

ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE WELDING & WELDED STRUCTURES

GOD. XLIV

4

1999.



Са електродама ФЕП
заварено заувек

А.Д. ФАБРИКА ЕЛЕКТРОДА "ПИВА" ПЛУЖИНЕ



JUS ISO 9002



ZAVARIVANJE

ZAVARENE KONSTRUKCIJE

WELDING & WELDED STRUCTURES

ČASOPIS
JUGOSLOVENSKOG SAVEZA ZA ZAVARIVANJE
IZLAZI TROMESEČNO

YUGOSLAV WELDING ASSOCIATION
QUARTERLY REVIEW

Vol. 44 | No. 4 | 135-210 | BEOGRAD | JUGOSLAVIJA | 1999.

IZDAVAČI:

Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji (DUZS)
Zavod za zavarivanje, Beograd
YUWELD, Beograd
Goša Institut, Smederevska Palanka
Časopis sufinansiraju:
Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije
Savezno ministarstvo za razvoj, nauku i životnu sredinu

GLAVNI I ODGOVORNI UREDNIK

Prof. dr Stojan Sedmak

REDAKCIJA

Nauka, istraživanje, razvoj: Prof. dr Aleksandar Sedmak
Praksa: Božidar Delić, dipl. inž.
Standardizacija i kvalitet: Vlada Vojnović, dipl. inž.
Obrazovanje: Mr Jovica Dakić
Iz rada MIZ: Mr Zoran Radaković
Vesti: Mirjana Smiljanić, dipl. inž.
Defektoskopija materijala: Mr Antun Fertilio
Sekretar: Vera Božić

IZDAVAČKI SAVET

Prof. dr Aleksandar Radović, predsednik
Prof. dr Vitimir Đorđević, prof. dr Bela Sabo
Ljubiša Cvetković, dr Vencislav Grabulov, Sava Đurić,
Radovan Ćirić, Radomir Milićević, Miomir Mirčić

TEHNIČKI UREDNICI

Zoran Radaković, Spomenka Bojanić

CENA I NARUDŽBINA

U pretplati za 1999. godinu:
- za preduzeća 480,00 din
- za pojedince 300,00 din
Pojedinačna cena broja 150,00 din
Cena za inostranstvo (Annual subscription)..... US 80 \$
Uplata na žiro račun DUZ Srbije broj 40816-678-5-4239

Tiraž: 600 kom.

Štampa: Zavoda za grafičku tehniku Tehnološko-metalurškog fakulteta, Beograd, Karnegijeva 4

Na osnovu mišljenja Ministarstva za nauku i tehnologiju Republike Srbije br. 413-00-165/96-01 od 02.04.1996. časopis "ZAVARIVANJE I ZAVARENE KONSTRUKCIJE" je od posebnog interesa za nauku, pa se prilikom njegovog stavljanja u promet ne plaća porez na promet proizvoda.

REDAKCIJA ČASOPISA

Adresa: Grčića Milenka 67, I sprat, Beograd
Telefon: 011/414-301 Telefaks: 011/402-849
E-mail: asedmak@eunet.yu

SADRŽAJ / CONTENTS

NAUKA * ISTRAŽIVANJE * RAZVOJ

- M. Essamei, Z. Radaković, A. Sedmak, B. Petrovski*
Direktno merenje J integrala kao ocena podobnosti za upotrebu J-integral direct measurement as an assessment of fitness for service 137
M. Arsić, S. Sedmak
Analiza radnih opterećenja i radni vek bagera na površinskim kopovima
Service loading analysis and service life of excavator on surface coal 142
P. Dašić, S. Đurić
Izbor regresionih funkcija dimenzija navara pri zavarivanju pod praškom
Regression functions choice of surfacing size at submerged arc welding 149
A. Milovanović, A. Sedmak, A. Milosavljević, V. Aleksić
Inženjerske metode procene integriteta zavarenih konstrukcija i njihova primena
Engineering methods for welded structures integrity assessment and their application 155
A. Ljevar, V. Mulić, J. Cvejić
Dinamika procesa hlađenja zavarenog spoja
Dynamics of welded joint cooling process 160

PRAKSA

- Z. Odanović, V. Grabulov*
Zavarivanje martenzitno starenog čelika
Welding of maraging steel 163
V. Grabulov, I. Blačić, Z. Odanović, D. Vračarić
Ocena uzroka loma zavarenih spojeva katalitičkih cevi
The evaluation of failure causes of catalytic pipe weldments ... 166
S. Sedmak, Z. Burzić, A. Fertilio, T. Maneski, B. Aleksić
Postupak kvalifikacije opravke zavarivanjem zagrejača napojne vode
Qualification procedure for repair by welding of the inlet water heater 173
B. Sabo, J. Dakić, M. Pantelić, V. Dobranić
Zavisnost dimenzija poprečnog preseka šava od parametara TIG zavarivanja
Dependence of weld cross-section dimensions on tig welding parameters 179

