

ORIGINALNI NAUČNI RAD

I. Glavardanov, S. Sedmak, B. Petrovski*

ODREĐJIVANJE OTPORNOSTI PREMA NASTAJANJU PRSLINE
ČELIKA POVIŠENE ČVRSTOĆE I NJEGOVOG ZAVARENOG
SPOJA POMOĆU J INTEGRALA

Rezime

U radu su određivanje osobine porasta prsline mikrolegiranog čelika povišene čvrstoće, SUMITEN 80P, i njegovog zavarenog spoja, u elastičnom i plastičnom području, na razvoj J-integrala upotrebom metode popustljivosti sa jednim uzorkom. Metod popustljivosti sa jednim uzorkom omogućuje crtanje zavisnosti između J i dužine prsline Δa pri rasterećenju i ponovnom opterećenju, na osnovu samo jednog zapisa F-V.

DETERMINATION OF CRACK RESISTANCE PROPERTIES OF
HSLA STEEL AND ITS WELDED JOINT USING J-INTEGRAL

Summary

In the present paper an attempt is made to determine crack growth properties of HSLA steel SUMITEN 80P (produced by SUMITOMO-Japan) and its submerged arc welded joint for both elastic and plastic regimes, by single specimen compliance method for J integral evaluation.

Single specimen compliance method enables, by unloading and reloadings, the relationship between J and crack extension Δa to be plotted on the basis of only one F-V record.

*) Glavardanov Ivan, dipl.ing., docent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad, V.Perića-Valtera 2.

Sedmak dr Stojan, dipl.ing., redovni profesor, Petrovski mr Blagoje, dipl.ing., asistent - Tehnološko-metalurški fakultet, 11000 Beograd, Karnagijska 4.

Rad objavljen na "8th Congress on Material Testing", Budapest, 28th September - 1st October 1982.

1. UVOD

Poteškoće kod eksperimentalnog određivanja parametara mehanike loma su dobro poznate. Žilavost loma K_{IC} , može da se odredi samo za krte materijale. Kod vrlo žilavih materijala, dimenzije uzoraka potrebne za važeću vrednost K_{IC} mogu biti suviše velike, i ispitivanje se ne može izvoditi na uobičajenim mašinama koje se koriste. COD i njegova kritična vrednost, δ_c , definisan u plastičnoj mehanici loma, kao uporedni kriterijum loma /2/ može se koristiti za specijalne primene (npr. značajan defekt u zavarima ili odabiranje materijala) /3/ kao posledica proizvoljne prirode definicije COD (δ). Rice-ova definicija konturnog J-integrala nezavisnog od puta /4/ i mnogi eksperimentalni radovi /5/, /6/, omogućuju razvoj metoda za razvoj J-integrala u elastičnom i plastičnom režimu. Postoje, naravno, nesigurnosti i sumnje kako da se objasni upotreba rezultata dobijenih pri različitim uslovima ispitivanja, ali u ovom momentu može se zaključiti da je J-integral parametar mehanike loma koji najviše obećava. Definisan kao energetski kriterijum, J-integral može uspešno da zameni i K_{IC} i COD (δ). To nagoveštava da se ispitivanje razvoja J ograničava na savijanje u tri tačke prethodno zamorenih uzoraka /1/, /2/. Ali, originalno, ukupna apsorbovana energija za J-integral je definisana preko površine dijagrama opterećenje - pomeranje napadne tačke sile (F-a) dok standardne procedure ispitivanja mehanike loma, zahtevaju registrovanje krive opterećenje - pomeranje pri otvaranju. Metoda predložena u referenci /7/ omogućuje izračunavanje J iz krive F-V. Korišćenje F-V za energetsko proračunavanje J je omogućeno eksperimentalnom zavisnošću između ugiba q i pomeranja pri otvaranju V u obliku prave linije (odbacujući mali deo u blizini tačke početka) za ispitivani čelik (Sumiten 80P). Da bi se dobila J_R kriva (J prema dužini prslina) predložen je metod ispitivanja sa više uzoraka /8/ koristeći različite dužine prslina. Jasno je da je predložen metod sa više uzoraka neadekvatan za laboratorijsku praksu i sa ekonomske tačke gledišta. Metod popustljivosti, sa jednim uzorkom /9/ omogućuje crtanje zavisnosti između J i dužine prslina Δa pri rasterećenju i ponovnom opterećenju, na osnovu samo jednog zapisa F-V.

