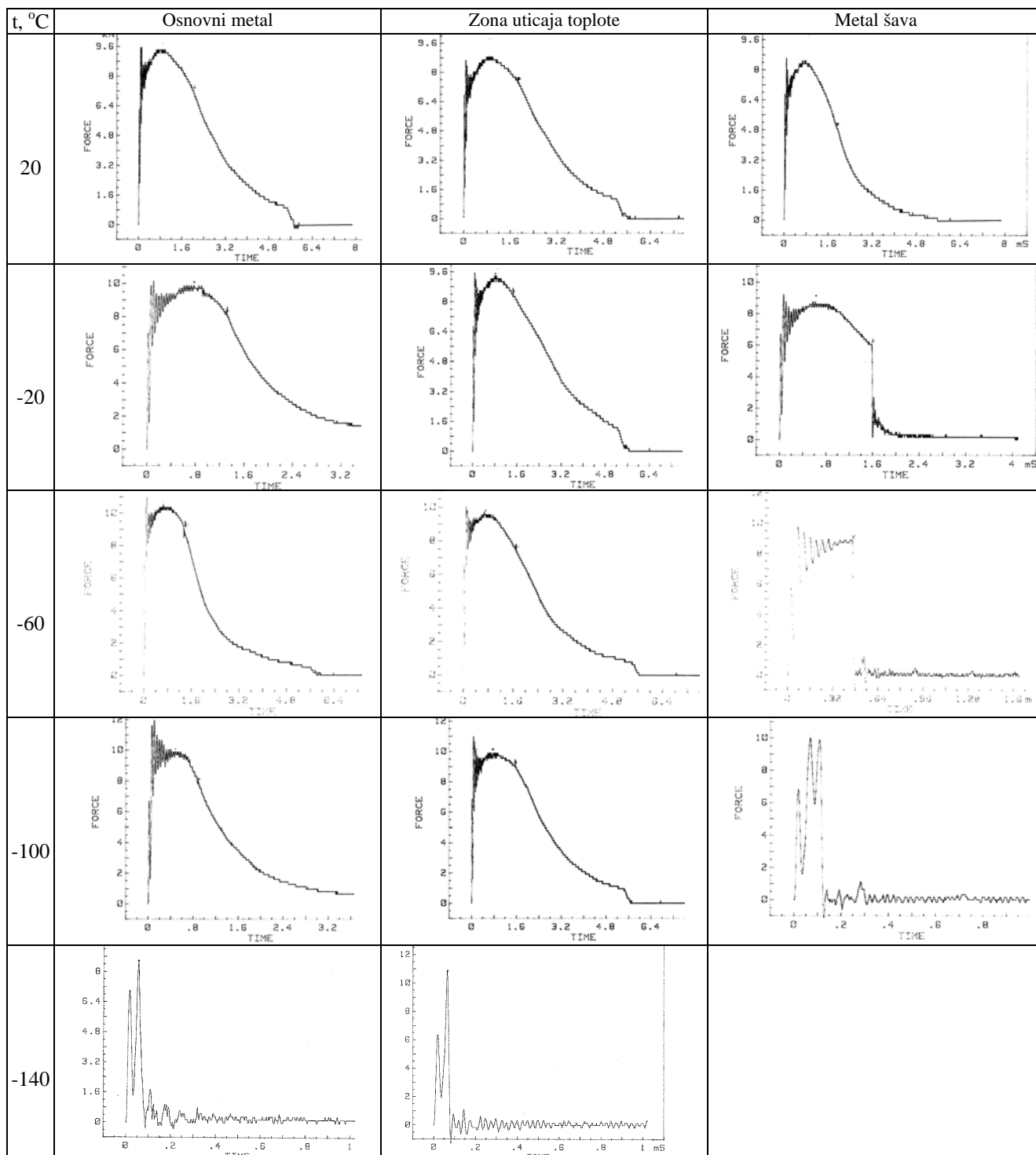
Napon tečenja	Zatezna čvrstoća	Izduženje pri lomu	Energija udara na-20°C
R_e , MPa	R_m , MPa	A_5 , %	KV, J
510-537	571-595	37-42	152-197

Epruvete za određivanje R_e , R_m , A_5 su u pravcu valjanja, a za KV normalno na pravac valjanja.



Slika 1. Izgled šarpi epruvete sa V zarezom u metalu šava

Udarne žilavost je određena na klatnu sa osciloskopom Schenk Trebel, energije 150 do 300 J. Zavisnosti sile F i vremena τ , na temperaturi 20° do -140°C dati su u tab. 3, a sračunate energije iz dobijenih dijagrama u tab. 4.

Tabela 3. Tipičan izgled dijagrama zavisnosti sile (FORCE) F i vremena (TIME) τ različite temperature ispitivanja t 

Ilustracije radi, na sl. 2. su dobijeni rezultati za osnovni metal i zonu uticaja toplote prikazani u vidu dijagrama zavisnosti energije od temperature, posebno za ukupnu energiju, energiju inicijacije i rasta prsline.

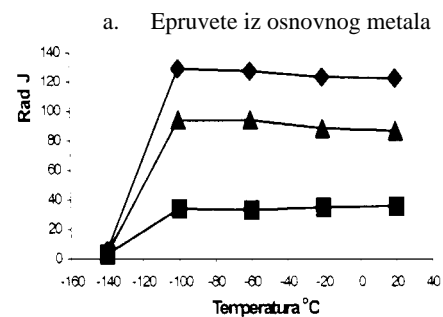
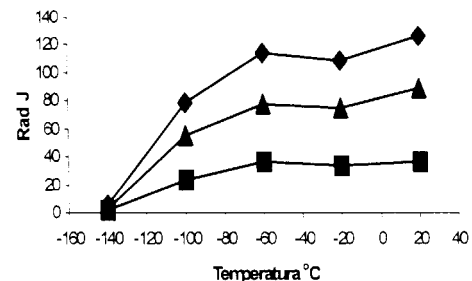
Tabela 4. Energija loma zavarenog spoja za različite temperature ispitivanja