STANDARDIZACIJA I KVALITET

- V. Majstorović*
Unapređenje kvaliteta - ISO 9000:2000
Quality improvement - ISO 9000:2000 183
R. Ćirić, Z. Jugović, M. Klasanović
Sistem za obezbeđenje kvaliteta zavarenih spojeva reznih alata
Quality assurance system for cutting tools welded joints 189
M. Smiljanić
Projektovanje termičkih procesa u izradi zavarenih proizvoda
The design of heat treatment processes in welded products manufacturing 193
VESTI 197

A. Milovanović, A. Sedmak, A. Milosavljević, V. Aleksić, M. Zrilić

INŽENJERSKE METODE PROCENE INTEGRITETA ZAVARENIH KONSTRUKCIJA I NJIHOVA PRIMENA

ENGINEERING METHODS FOR WELDED STRUCTURES INTEGRITY ASSESSMENT AND THEIR APPLICATION

Stručni rad / Professional paper

UDK /UDC: 621.791.05:539.42

Rad primljen / Paper received: 6.10.1999.

Adresa autora / Author's address:

Mr Andra Milovanović, Vujadin Aleksić, dipl. inž.

Institut "Goša", Smederevska Palanka

Prof. dr Aleksandar Sedmak, prof. Anđelka Milosavljević

Mašinski fakultet, Beograd

Mr Milorad Zrilić, Tehnološko-metalirški fakultet, Beograd

Ključne reči

- J integral
- otvaranje vrha prsline (CTOD)
- sila rasta prsline
- metoda KING,
- metoda REI
- metoda JWES

Izvod

U radu se analiziraju tri inženjerske metode: KING, REI i JWES2805 i mogućnost njihove primene na zavarene spojeve, imajući u vidu osobine zavarenih spojeva, a sve sa ciljem dobijanja dovoljno tačne i jednostavne inženjerske procedure za određivanje sile rasta prsline u zavarenim spojevima u kojima su prisutni zaostali naponi i geometrijske nepravilnosti.

Key words:

- J integral
- crack tip opening displacement (CTOD)
- crack driving force
- King's method
- REI method
- JWES method

Abstract

Three engineering methods, KING, REI and JWES, and the possibility of their application to welded joints, having in mind their properties, are analyzed in the paper, with the aim to get sufficiently accurate and simple engineering procedure for determination of crack driving force in welded joints in which residual stresses and geometrical imperfections are present.

UVOD

Poseban značaj u primeni mehanike loma imaju zavareni spojevi, kod kojih se ne sme zanemariti mogućnost postojanja ili nastajanja grešaka tipa prsline. Analiza ponašanja zavarenih spojeva sa prslinama je od bitnog značaja za njihovu sigurnu eksploataciju. Suština te analize je određivanje sile rasta prsline (SRP), koja treba da obuhvati i specifičnosti zavarenih spojeva kao što su zaostali naponi i geometrijske nepravilnosti, što se može ostvariti teorijski, analitički ili numerički. Poslednjih godina sve veći interes privlači tzv. inženjerski pristup, koji kombinacijom metoda uprošćava određivanje SRP, i dovodi do brze i efikasne primene uz dovoljnu tačnost i konzervativnost procene.

Cilj rada je analiza inženjerskih metoda i eventualna modifikacija i primena na određivanje SRP zavarenih spojeva, uzimajući u obzir zaostale napone i geometrijske nepravilnosti.

ANALITIČKO REŠAVANJE ELASTO-PLASTIČNOG PROBLEMA MEHANIKE LOMA ZA ZAVARENI SPOJ

Tri pristupa u elasto-plastičnoj mehanici loma su omogućila razvoj praktičnog inženjerskog pristupa, a to su:

- identifikacija J integrala i otvaranja prsline (COD) kao pogodnih karakterističnih parametara za elastični lom,
- razvoj procedure približnog analitičkog rešenja u elasto-plastičnom domenu za tela sa prslinama i
- razvoj metode konačnih elemenata, uzimajući u obzir nestišljivost, pogodnu za proračun u domenu potpune plastičnosti.

Radi sprečavanja loma u zavarenoj konstrukciji treba razmotriti tri osnovne veličine:

- veličinu početne greške (prsline),
- kritičnu veličinu prsline,
- karakteristike širenja podkritične prsline

Pouzdana ocena kritične veličine prsline može se dobiti korišćenjem krive otpornosti na rast prsline. U zavarenim konstrukcijama prisustvo prsline se ne sme zanemari naročito u zoni uticaja toplote (ZUT) i u metalu šava.

