



JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO
ZA MAŠINSKE ELEMENTE I
KONSTRUKCIJE

ZBORNİK RADOVA

SA NAUČNO - STRUČNOG SKUPA
ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ MAŠINSKIH
ELEMENTATA I SISTEMA

JAHORINA - IRMES '2002

1/2



Srpsko Sarajevo - Jahorina
19. i 20. Septembar 2002. god.



UNIVERZITET U
SRPSKOM SARAJEVU
MAŠINSKI FAKULTET





JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO
ZA MAŠINSKE ELEMENTE I
KONSTRUKCIJE

ZBORNIK RADOVA

SA NAUČNO - STRUČNOG SKUPA
ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ MAŠINSKIH
ELEMENTATA I SISTEMA

JAHORINA - IRMES '2002

2/2



Srpsko Sarajevo - Jahorina
19. i 20. Septembar 2002. god.



UNIVERZITET U
SRPSKOM SARAJEVU
MAŠINSKI FAKULTET



**ZBORNİK RADOVA SA NAUČNO-STRUČNOG SKUPA
ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ MAŠINSKIH ELEMENATA
I SISTEMA**

JAHORINA-IRMES 2002

1/2

Nosilac : **JUGOSLOVENSKO DRUŠTVO ZA MAŠINSKE
ELEMENTE I KONSTRUKCIJE - JuDEKO**
Beograd, ul. 27. marta br. 80

Organizator : **MAŠINSKI FAKULTET SRPSKO SARAJEVO**
Srpsko Sarajevo, Vuka Karadžića bb

Glavni i odgovorni urednik : **Prof. dr Momir Šarenac**

Pokrovitelj :

➤ **MINISTARSTVO NAUKE I KULTURE REPUBLIKE SRPSKE**

Tehnička priprema : **Zoran Stikić**

Tiraž : 200 primjeraka

Štampa: FOPIS, Srpsko Sarajevo

SADRŽAJ CONTENTS

1/2

PLENARNA SJEDNICA

Höhn B-R., Oster P., Tobie T., Steingröver K. : <i>EINSATZHÄRTUNGSTIEFE UND TRAGFÄHIGKEIT EINSATZGEHÄRTERER ZAHNRÄDER</i>	1
Karaivanov D., Arnaudow K.: <i>DIE ZUSAMMENGESETZTEN MEHRSTEG- PLANETENGETRIEBE IHRE, KOPPLUNGSARTEN UND GESETZ- MÄSSIGKEITEN</i>	19
Šarenac M.: <i>PERSPEKTIVE METALSKE INDUSTRIJE U ZEMLJAMA U TRANZICIJI I INTERES MLADIH ZA STUDIJE MAŠINSTVA</i>	27
Miltenović V.: <i>RAZVOJ PROIZVODA U FUNKCIJI OPSTANKA PREDUZEĆA NA TRŽIŠTU</i>	33
Mihailidis A., Tsilingiridis G.: <i>A WIND ENERGY CONVERTER WITHOUT ROTOR SHAFT</i>	39

Sekcija A RAZVOJ MAŠINSKIH SISTEMA

Kuzmanović S.: <i>ODLIKE SAVREMENIH PROIZVODA U MAŠINSTVU</i>	45
Jovičić S., Marjanović N., Čatić D.: <i>FAZE I ALATI INTEGRALNOG RAZVOJA MAŠINSKIH SISTEMA</i>	51
Tanasijević S.: <i>ESTETSKA KOMPONENTA U DIZAJNU PROIZVODA</i>	57
Radović V., Tomović R.: <i>PRAKTIČNA METODA KONSTRUISANJA PROIZVODA</i>	63
Leparov M., Dinev G.: <i>ABOUT MODIFICATION OF MECHANICAL TRANSMISSION</i>	69
Radovanović M.: <i>KONSTRUKTIVNA REŠENJA KOMPONENATA LASERSKE MAŠINE ZA SEČENJE</i>	75
Batalović V.: <i>ROTOR CENTRIFUGALNOG SAMOMELJUĆEG MLINA - SPECIFIČNOSTI KONSTRUISANJA</i>	81
Jevtić J.: <i>POKRETNI SUDOVI POD PRITISKOM</i>	87
Petković Z., Zrnić N.: <i>DEVELOPMENT OF NEW CONCEPTS IN DESIGN OF DOCKSIDE CONTAINER CRANES</i>	93
Zrnić N., Petković Z.: <i>EVALUTION OF DESIGN SOLUTIONS FOR TROLLEY OF QUAYSIDE CONTAINER CRANES</i>	99
Jovanović M., Mijajlović R., Marinković Z., Arsić M., Denić D.: <i>UPRAVLJANJE PARALELNOŠĆU KRETANJA DIZALICA</i>	105
Marković S., Marinković Z.: <i>ANALIZA PROCESA ZAUSTAVLJANJA DIZALIČNIH MEHANIZAMA SA ZAZOROM</i>	111
Alice C., I., Alic C.: <i>RESEARCH AND EXPERIMENTAL INVESTIGATION ON THE BEHAVIOR IN EXPLOITATION OF METAL WORKSHOPS IN SIDERURGY</i>	117
Alexa V., Ratiu S.: <i>COMPLEX INSTALATION FOR THE RESEARCH ON LONGITUDINAL ROLLING PROCESS</i>	123

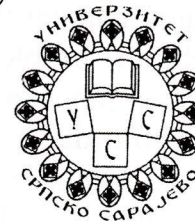
Miklos I., Z., Miklos I., Cioata V., G.: <i>EXPERIMENTAL TRAILS ON THE PROTECTION SYSTEM OF THE BLOOM TILTING MECHANISM</i>	129
Grigorova K.: <i>A CONCEPT OF SUPPORTING ENGINEERING CHANGE MANAGEMENT</i>	135