U ovom radu odredjivane su osobine porasta prsline HSLA čelika, Sumiten 80 P (koji proizvodi Sumitomo - Japan) i njegovog zavarenog spoja, u elastičnom i plastičnom području, na razvoj J integrala upotrebom metode popustljivosti sa jednim uzorkom.

2. EKSPERIMENTALNI DEO

Uzorak za savijanje u tri tačke, odredjen po ASTM-u E 399 i BS 5762 izabran je kao najpodesniji za uporedjenje standardnih parametara, K_{Ic} , δ_c i J-integrala. Izvodjenje ispitivanja na uzorcima za savijanje u tri tačke ($B = 22,5$ mm, $W = 45$ mm, $S = 180$ mm) sa postavljenim meračem otvaranja iznad površine na visini $z = 2$ mm nije pokazivalo razlike u popustljivosti na linijama rasterećenja koje su ostale paralelne jedna drugoj. Stoga nije bilo moguće utvrditi zavisnost J-Aa iz ovih dijagrama. Potrebno je bilo prekonstruisati uzorke, kako to pokazuje slika 1, tako da je merač otvaranja mogao biti postavljen na upuštenoj površini bliže vrhu prsline, sa negativnom vrednošću z . U uzorcima je prethodno načinjena zamorna prsline, pre nego što je obradom upuštena nova površine za pričvršćivanje nožića.

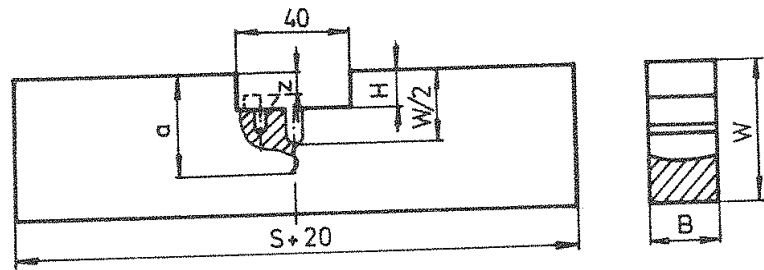
Još uvek je nejasno kako izabrati dužinu ligamenta ($W-a$) i odnos a/W . Preporuka je da se kao minimalna vrednost odnosa a/W uzima 0,5 /8/, ali su eksperimenti takodje izvodjeni i sa odnosom a/W izmedju 0,25 i 0,6 /7/. Do sličnih neodredjenosti se došlo i pri izboru nivoa rasterećenja. Utvrđeno je da rasterećenja do 10% nemaju uticaj na vrednost J-integrala /8/, ali se ispitivanja mogu izvoditi i sa rasterećivanjima čak i do 30% a možda i više.

Eksperiment je izveden na četiri uzorka, isečena iz osnovnog metala i četiri uzorka, isečena iz zavara. Tipičan izgled dijagrama za osnovni metal je dat na slici 2, a za zavar na slici 3.