Uticaj nehomogenosti, zaostalih napona i geometrijskih nepravilnosti zavarnog spoja na silu rasta prsline

Heterogenost strukture i mehaničkih osobina zavarenih spojeva doprinosi složenosti problema, pre svega u zavisnosti od položaja vrha prsline i osobina područja kroz koja se lom razvija. Ako se zavareni spoj tretira kao konstrukcijska celina, od interesa je odrediti merodavne podatke za najslabije mesto kada je u pitanju lokalno ispitivanje, kao što je određivanje parametara mehanike loma (žilavost loma

pri ravnoj deformaciji, K_{Ic} , kritična vrednost J integrala, J_c , kritično otvaranje vrha prsline, $CTOD_c$), dok je za zateznu čvrstoću, podatak za zavareni spoj kao celinu merodavan, a ne pojedinačni rezultati za metal šava ili za osnovni metal.

U opterećenoj zavarenoj konstrukciji veoma je važno poznavati veličinu, znak i raspored zaostalih napona, jer eksperimenti i primeri iz prakse upućuju na zaključak da zaostali naponi utiču na:

- pomeranje prelazne temperature krтости prema višim vrednostima,
- sniženje otpornosti prema korozionom lomu, i
- sniženje zamorne čvrstoće materijala.

Geometrijske nepravilnosti, kao što su izbočenje ili udubljenje mogu povoljno ili nepovoljno da utiču na otpornost prema rastu prsline. Ako je prsline na izbočenoj strani, zbog uticaja udaljenog napona javljaju se dopunski momenti savijanja suprotnog smera, koji izazivaju izduženje u preostalom ligamentu i manje pomeranje otvora prsline od očekivanog. Ovo znači da u zavisnosti od procesa savijanja (npr. kod posude pod pritiskom) lokalno područje podužnog zavarenog spoja može biti ispupčeno, udubljeno ili pravilnog cilindričnog oblika, koji prati radijus ljuske. U zavisnosti od toga pri opterećenju posude javljaju se dopunski momenti savijanja koji različito utiču na ponašanje prsline /1/.

Inženjerske metode proračuna parametara mehanike loma zavarenih spojeva

Inženjerske metode mehanike loma mogu da se podele u dve grupe:

- prva grupa obuhvata metode koje se zasnivaju na analitičko-numeričkim izrazima, npr. Kingova metoda proračuna elasto-plastičnih parametara za površinske prsline u zategnutim pločama, i Ratvani-Erdogan-Irvinova (REI) metoda proračuna elasto-plastičnih parametara za površinske prsline u tankim ljuskama;
- druga grupa se odnosi na metode koje se zasnivaju na eksperimentalnim rezultatima, kao što je CTOD projektna kriva, JWES 2805 i metoda inženjerskog razmatranja (ETM).

Tri modela za dobijanje sila rasta prsline za različite dubine prsline i delujuće napone sa uticajem zaostalih napona od zavarivanja i napona od geometrijske nepravilnosti će biti razmatrana u ovom radu:

- uprošćeni KINGOV model niza opruga;
- model REI;
- model JWES2805.

METODE ZASNOVANE NA ANALITIČKO-NUMERIČKIM IZRAZIMA

Kingova metoda

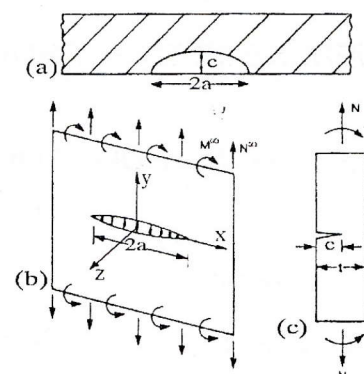
Osnovna ideja Kingove metode je da trodimenzionalni (3D) problem može da se reši kombinacijom dvodimenzionalnih (2D) problema (ravnog stanja napona i deformacije), sl.1.

Kingov model je ustvari uprošćen model niza opruga, koje zamenjuju uticaj preostalog ligamenta.

Osnovna uprošćenja Kingovog modela niza opruga su:

- površinska prsline se nalazi u beskonačnoj ravnoj zategnutoj ploči, opterećenoj udaljenim naponom σ ;

- stvarni front prsline zamenjen je pravougaonim, konstantne dubine prsline, $c=const$;



Slika 1. Kingov model površinske prsline

- karakteristika opruge je elastična-idealno plastična;
- plastičnost oko vrha prolazne prsline je uzeta u obzir Dagdejlovim modelom //.

Kao kriterijum tečenja u Kingovom modelu se koristi jednostavan izraz, za koji je pokazano dobro slaganje sa eksperimentalnim podacima /2,3/:

$$\sigma_c = \frac{h-c}{h} \sigma_F \quad (1)$$

gde je σ_F napon ojačavanja, definisan kao poluzbir napona tečenja i zatezne čvrstoće. Iz izraza (1) sledi izraz za napon pri kome nastaje tečenje ligamenta, σ_{LY} :

$$\sigma_{LY} = \frac{1}{\alpha} \left(1 - \frac{c}{h} \right) \sigma_F \quad (2)$$

Posle tečenja, plastičnost ispred vrha prolazne prsline uzima se u obzir uvođenjem "efektivne" dužine prsline, $l_{ef} = l + 4r_y$, gde je l dužina prsline ($l=2a$), a r_y poluprečnik plastične zone, definisan kao polovina dužine trake tečenja, /2/:

$$r_y = (a_p - a) / 2 \quad (3)$$

Važno napomenuti da se u izrazima za parametre elasto-plastične mehanike loma (CTOD i J integral), koristi efektivna dužina prsline, l_{ef} , u skladu sa Irvinovim modelom plastičnosti ispred vrha prsline, a da se poluprečnik plastične zone, r_y , određuje na osnovu veličine l_p , koja obuhvata dužinu prsline, i dužine trake tečenja sa obe strane prsline.