Temperatura, °C	Energija, J					
	udara		za iniciranje, $E_{inic.}$ za rast, E_{rast}			
	Pojedinačno	Prosek	prsline		Pojedinačno	Prosek
a. Epruvete iz osnovnog metala						
20	120	126	35	37	85	90
	132		38		94	
-20	102	109	36	34	66	75
	100		33		67	
	124		32		92	
-60	98	114	38	36	60	77
	131		39		92	
	112		32		80	
-100	78	78	24	23	54	55
	82		27		55	
	75		19		56	
-140	5,6	5,5	2,4	2,3	3,2	3,1
	4,4		2,1		2,3	
	7,4		2,5		3,9	
b. Epruvete iz zone uticaja toplote						
20	125	123	36	36	89	87
	122		36		86	
-20	121	123	35	35	86	88
	132		35		97	
	117		36		81	
-60	120	128	34	33	86	94
	119		32		87	
	135		36		99	
-100	129	129	32	35	97	95
	131		39		92	
	127		30		97	
-140	11,3	7,2	4,5	3	7,8	3,3
	3,5		2,2		1,3	
	3,9		2,1		1,8	
c. Epruvete iz metala šava						
20	75	83	27	27	48	55
	82		28		54	
	91		29		62	
-20	9	35	3	17	6	18
	64		26		38	
	32		23		10	
-60	11	30	4	14	7	17
	21		11		10	
	59		26		33	
-100	6	6	2	2	4	4
	5		2		3	
	6		2		5	

Sva tri područja zavarenog spoja (osnovni metal, ZUT, metal šava) imaju izuzetno dobru otpornost prema lomu. Energija udara za osnovni metal i ZUT je gotovo ista sve do -100°C , a na -140°C iznosi samo 6 J, pa je temperatura nulte plastičnosti u tom intervalu, odnosno oko -120°C . Za sve temperature ispitivanja je energija rasta prsline veća od energije inicijacije prsline, što je važan uslov dobre otpornosti prema krtom lomu. Bliske vrednosti energije udara

osnovnog metala i ZUT mogu se objasniti činjenicom da u ZUT nije došlo do bitnog porasta zrna, odnosno da je prisutna feritno-perlitna struktura. Sve to ukazuje na veoma dobru žilavost ovog materijala.

Udarana žilavost metala šava počinje značajnije da opada na oko -60°C . Ova temperatura predstavlja granicu prelaska u krto stanje. I kod metala šava je energija rasta prsline veća od energije inicijacije prsline, čak i kada materijal postane krt (-100°C).



b. Epruvete iz zone uticaja toplote♦

Slika 2. Promena energije udara (♦), energije iniciranja (■) i energije rasta (▲) prsline sa temperaturom

Dijagrami zavisnosti žilavosti od temperature jasno pokazuju da se energija rasta prsline menja skoro paralelno promeni ukupne energije sa temperaturom (sl. 2). Energija inicijacije prsline se malo menja sa temperaturom, sve do vrlo niskih temperatura. Manjoj veličini energije inicijacije prsline na niskoj temperaturi odgovara manja plastična zona oko vrha zarez, što je posledica smanjene plastičnosti i promene svojstava materijala sa sniženjem temperature, odnosno da se u tim uslovima približavaju vrednosti zatezne čvrstoće i napona tečenja, što prati i smanjenje rezerve plastičnosti.

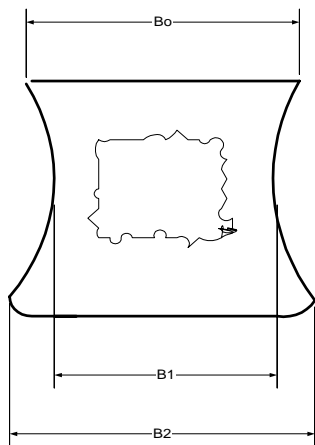
ODREĐIVANJE ŽILAVOSTI MERENJEM DEFORMACIJE

U cilju dobijanja potpunije ocene sklonosti materijala ka krtom lomu, izmerene su vrednosti poprečnog širenja epruvete ΔB :

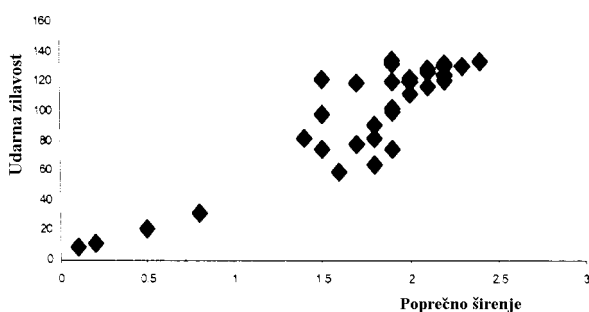
$$\Delta B = B_2 - B_0$$

gde je B_0 - početna širina epruvete, a B_2 - najveća širina epruvete posle ispitivanja (sl. 3). Poprečno širenje nastaje na bočnim stranama epruvete kao posledica efekta poprečne deformacije.

Na sl. 4. je data zavisnost poprečnog širenja od udarne žilavosti za zavareni spoj. Dobijeni rezultati uglavnom potvrđuju postavku o linearnoj zavisnosti energije udara i poprečnog širenja, odnosno da se obe veličine mogu uzeti kao kriterijum sklonosti materijala ka krtom lomu.