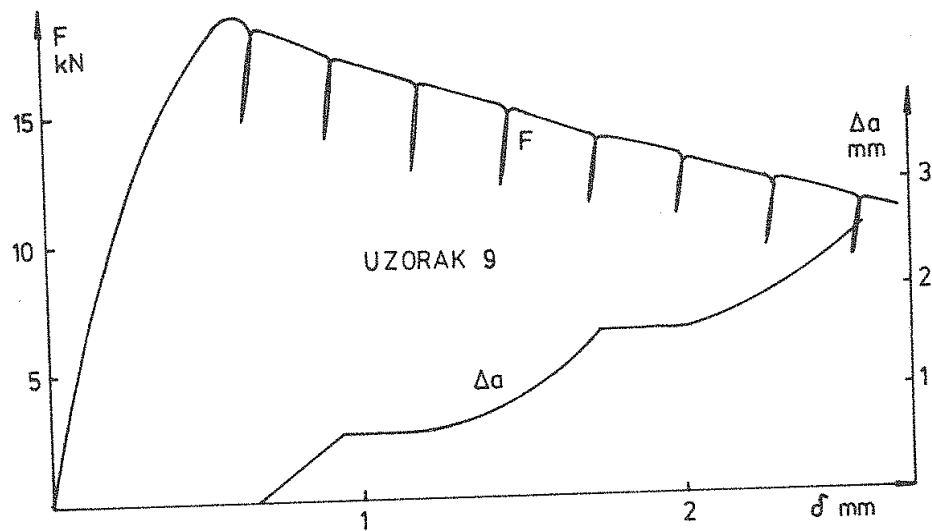
Sa ciljem da se analizira efekat dužine ligamenta na J-integral, uzorci su bili zamarani do različitih odnosa a/W , sa najmanjom vrednošću oko $a/W=0,6$ (Tabela 1). Usvajanjem podataka iz literature, nivo rasterećenja je bio ograničen do oko 30%.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

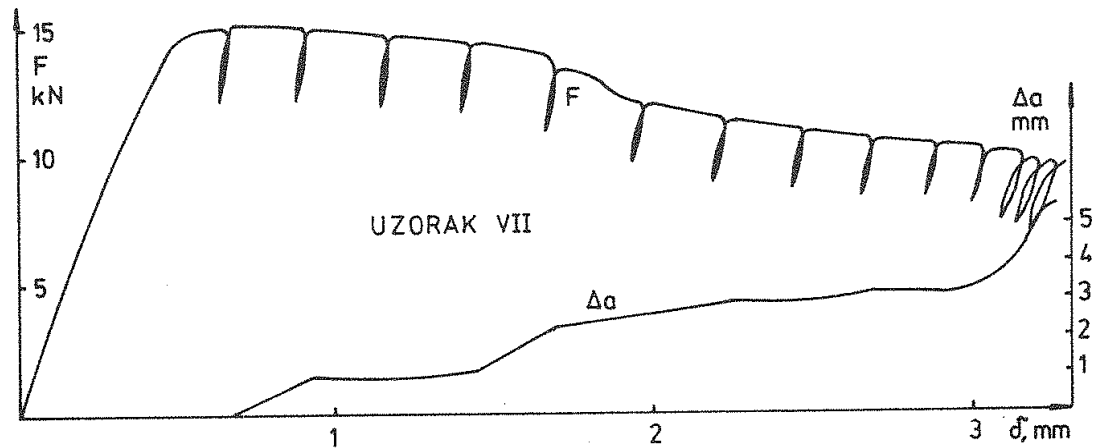
Rezultati su dati u Tabeli 1. Koristeći podatke iz Tabele 1, konstruisana je J kriva otpornosti za osnovni metal i zavar



S1.1



S1.2



S1.3

Tabela 1.

U Z O R A K		Debljina	Dubina	Dužina prsline	Max.op.pri zamaranju	Uslovno opterećenje	Max.registr. opterećenje	O d n o s a/W	Uslovni fak. intenziteta napona	Vrednost J _{Ic}	K _{Ic} izračunat preko J _{Ic}
		B	W	a	F _{max}	F _Q	F _M		K _Q	J _{Ic}	K _{Ic}
		mm	mm	mm	kN	kN	kN		MPa	m	MJ/m ²
Osn.met.	3	22,0	45,2	28,0	20	29,3	40,7	0,62	100,9	0,188	206,3
	6	22,0	45,2	31,3	14,2	17,9	27,4	0,69	83,1	0,136	175,5
	9	22,1	45,2	34,3	9,5	13,0	18,9	0,76	80,3	0,145	181,2
	10	22,0	45,2	27,6	22,7	33,6	47,9	0,61	112,1	-	-
Z a v a r	II	21,9	42,5	24,7	10,3	28,6	45,8	0,58	93,7	0,180	201,9
	IV	21,9	42,5	29,4	9,0	15,2	25,6	0,69	77,6	0,124	167,5
	VII	21,9	42,5	32,3	9,5	13,2	15,1	0,76	90,2	0,086	139,5
	XI	21,9	42,5	25,4	11,1	30,6	41,0	0,60	107,2	-	-