Na osnovu izraza i geometrijskih relacija, objašnjenih detaljnije u /2/, mogu da se dobiju sledeći izrazi za elastične i plastične komponente parametara mehanike loma:

$$CTOD = \frac{4a\sigma}{E} \left[1 + \left(\frac{2(1+\nu)}{3+\nu} \frac{h-2C}{h} \beta - \alpha \right) \right]; (\sigma \leq \sigma_{LY}) \quad (4)$$

$$CMOD = \frac{4a\sigma}{E} \left[1 + \left(\frac{2(1+\nu)}{3+\nu} \beta - \alpha \right) \right]; (\sigma \leq \sigma_{LY}) \quad (5)$$

odnosno ($\sigma_{LY} < \sigma < \sigma_{NSY}$)

$$CTOD = \frac{4(a+r_y)}{E} (\sigma - \sigma_{LY}) + CTOD_{LY} \frac{a+r_y}{a} \quad (6)$$

$$CMOD = \frac{4(a+r_y)}{E} (\sigma - \sigma_{LY}) + CMOD_{LY} \frac{a+r_y}{a} \quad (7)$$

Za izračunavanje J , ($\sigma < \sigma_{LY}$) mogu da se koriste relacije LEML:

$$J_c = \frac{1-v^2}{E} K_I^2 = \frac{1-v^2}{E} h(\sigma_c F_1 + m F_2)^2 \quad (8)$$

gde su F_1 i F_2 faktori intenziteta napona, definisani kao polinomi po bezdimenzionoj koordinati (dubina prsline, a / debljina ploče, t). Za $\sigma_{LY} < \sigma < \sigma_{NSY}$, J_p se izračunava preko pomeranja napadne tačke opterećenja na ivici prsline:

$$J_p = -\int_{\delta_{LY}}^{\delta} \frac{\partial N}{\partial c} d\delta - \int_{\theta_{LY}}^{\theta} \frac{\partial M}{\partial c} d\theta \quad (9)$$

gde za $\partial N/\partial c = -\sigma_F$, $\partial M/\partial c = 0 \Rightarrow$

$$J_p = \sigma_F (\delta - \delta_{LY}) = \frac{4\sigma_F}{E} \left[(a + r_y) \sigma - a \sigma_{LY} - \frac{h-c}{h} r_y \sigma_F \right] \quad (10)$$

Konačno, problem u primeni Kingove metode je i činjenica da napon tečenja ligamenta, definisan izrazom (2), za vrednosti c/h bliske 0,8 (koju je kao graničnu usvojio King /2/) počinje da raste (umesto da opada) i postaje veći od napona tečenja neto preseka, što je fizički nemoguće. Kako je ovo ponašanje posledica uticaja parametra α , iz jed. (2), koja predstavlja kriterijum tečenja ligamenta, izbačen je ovaj parametar, pa se dobijaju rešenja koja su konzervativna i kao takva prihvatljiva, a važe i za prslinu do $0,8 \cdot c/h$.

Prema izloženom matematičkom modelu napravljen je algoritam i program KING0, a posle izbacivanja parametra α i program KING1, koji računaju SRP na osnovu mehaničkih osobina materijala i geometrije ploče i prsline. Programi KING0 i KING1 omogućavaju da se uzme u obzir i vrednost zaostalih napona, ako je poznata, a ne uzima se u obzir vrednost napona nastalih zbog geometrijske nepravilnosti nastale u toku ili posle zavarivanja, osim ako se ne svedu na zaostale napone.

Metoda Ratvani-Erdogan-Irvin (REI)

Metoda REI ima za cilj elastoplastičnu analizu tankih cilindričnih ljuski sa aksijalnom prslinom, za koje se uvode uprošćenja u cilju formulacije i rešavanja integralnih jednačina problema. Osnovna uprošćenja problema su:

- oblik prsline je pravougaoni (dubina prsline $c = const$);
- nema poprečnog smicanja (važe Kirhofove pretpostavke za tanke ljuske);
- materijal je elastičan-idealno plastičan (nema ojačavanja).