Slika 3. Izgled epruvete Šarpi posle ispitivanja



Slika 4. Zavisnost poprečnog širenja od udarne žilavosti za ceo zavareni spoj

Sa sl. 4 se takođe vidi da većim vrednostima žilavosti odgovaraju veće vrednosti poprečnog širenja ΔB , odnosno da je sklonost materijala ka krtom lomu utoliko manja, ukoliko je veća veličina plastične deformacije polomljene epruvete. Kako se zavisnost energije udara E i temperature t koristi za određivanje temperature prelaska u krtom stanje, može se reći da se i na osnovu dijagrama zavisnosti širenja ΔB i temperature t može odrediti prelazna temperatura i to korišćenjem kriterijuma da se za prelaznu temperaturu usvaja ona temperatura na kojoj se veličina poprečnog širenja smanji za 50% u odnosu na poprečno širenje na osnoj temperaturi.

U tab. 5. su prikazane fotografije preloma sva tri područja zavarenog spoja (osnovni metal, ZUT, metal šava) na temperaturama ispitivanja.

ODREĐIVANJE ŽILAVOSTI FRAKTOGRAFSKIM PREGLEDOM PRELOMNIH POVRŠINA

Mikrofraktografskim pregledom prelomnih površina epruveta Šarpi je utvrđen mikromehanizam loma i zavisnost mikrostrukture materijala i mikromehanizma loma. Ovaj pregled je korišćen i za otkrivanje postojanja diskontinuiteta (grešaka) u strukturi metala na mestu nastanka loma, odnosno za njihovo aktiviranje pri rastu prsline.

Karakteristični izgled prelomnih površina, ispitanih na skenirajućem elektronskom mikroskopu, je prikazan na mikro-fotografijama u tab. 6. na kojima se može uočiti i mehanizam loma za tri područja zavarenog spoja (osnovni metal, ZUT, metal šava) na različitim temperaturama ispitivanja.

Na sobnoj temperaturi u svim zonama zavarenog spoja prevladava duktilni transkristalni lom sa tipičnim jamicama razvlačenja i zonom stabilnog rasta prsline. Primetno je postojanje sekundarnih prsline, koje su najviše izražene u metalu šava, dok je u osnovnom metalu primećeno početno delimično radvajanje, koje na nižim temperaturama dovodi do potpunog loma.

Na temperaturi -20°C i kod osnovnog metala i u ZUT nije došlo do pada žilavosti u odnosu na 20°C , što odgovara i izgledu površine preloma fraktografskim snimcima (tab. 6), jer nema bitnijih promena u izgledu preloma: i ovde je izražen jamičasti lom sa vrlo malim udelom kvazicepanja.

U metalu šava dolazi do naglih promena u strukturi sa promenom temperature. Kod uzorka sa najvećom energijom udara (64 J) javlja se lom cepanjem sa neznatnim udelom jamičastog loma, a početak nestabilnog rasta prsline prati velika sekundarna prsline. Pri najmanjoj energiji udara od 9 J dominira čist transkristalni krti lom cepanjem, sa prisustvom radialnih grebena na mestu inicijacije prsline. Sve ovo ukazuje na inferiorna svojstva metala u pogledu loma u poređenju sa osnovnim metalom i zonom uticaja toplote.

Na temperaturi od -100°C u osnovnom metalu i dalje je jamičasti lom, ali sada sa primetnim područjem nestabilnog rasta prsline i udelom kvazicepanja.

U zoni uticaja toplote jasno su izražene dve oblasti. U zoni stabilnog rasta prsline, koja se nalazi neposredno ispod zareza, prisutan je duktilni jamičasti lom. Sa prelaskom u nestabilni rast, dolazi i do promene mehanizma loma, odnosno javlja se čisti krti transkristalni lom cepanjem.

U metalu šava prisutan je klasični krti lom cepanjem sa jasno izraženom kristaličnošću. To pokazuje da se metal šava na ovoj temperaturi već nalazi u potpuno krtom stanju, odnosno da je prelazna temperatura krtosti metala šava iznad -100°C . Zbog toga metala šava i nije ispitivan na temperaturi od -140°C .

Na -140°C i u osnovnom metalu i u ZUT lom se odvija klasičnim mehanizmom cepanja, skoro bez utroška energije. U oba područja je povećan broj grebena, ali se smanjuje njihova visina. Ovo je pripisano osetnom smanjenju veličine plastične zone na vrhu prsline.

POREĐENJE PARAMETARA DOBIJENIH ISPITIVANJEM ŠARPI KLATNOM

Jedna od osnovnih ideja ovog rada je da se uspostavi zavisnost energetske, deformacione i fraktografске parametara koji određuju sklonost materijala ka krtom lomu, odnosno promenu žilavosti sa temperaturom ispitivanja.

Radi lakšeg poređenja energetske, deformacione i fraktografске parametara napravljene su uporedne tabele na svim karakterističnim temperaturama ispitivanja i u sve tri zone zavarenog spoja. Njihovom analizom moguće je uspostaviti korelaciju ovih veličina i na osnovu oceniti otpornosti materijala prema pojavi krtog loma.

Veza energetske, deformacione i fraktografске parametara preloma na temperaturi 20°C

Na sobnoj temperaturi postoji dobra usaglašenost svih parametara (tab. 7), pri čemu je gotovo identičan oblik dijagrama $F - t$ za osnovni metal i ZUT.