(sl.4 i 5). Dužina prsline a za svaku tačku rasterećenja je izračunata preko izraza /9/:

$$\Delta a = \frac{\Delta c}{c} \frac{W - a_{i-1}}{2} \quad (1)$$

gde

$$\frac{\Delta c}{c} = \frac{\operatorname{tg} \alpha_i - \operatorname{tg} \alpha_{i-1}}{\operatorname{tg} \alpha_i} \quad (2)$$

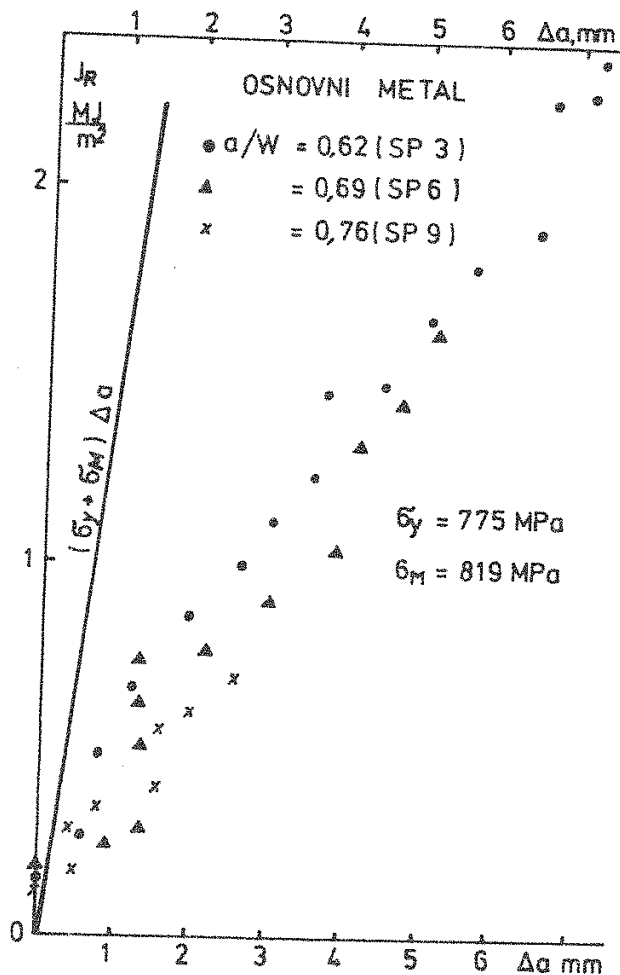
označava smanjenje popustljivosti, izraženo preko promene nagiba linije rasterećenja, i $W - a_{i-1}$ je odgovarajuća dužina ligamenta.

J-integral je računat kao zbit elastične i plastične komponente, koristeći /7/:

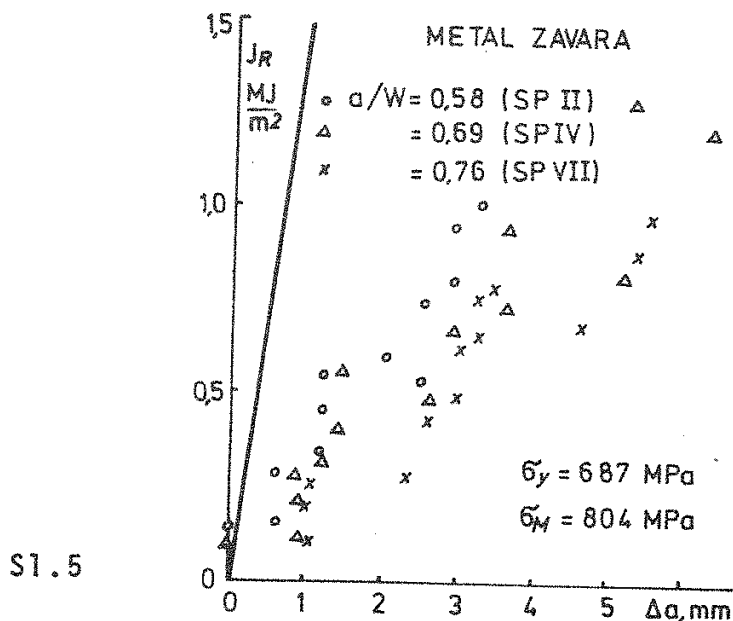
$$J = J_e + J_p = \frac{K^2(1-\nu^2)}{E} + \frac{2}{B(W-a)} \frac{F_y(V-V_{el})S}{(a+0,4(W-a)+z)} \quad (3)$$

K je faktor intenziteta napona za maksimalno registrovano opterećenje, F_M ; V i V_{el} su ukupna i elastična veličina otvaranja; F_y je granica tečenja; B, W, a S su dimenzije uzorka.

Slike 4 i 5 pokazuju da osnovni metal ima bolje osobine od osobina zavara u odnosu na porast prsline. Za isti odnos a/W i za istu dužinu prsline, vrednost J je veća za osnovni metal. Vrednost J_{Ic} takodje ukazuje na bolje ponašanje osnovnog metala, posebno za male ligamente.



SI.4



SI.5

Rasipanje vrednosti J , sa porastom prsline je više naglašeno za zavar. To se može pripisati defektima u zavarima.

4. ZAKLJUČAK

1. J -integral je metod koji mnogo obećava pri odredjivanju osobina otpornosti prema proširenju prsline.
2. Uz upotrebu rasterećenja i ponovnog opterećenja, J_R kriva se može konstruisati na osnovu ispitivanja samo jednog uzorka; vrednost J_{Ic} se može izračunati iz J_R krive.
3. Osobine osnovnog metala čelika Sumiten 80P u poredjenju sa zavarom izvedenim pod prahom su bolje; položaj J_R krive kao i vrednost J_{Ic} su više.

LITERATURA

- [1] Standard Test Method for Plane Fracture Toughness of Metallic Materials, ANSI/ASTM E399-78
- [2] Methods for Crack Opening Displacement (COD) Testing, The British Standard Institution, BS5762:1979
- [3] Harrison, J.D.: The "State-of-the Art" in Crack Tip Opening Displacement (CTOD) Testing and Analysis, Metal Construction, September 1980; October 1980, November 1980.
- [4] Rice, J.R.: A Path Independent Integral and the Approximate Analysis of Strain Concentration by Notches and Cracks, J App. Mech, 1968, 35 Series E(2, June).
- [5] Bucci, R.J., Paris, P.C., Landes, J.D., Rice, J.R.: J Integral Estimation Procedures, ASTM - STP 514 Part II, pp. 40-69.
- [6] Landes, J.D., Begley, J.A.: Test Results from J Integral Studies: an Attempt to Establish a J_{Ic} Testing Procedure, ASTM-STP 560, 1974, pp.170-186
- [7] Sumpter, J.D.G., Turner, C.E.: Method for Laboratory Determination of J_{Ic} , ASTM-STP 601, 1976, pp.3-18
- [8] Latzko, D.G.H., ed.: Post-Yield Fracture Mechanics, Applied Science Publishers, Ltd, London, 1979, pp.211-253
- [9] Clarke, G.A., Andrews, W.R., Paris, P.C., Schmidt, D.W.: Single Specimen Tests for J_{Ic} Determination, ASTM-STP 590, 1976, pp.27-42.
- [10] De Castro, P.M.S.T., Radon, J.C., Culver, L.E.: J-Resistance Curve and Ductile Tearing of a Mild Steel, Int.J.Fatigue, July 1979, pp.153-158.