Na osnovu ovih uprošćenja može da se primeni Dagdejljev model plastične trake ispred vrha prsline. Osnovna prednost REI modela je jednostavna primena, jer su svi potrebni podaci za proračun dati u bezdimenzionom obliku za karakteristične veličine bezdimenzionog parametra ljuske, λ , definisanog na sledeći način:

$$\lambda = \sqrt[4]{12(1-v^2)} \frac{2a}{\sqrt{Rt}} \quad (11)$$

gde je R poluprečnik ljuske, t debljina, a v Poasonov koeficijent. Treba uočiti da vrednost $\lambda=0$ odgovara ravnoj ploči ($R \rightarrow \infty$). Zaostali naponi i geometrijske nepravilnosti nisu obuhvaćene ovim modelom.

Kao krajnji rezultat očitavanja vrednosti $\frac{\delta_0}{d_1}$ i $\frac{\theta_2}{d_2}$ sa

dijagrama /4/ dobijaju se normirane vrednosti $\sqrt{J^*}$ integrala za različite vrednosti parametra ljuske λ (0;1;2;3), i te tabele su korišćene kao osnova za izradu programa REI0 i REI1, koji računaju SRP na osnovu mehaničkih osobina materijala i geometrije ploče i prsline. Oni ne omogućavaju da se uzmu u obzir vrednosti zaostalih napona i geometrijskih nepravilnosti nastalih u toku ili posle zavarivanja.

METODE ZASNOVANE NA EKSPERIMENTALNIM REZULTATIMA

JWES 2805

Osnovni principi proračuna u proceduri JWES2805 se svode na određivanje ekvivalentne dužine prsline, primenu iskustvenih izraza za proračun CTOD u elastičnoj i plastičnoj oblasti, i mogućnost analize zaostalih i geometrijskih napona. Ovom procedurom su obuhvaćene sledeće greške: prsline, nedovoljno vezivanje, neprovar, zajed, uključak, poroznost.

Prolazne, površinske i unutrašnje greške tipa prsline otkrivene ispitivanjem bez razaranja (IBR) treba projektovati na ravni glavnih napona. Greške se analiziraju u najgoroj kombinaciji veličine projekcije prsline i intenziteta napona.

Na osnovu projektovane indikacije, greške treba izmeriti /5/. Procedura primenjuje teoriju verovatnoće, kojom se uzimaju u obzir nesigurnosti u proceni svojstava materijala i odgovarajućih parametara mehanike loma.

Za procenu je važno odrediti ekvivalentnu dužinu prsline, \hat{a} , čija vrednost zavisi od tipa prsline.

Konačne jednačine za proračun CTOD izražene preko lokalne deformacija ε i deformacije ε_Y izazvane naponom tečenja su:

$$\delta = \varepsilon_Y \hat{a} \cdot (\pi/2) \cdot (\varepsilon/\varepsilon_Y)^2 \quad \text{za } \varepsilon/\varepsilon_Y \leq 1 \quad (12a)$$

$$\delta = \varepsilon_Y \hat{a} \cdot (\pi/8) \cdot (9\varepsilon/\varepsilon_Y - 5) \quad \text{za } \varepsilon/\varepsilon_Y > 1 \quad (12b)$$

Lokalna deformacija se izražava kao zbir deformacija:

$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3,$$

gde je ε_1 - deformacija usled delovanja udaljenog napona σ , ε_2 - deformacija nastala od zaostalih napona od zavarivanja i ε_3 - deformacija od geometrijskih nepravilnosti.

Treba naglasiti da su jednačine koje se koriste za proračun CTOD kvantitativno različite od jednačina drugih metoda zasnovanih na eksperimentalnim rezultatima (CTOD projektna kriva, EFAM ETM-MM96, BSI PD6493) i da daju znatno manje vrednosti za CTOD.

Na osnovu teorijskih postavki i formula /5/ izrađen je program JWES. Program je modularan i tretira prolazne, površinske i unutrašnje prsline i omogućava proračun SRP za različito opterećenje σ i različite dubine prsline c .

PROVERA PROGRAMA KING, REI I JWES NA PRIMERIMA

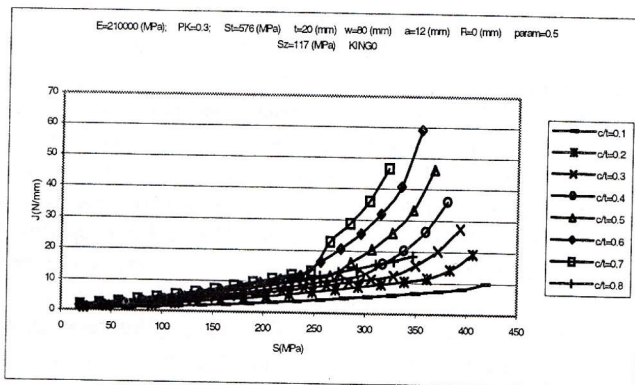
Sve varijante programa KING, REI i JWES su proverene na primerima posuda pod pritiskom i pločastih epruveta, čije su mehaničke i geometrijske karakteristike date u tab. 1. Kroz primer 1 (Pr 1) izvršeno je poređenje eksperimentalnih rezultata iz rada /1/ i rezultata dobijenih programima.