Tabela 5. Fotografije polomljenih Šarpi epruveta

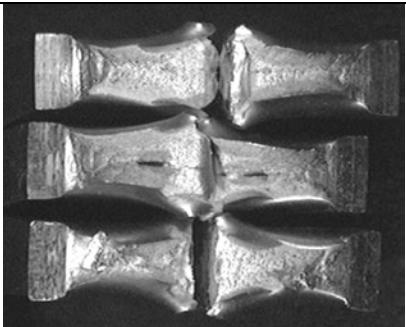
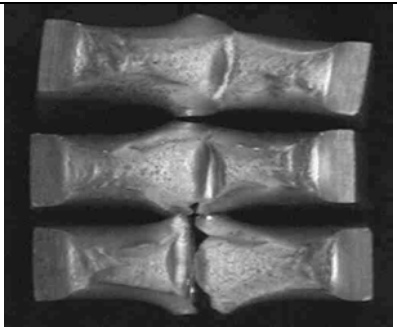
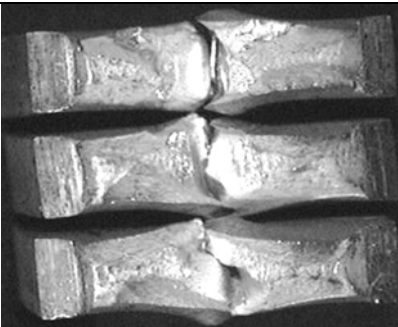
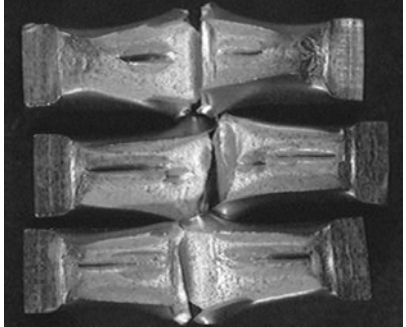
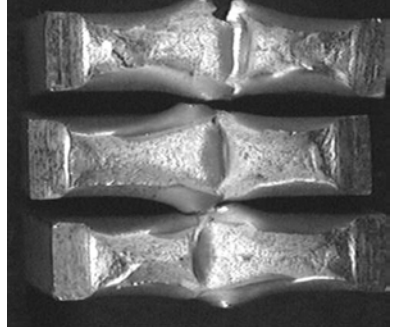
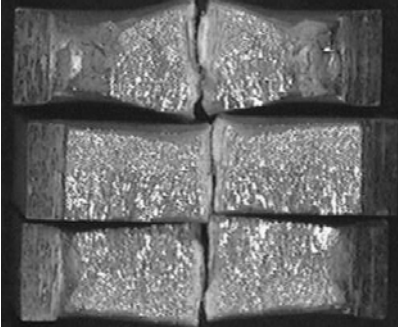
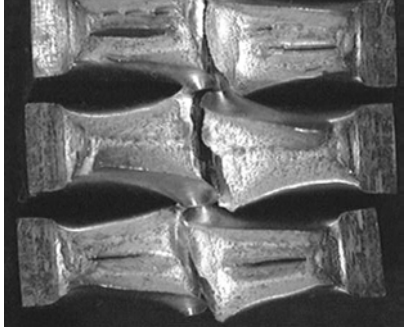
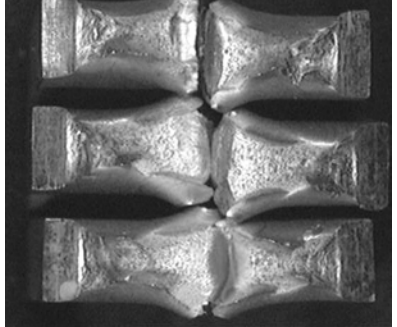
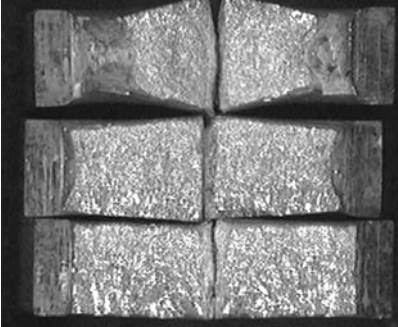
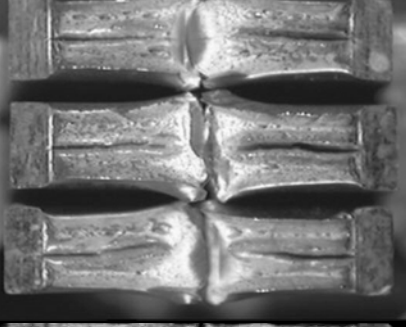

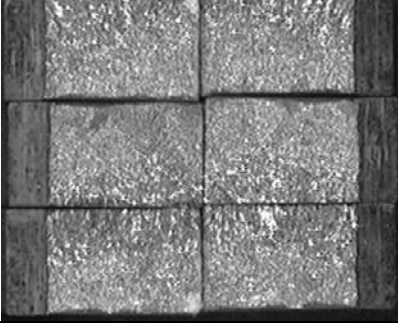



t, °C	Osnovni metal	Zona uticaja toplote	Metal šava
20			
-20			
-60			
-100			
-140			

Tabela 6. Tipični izgledi prelomnih površina Šarpi epruveta na skening elektronskom mikroskopu

t, °C	Osnovni metal	ZUT	Metal šava
20			
-20			
-60			
-100			
-140			

O dobroj usaglašenosti parametara govore i vrednosti ukupne energije udara koje su približne, zatim veličine poprečnog širenja, koje u ovim slučajevima imaju maksimalne vrednosti, kao i fraktografski snimci, na kojima je u oba područja zone uticaja toplote uočava potpuno duktilni transkristalni lom sa tipičnim jamicama razvlačenja i stabilnim rastom prsline.

Na dijagramu $F - t$ za metal šava na sobnoj temperaturi se zapaža manja površina ispod krive, koja odgovara manjoj energiji udara, zbog čega su manje i energije inicijacije i rasta prsline. Deformacija epruvete, odnosno vrednosti poprečnog širenja su manje, u skladu sa smanjenom žilavosti, a na fraktografskom snimku se uočava izraženije prisustvo sekundarnih prslina, mada se i ovde radi o čistom transkristalnom duktilnom lomu sa jamicama razvlačenja.

Analizom bilo kog parametra, dobijenog ispitivanjem na sobnoj temperaturi, može se dobiti validan podatak o otpornosti materijala prema razvoju loma, bez obzira da li se radi o dijagramu $F - t$, vrednosti energije udara, poprečnom

širenju ili fraktografskom snimku, jer su u ovom slučaju svi parametri ukazuju na izuzetno duktilno ponašanje, u odličnoj korelaciji sa izraženim jamicama razvlačenja.