Dobijeni rezultati za Pr 1 su grafički prikazani (sl. 2 - 6).

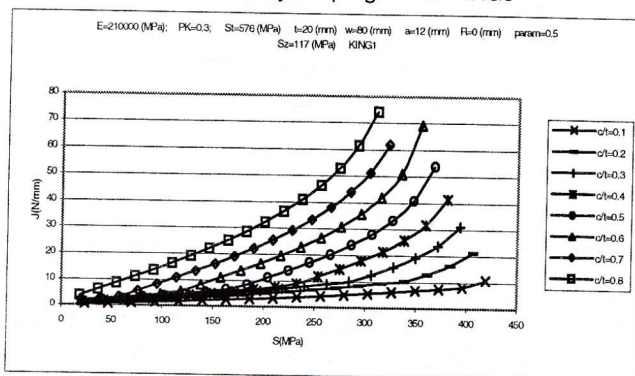
Tabela 1. Tabela podataka za primer 1

Primer	Uzorak	E	ν	R_{eh}	R_m	σ_0	t	w	$2a$	R
		GPa		MPa	MPa	MPa	mm	mm	mm	mm
Pr 1	ADZ-P	210	0.3	480	672	117	20	80	24	-
Pr 2	AM1-P	210	0.3	480	672	0	8	40	8	-
Pr 3	AM2-S	210	0.3	480	672	0	8	0	40	-
Pr 4	NIS-S	210	0.3	722	810	0	16	0	64	600
Pr 5	RID-P	210	0.3	500	582	0	15	100	31	-
Pr 6	VTI-S	210	0.3	1150	1370	0	5	0	40	60

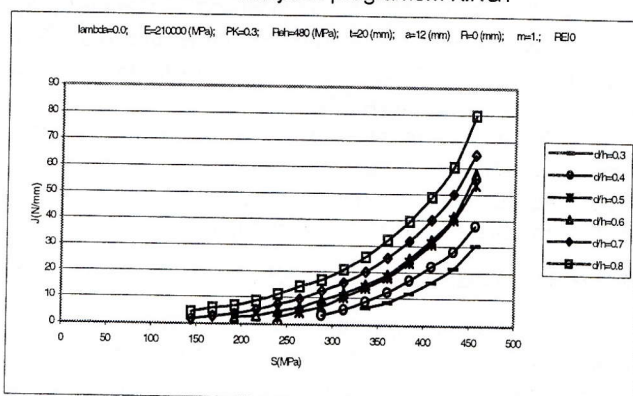
E - modul elastičnosti; ν - koeficijent Poasona; R_{eh} - napon tečenja; σ_0 - izmereni zaostali napon; t - debljina; w - širina; $2a$ - dužina prsline; R - poluprečnik krivine ljsuke.
 ADZ - rad /1/; AM1 - ovaj rad, AM2 - ovaj rad; NIS - rad /4/; RID - rad /3/; VTI - posuda pod pritiskom od čelika visoke čvrstoće; P - pločasta epruveta; S - posuda pod pritiskom od čelika povišene čvrstoće



Slika 2. Dijagram sile rasta prsline za primer 1, nacrtan na osnovu vrednosti dobijenih programom KING0



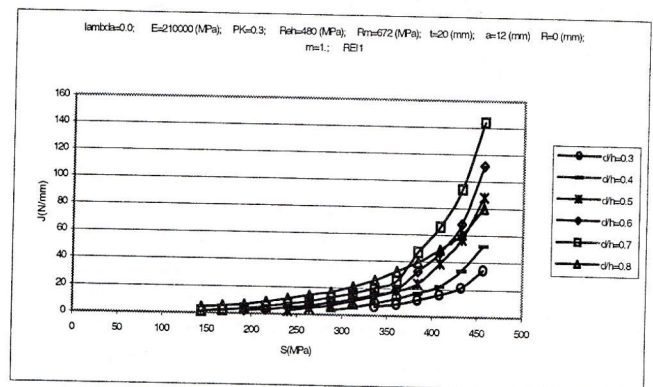
Slika 3. Dijagram sile rasta prsline za primer 1, nacrtan na osnovu vrednosti dobijenih programom KING1



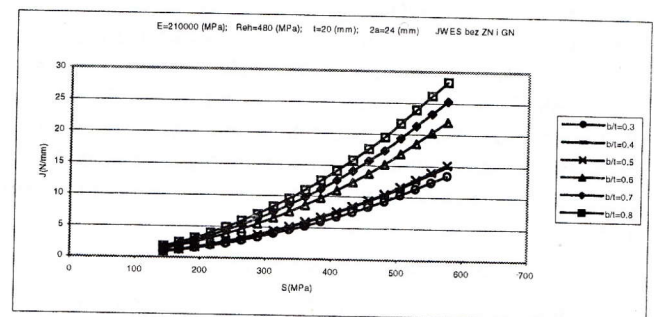
Slika 4. Dijagram sile rasta prsline za primer 1, nacrtan na osnovu vrednosti dobijenih programom REI0

ANALIZA EKSPERIMENTALNIH REZULTATA ZA PR 1 I REZULTATA DOBIJENIH METODAMA KING, REI I JWES

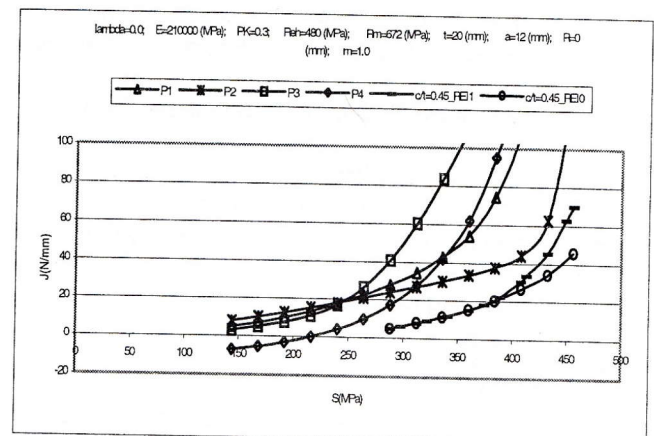
Iz rada /1/ uzeti su eksperimentalni rezultati za četiri pločaste epruvete, a poslužiće za uporednu analizu sa rezultatima dobijenim metodama KING, REI i JWES. Epruvete P1 i P2 su u zavarenom i termički obrađenom stanju, pa su pogodne za analizu bez zaostalih napona, a epruvete P3 i P4 su samo zavarene i nisu termički obrađene i pogodne su za analizu sa zaostalim naponima. Dubina prsline na svim epruvetama je 9 mm, što daje $c/t=0,45$. Dijagrami su dati na sl. 7. do 12.



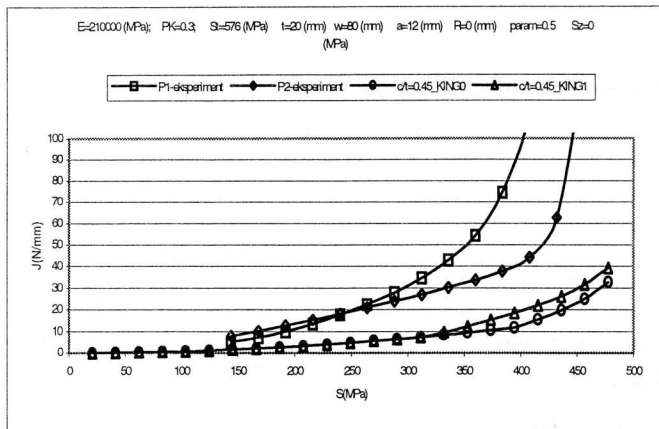
Slika 5. Dijagram sile rasta prsline za primer 1, nacrtan na osnovu vrednosti dobijenih programom REI1



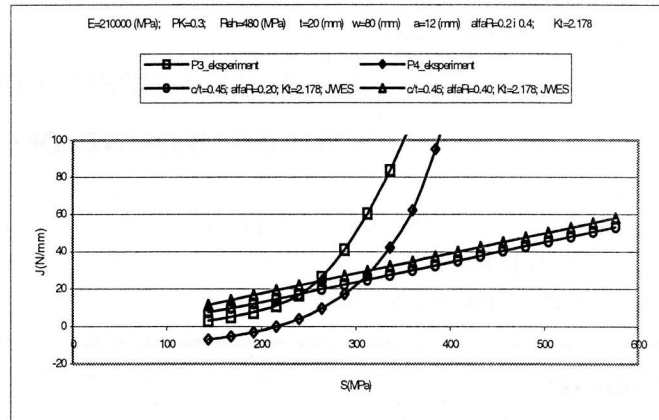
Slika 6. Dijagram sile rasta prsline za primer 1, nacrtan na osnovu vrednosti dobijenih programom JWES



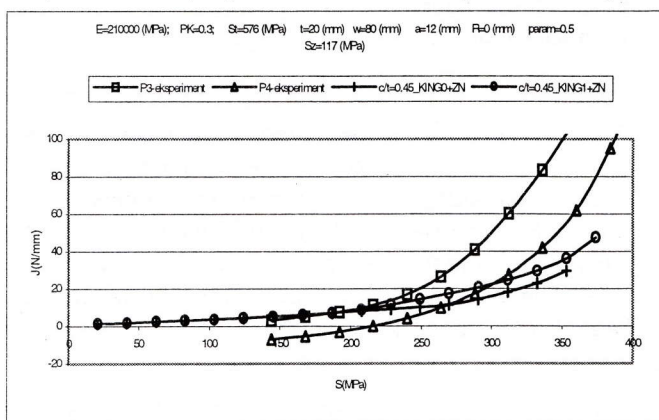
Slika 7. Analiza vrednosti sile rasta prsline, dobijenih eksperimentalno, programima KING, bez uticaja zaostalih napona