Veza energetskih, deformacionih i fraktografskih parametara preloma na temperaturi -100°C

Analiza dijagrama $F - t$ na temperaturi -100°C pokazuje da nije došlo do značajnijeg pada žilavosti u osnovnom metalu i ZUT, s obzirom da oblik dijagrama pripada tipu F, što je po predlogu standarda [5] odlika potpuno duktilnog loma. U metalu šava stanje je potpuno krto, odnosno do loma dolazi praktično bez utroška energije (svega 6 J, tab. 8). Ovo je potvrđeno i veličinom poprečnog širenja, koje zavisi od energija udara, a kod metala šava je skoro jednako nuli. Međutim, ovaj zaključak ne potvrđuje, kao prvo, vizuelni pregled površina preloma, na kojima se jasno vidi udeo kristaličnosti, odnosno krtoq loma, što je više izraženo u ZUT nego u osnovnom metalu.

Tabela 7. Poređenje energetskih, deformacionih i fraktografskih parametara za zavareni spoj na sobnoj temperaturi

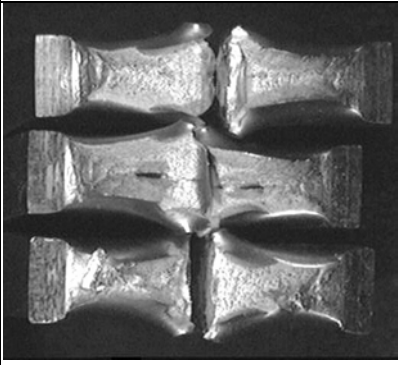
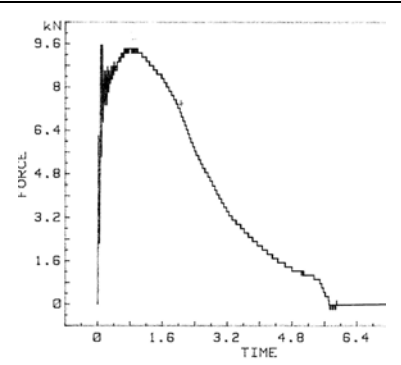
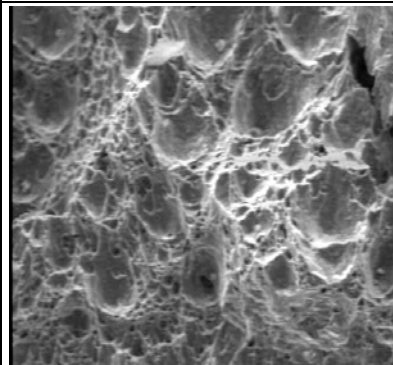
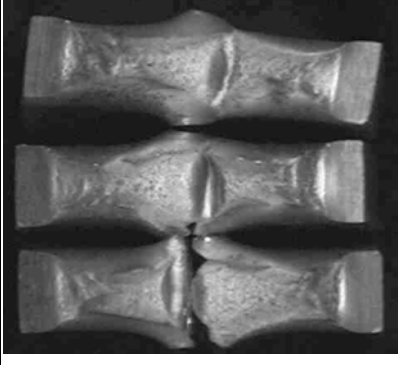
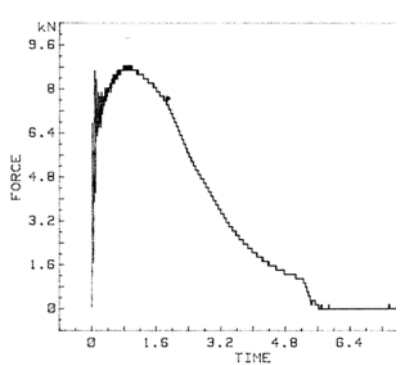
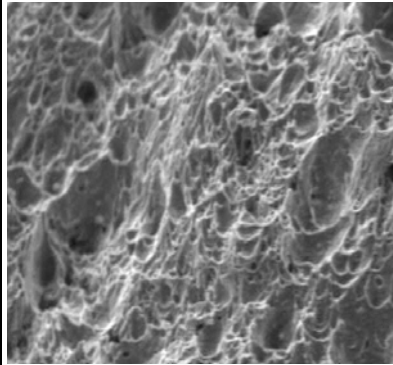