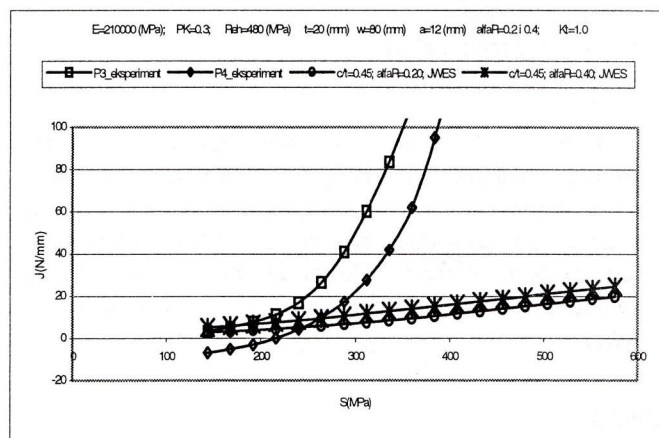
Slika 8. Analiza vrednosti sile rasta prsline, dobijenih eksperimentalno, programima REI, bez uticaja zaostalih napona



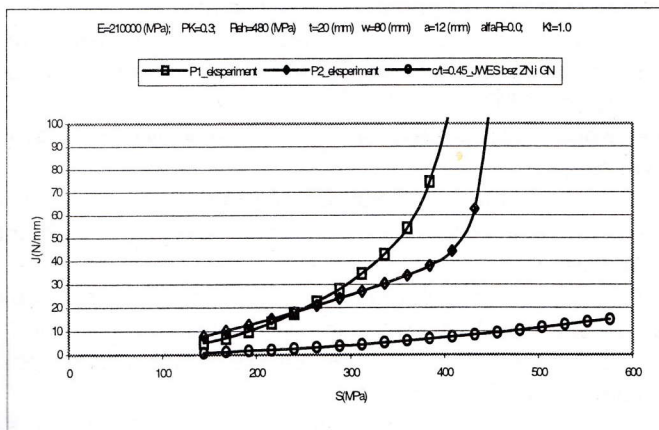
Slika 11. Analiza vrednosti sile rasta prsline, dobijenih eksperimentalno, programima JWES, sa uticajem zaostalih napona



Slika 9. Analiza vrednosti sile rasta prsline, dobijenih eksperimentalno, programima JWES, bez uticaja zaostalih napona



Slika 12. Analiza vrednosti sile rasta prsline dobijenih eksperimentalno i programom JWES sa uticajem zaostalih i geometrijskih napona



Slika 10. Analiza vrednosti sile rasta prsline, dobijenih eksperimentalno, programima KING, sa uticajem zaostalih napona

ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata možemo zaključiti:

1. Rezultati dobijeni programom KING1 su konzervativniji od rezultata dobijenih programom KING0 jer je uveden novi kriterijum tečenja (bez parametra α) zbog problema presecanja krivih SRP za dubine prsline $c/h > 0,7$ kod programa KING0. Zbog konzervativnosti i otklonjenog problema presecanja krivih SRP program KING1 ima prednost pri upotrebi u odnosu na program KING0.

- 2. Metoda REI, iako ne uzima u obzir zaostale napone i geometrijske nepravilnosti daje najkonzervativnije vrednosti.
- 3. Programom JWES se dobijaju manje vrednosti SRP u odnosu na programe KING i REI.

Rad je na konferenciji "Zavarene konstrukcije - obezbeđenje kvaliteta i ocena podobnosti za upotrebu", Beograd, 22-23. septembar 1999. izložio Vujadin Aleksić.

LITERATURA

1. T. Adžiev: "Zaostali naponi od zavarivanja - uticaj na ponašanje posuda pod pritiskom sa prslinom"; VI Letnja škola mehanike loma, Vrdnik, 1991
2. R. B. King: "Elastic-plastic Analysis of Surface Flaws Using a Simplified Line-spring Model"; Eng. Fracture Mech. 18, p. 217-231, 1983.
3. D. T. Rid: "Analiza mehanike loma i krive dopuštenih veličina greški za površinske prsline u cevovodima" III Letnja škola mehanike loma, Aranđelovac, 1984
4. B. Petrovski: "Određivanje preostale nosivosti suda pod pritiskom sa površinskom prslinom"; Doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1985.
5. Japan Welding Engineering Society Standard: "Method of Assessment for Flaws in Fusion Welded Joints with Respect to Brittle Fracture and Fatigue Crack Growth"; WES 2805, 1997

YUWELD

PRVA FABRIKA ELEKTRODA U SRBIJI