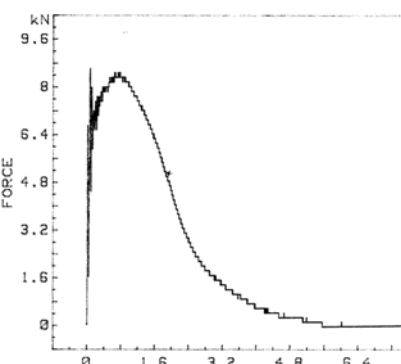
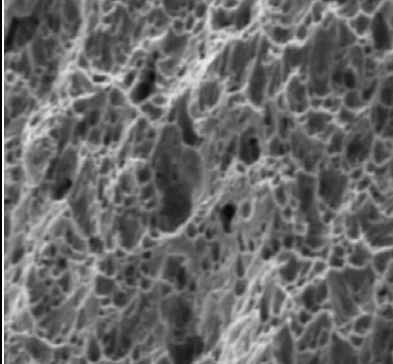
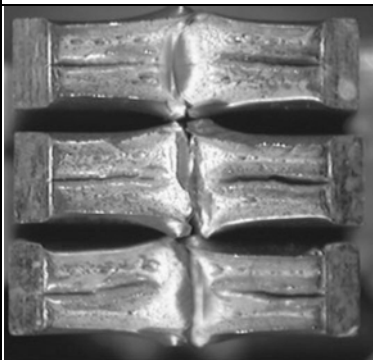
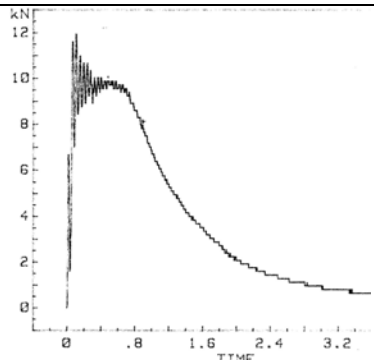
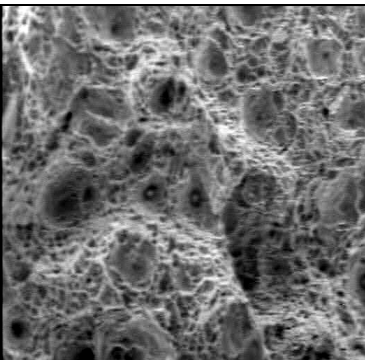
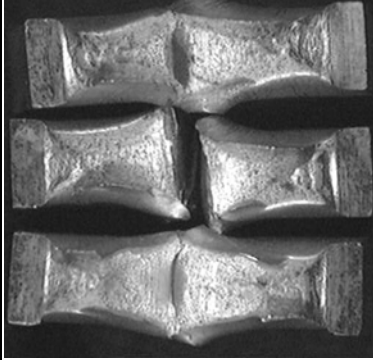
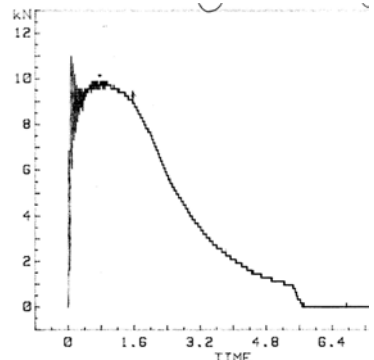
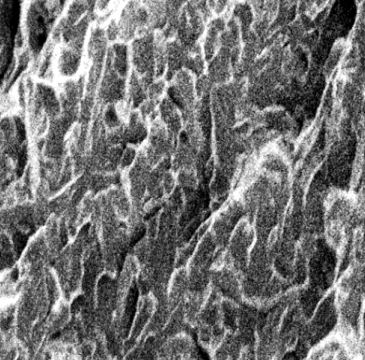
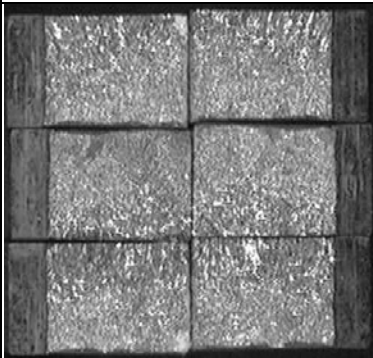
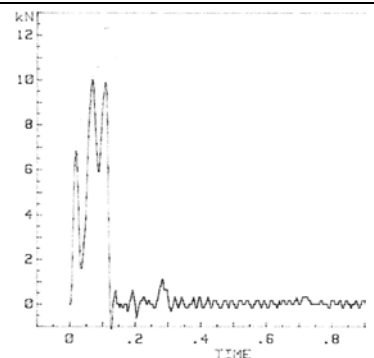
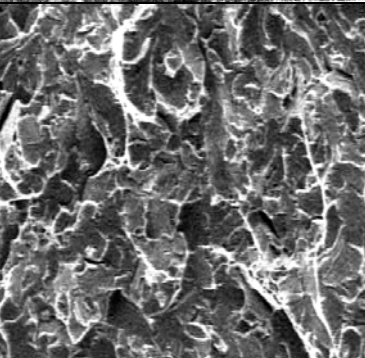
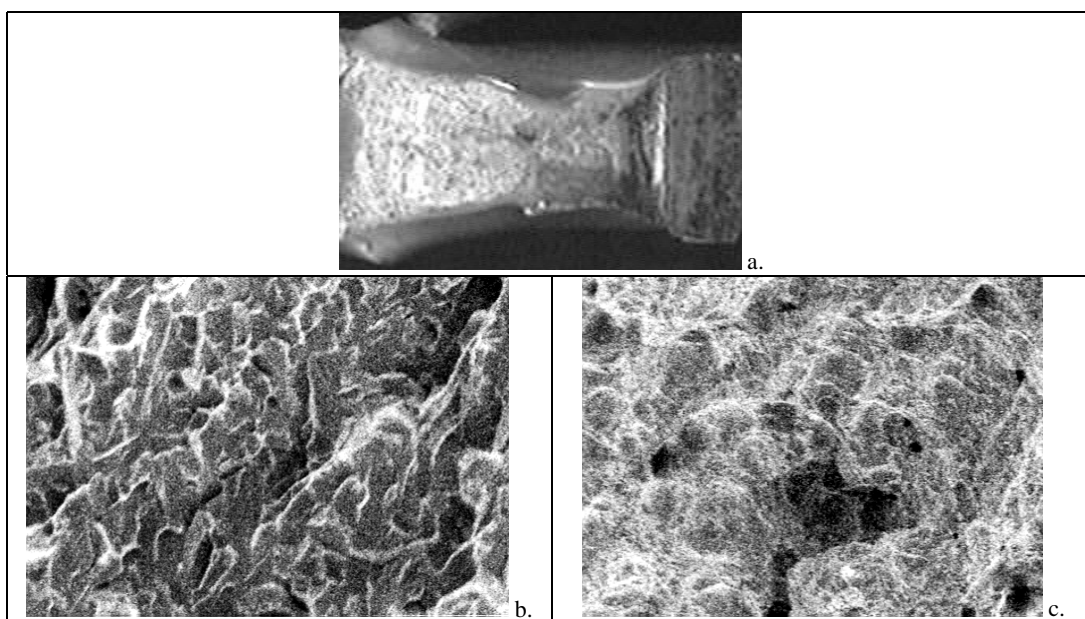
20°C	E, J $\Delta B, \text{mm}$	Deformacija	Dijagram	Fraktografski snimak
Osnovni metal	126 1,6			
ZUT	123 1,6			
Metal šava	83 1,4			

Tabela 8. Poređenje energetske, deformacione i fraktografske parametara za zavareni spoj na temperaturi -100°C

-100°C	E, J $\Delta B, mm$	Deformacija	Dijagram	Fraktografski snimak
Osnovni metal	78 1,1			
ZUT	129 1,5			
Metal šava	6 0,1			



Slika 5. Zona uticaja toplote sa dve jasno izražene oblasti: a. makroskopski snimak; b. krtilni lom; c. duktilni lom

Dalje, iz analize mehanizama loma sa fraktografskih snimaka se vidi da je u osnovnom metalu i dalje prisutan duktilni transkristalni jamičast lom, ali sa jasno izraženim područjem nestabilnog rasta prsline i kvazicepanjem, što potvrđuje i mali udeo kristaličnosti, i to na samim krajevima epruvete. Na sl. 5. su radi lakše analize uvećano pokazane dve jasno izražene oblasti na prelomu u ZUT.

U ovom slučaju udeo duktilnog loma na površini preloma je 50%, na osnovu dopunskog vizuelnog pregleda. To potvrđuju i fraktografski snimci sa prisutna dva mehanizma loma: jamičast duktilni transkristalni lom u zoni stabilnog rasta prsline ispod zarez a i krti transkristalni lom cepanjem na drugoj polovini epruvete.


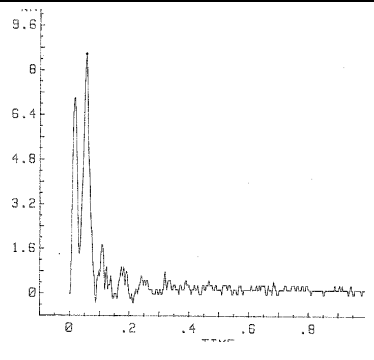
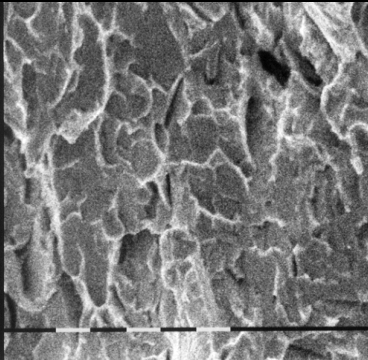
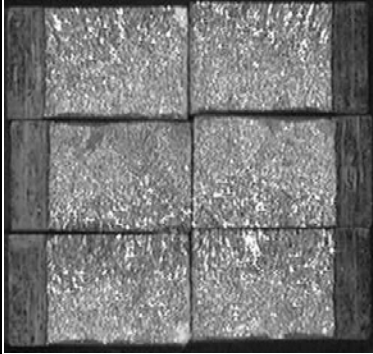
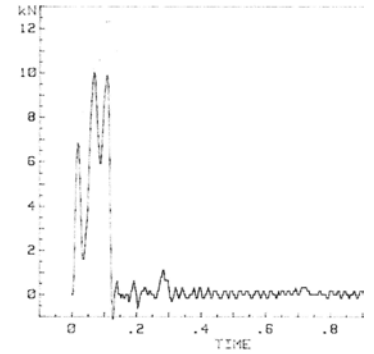
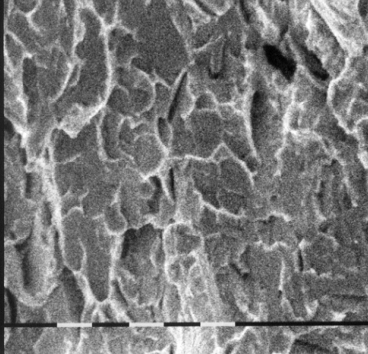
Dijagram zavisnosti $F - t$ u metalu šava pripada tipu A predloga standarda [5], na kome se javlja samo nestabilni rast prsline (tab. 8, metal šava, dijagram u sredini). To je u ovom slučaju, u punoj saglasnosti i sa fraktografskim ispitivanjima (slika desno za metal šava u tab.8), gde se vidi da se lom odvija mehanizmom cepanja, odnosno da je u pitanju čisti krti transkristalni lom. Sem toga, sa makrosnimka prelomljenih epruveta (slika levo za metal šava u

tab. 8) se jasno vidi da nema poprečnog širenja, odnosno da je lom potpuno krt. Znači, kod metala šava postoji potpuna saglasnost svih parametara koji služe za ocenu otpornosti materijala prema razvoju loma, odnosno svi ukazuju na potpuno krti lom.

Veza energetskih, deformacionih i fraktografskih parametara preloma na temperaturi od -140°C

Kako je već rečeno, ocenjeno je da je prelazna temperatura krtosti oko -120°C za osnovni metal i za ZUT, pa se na temperaturi ispitivanja -140°C očekuje potpuno krto ponašanje materijala u ovim oblastima, bilo kojim parametrom da se ocenjuje. Analiza rezultata, prikazana u tab. 9. pokazuje da postoji puna korelacija među ovim parametrima, jer se i u osnovnom metalu i u ZUT lom se odvija praktično bez utroška energije, nema plastične deformacije epruveta (slike levo), dijagram $F - t$ pripada tipu sa samo nestabilnim rastom prsline (slike u sredini), tj. udeo krtog loma je 100%, a fraktografski snimak površina preloma (slike desno) karakteriše potpuno krti transkristalni lom cepanjem.

Tabela 9. Poređenje energetskih, deformacionih i fraktografskih parametara za zavareni spoj na -140°C

-140°C	E, J $\Delta B, \text{mm}$	Deformacija	Dijagram	Fraktografski snimak
Osnovni metal	6 0,1			
ZUT	6 0,1			

ZAKLJUČAK

Sklonosti materijala ka razvoju lomu može se potpuno oceniti samo analizom svih parametara udarnog ispitivanja, jer se samo na taj način može dobiti prava slika o otpornosti materijala prema inicijaciji i rastu prsline i o mehanizmu loma.

Iz izvedene analize se može zaključiti da je ocena na osnovu samo jednog kriterijuma valjana u slučajevima kada je duktilnost izrazita (na sobnoj temperaturi za sve oblasti zavarenog spoja - osnovni metal, ZUT i metal šava), i kada

je krto ponašanje izrazito (na temperaturi -100°C za metal šava i na -140°C za ZUT i osnovni metal). U tim uslovima svi razmatrani parametri su saglasni, pa je jedan od njih dovoljan za ocenu.

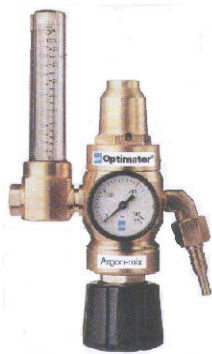
U slučaju mešovito loma izbor merodavnog parametra je delikatan, jer je izvedena analiza pokazala da parametri nisu uvek međusobno saglasni, pa nijedan od ponuđenih parametara pojedinačno ne može da potpuno definiše proces i mehanizam loma. Zbog toga je neophodno za ocenu žilavosti koristiti više parametara.

Za detaljniju analizu žilavosti materijala kada je u pitanju mešoviti lom, neophodno je izvesti ispitivanje na instrumentiranom Šarpi klatnu, analizirati dobijeni dijagram $F - t$, na osnovu makrografskog snimka oceniti zdeo krtog, odnosno duktilnog loma na površini preloma, a prema mogućnosti izvesti i dodatna fraktografska ispitivanja radi utvrđivanja mikromehanizama loma. Tek poređenjem i analizom svih podataka dobijenih u ovim ispitivanjima moguće izvesti potpunu ocenu o otpornosti ispitivanog materijala prema nastanku i rastu prslina, o njegovoj sklonosti ka krtom lomu, i eventualno utvrditi potencijalna mesta nastanka loma u mikrostrukтури. Kada su u pitanju zavareni spojevi, kao što je slučaj u ovom ispitivanju, heterogenost mikrostrukture, izražena zbog postojanja tri oblasti (osnovni metal, zona uticaja toplote i metal šava) uslovljava kompleksnu analizu radi utvrđivanja kritičnog područja.

LITERATURA

1. Instrumented Impact Testing, (1974). STP 563, ASTM, Philadelphia
2. I. Blačić, V. Grabulov (1999): "Značaj fraktografskih ispitivanja u projektovanju metalnih delova i konstrukcija", Naučno-tehnički pregled, Vol.XLIX, br.5, Beograd
3. A. Radović, (1982): "Zavareni spojevi kao kritično konstrukcijsko mesto na sudu pod pritiskom", Druga međunarodna letnja škola mehanike loma "Savremeni aspekti projektovanja i izrade sudova i cevovoda pod pritiskom", ur. S. Sedmak, TMF – GOŠA, Beograd
4. O. Popović (2000): "Ispitivanje ponašanja zavarenih spojeva mikrolegiranih čelika povišene čvrstoće pri udarnom opterećenju primenom instrumentiranog klatna", Magistarska teza, Mašinski fakultet, Beograd
5. Proposed standard method for the instrumented Charpy V impact test on metallic materials, (1994), ESIS

ELGA OPTIMATOR®



Ako je zavarivanje vaš izbor da se obogatite onda nipošto ne biste smeli da preskočite ovaj članak.

Radeći sa MIG/MAG i TIG postupcima zavarivanja lako je zaključiti koliko cena žice utiče na ukupnu cenu zavarivačkog rada. S druge strane, retko se ko dublje upušta u analizu kako potrošnja gasa utiče na tu krajnju cenu zavarivanja. U radu sa konvencionalnim materijalima i CO₂ zaštitnim gasom to i nije bila neka velika stavka u ukupnim troškovima. Međutim, tehnološki napredak diktira primenu novih materijala gde CO₂ ne može da zadovolji kao zaštitni gas, a to opet zahteva primenu raznih mešavina gasova koje su znatno skuplje čak i od argona.

Novi **ELGA OPTIMATOR®** ima osnovnu namenu da redukuje potrošnju zaštitnog gasa u proseku za oko 30 %. Za samo nekoliko meseci korišćenja ovaj uređaj otplaćuje sam sebe, a sve preko toga predstavlja čist profit.

Princip rada **ELGA OPTIMATORA®** prikazan je na dijagramu. Za razliku od klasičnih manometara, ovde imamo kontrolu protoka gasa na zadatom nivou već od prve sekunde. Takođe, taj početni protok gasa je približno ¼ od početnog protoka gasa na klasičnim manometrima. Druga, ništa manje važna činjenica je da niži početni protok gasa ima veliki uticaj na kvalitet zavarenog spoja jer smanjuje turbulenciju protoka gasa, a time i onečišćenje zavarenog spoj.

Daljom analizom dijagrama može se zaključiti da se najveće uštede mogu očekivati ne mestima gde se rade kraći spojevi. Ta ušteda može da se kreće i do 50%. Pod normalnim okolnostima korišćenja ova investicija se vraća 250% već u prvoj godini. Ako ove procenite pretvorimo u nešto opipljivo dobijamo: za tri godine korišćenja **ELGA OPTIMATORA®** uštedete novca za jedan novi MIG/MAG uređaj za zavarivanje ili sa istom količinom gasa možete uraditi i do 50% više zavarenih spojeva nego obično.

ELGA OPTIMATOR® je dobitnik **VELIKE ZLATNE MEDALJE** na poslednjoj Međunarodnoj specijalizovanoj izložbi zavarivanja u Novom Sadu.

Više informacija o ovom proizvodu možete naći na Internet adresi: www.optimator.elga.se ili www.refit.co.yu. Generalni distributer **ELGA OPTIMATORA®** je firma "REFIT" iz Beograda (011/ 511-400; 500-234).