Sekcija B RADNA OPTEREĆENJA MAŠINSKIH SISTEMA
--

Mijajlović R., Marinković Z.: <i>ANALIZA DINAMIČKOG FAKTORA U STANDARDIMA ZA DIZALICE</i>	141
Janošević D., Jevtić V., Milić P.: <i>ANALIZA UTICAJNIH PARAMETARA NA GRANIČNE SILE KOPANJA HIDRAULIČNIH BAGERA</i>	147
Marinković Z., Marković S., Miltenović D., Marinković D.: <i>SIMULACIJA PROCESA OPTEREĆENJA I NAPREZANJA VRATILA MEHANIZMA MAŠINA NA ELEKTROMOTORNI POGON</i>	153
Stefanović S., Stamenković S., Jevremović V., Stošić M.: <i>VUČNE KARAKTERISTIKE $F_v(v)$ DIZEL LOKOMOTIVE SA MEHANIČKIM PRENOSOM SNAGE</i>	159
Radosavljević A., Jovanović R.: <i>PRILOG ODREĐIVANJU OSOVINSKOG OTPORA KRETANJA VOZA KAO FAKTORA RADNOG OPTEREĆENJA MEHANIČKOG SISTEMA VOZ-PRUGA</i>	165
Prodanović R., Stevanović Z., Mirković S., Jovanović R.: <i>UTICAJ KOLOSEKA NA UBRZANO TROŠENJE TOČKOVA NA JŽ I U SVETU</i>	171
Prodanović R., Stevanović Z., Mirković S., Jovanović R.: <i>BITNI UTICAJNI FAKTORI NA TROŠENJE TOČKOVA ŠINSKIH VOZILA SA POSEBNIM OSVRTOM NA TERETNA KOLA</i>	177
Popa I., Popa G. N., Deaconu S.: <i>THE DETERMINATION OF THE ELECTRIC MOTOR POWER THAT DRIVES THE BELT TRANSPORT CONVEYERS</i>	183
Žepinić C.: <i>SPOLJAŠNJE OPTEREĆENJE RADNE MAŠINE KAO SLUČAJNA FUNKCIJA</i>	189

Sekcija C ZAMOR I RAZARANJA (LOM)
--

Kirić M., Sedmak A., Arsić M., Aleksić V.: <i>PRIMENA DVOPARAMETARSKOG PRISTUPA MEHANIKE LOMA NA INTEGRITET KONSTRUKCIJA</i>	195
Aleksić V., Sedmak A., Arsić M., Kirić M.: <i>PRIMENA PARAMETARA MEHANIKE LOMA NA PROCENU INTEGRITETA ZAVARENIH KONSTRUKCIJA</i>	201
Rakin M., Mijuca D., Zrnić N., Sedmak A.: <i>NUMERIČKO PRAĆENJE RASTA PRSLINE U USLOVIMA NASTANKA ŽILAVOG LOMA ČELIKA</i>	207
Šubara N., Stefanović S., Stojković S.: <i>STANJE ZAMORA, ZBIRNO OŠTEĆENJE I PREOSTALI VEK U REALNIM USLOVIMA EKSPLOATACIJE ..</i>	213
Arsić M., Sedmak S., Aleksić V.: <i>UTICAJ REDOSLEDA RADNOG OPTEREĆENJA NA BRZINU AKUMULACIJE OŠTEĆENJA NOSEĆE KONSTRUKCIJE ROTORNOG BAGERA</i>	219
Posavljak S.: <i>ISPITIVANJE OTPORNOSTI MATERIJALA NA MALOCIKLIČNI ZAMOR</i>	225



PRIMENA PARAMETARA MEHANIKE LOMA NA PROCENU INTEGRITETA ZAVARENIH KONSTRUKCIJA

V. Aleksić, A. Sedmak, M. Arsić, M. Kirić

U radu je analizirana primena parametara mehanike loma na procenu integriteta zavarenih konstrukcija sa površinskom ili unutrašnjom prslinom, sa posebnim naglaskom na određivanje sile rasta prsline Kingovim modelom. Imajući u vidu heterogenost zavarenih spojeva, odnosno pojavu mismеčinga (različite čvrstoće metala šava i osnovnog metala), analiza obuhvata elasto-plastične parametre mehanike loma, kao što su otvaranje vrha prsline i J integral. Takođe, analiza u ovom radu obuhvata i probleme kao što su zaostali naponi i geometrijske nepravilnosti, koji mogu značajno da utiču na integritet zavarenih konstrukcija.

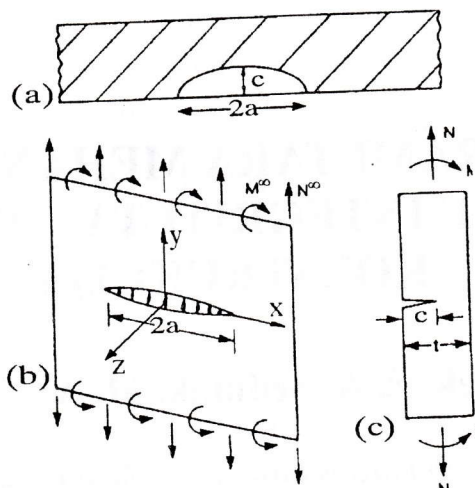
1. Uvod

Poseban značaj u primeni mehanike loma (ML) imaju zavareni spojevi, kod kojih se ne sme zanemariti mogućnost postojanja ili nastajanja grešaka tipa prslina. Analiza integriteta zavarenih konstrukcija je od ključnog značaja za njihovu sigurnu eksploataciju. Bitan aspekt te analize je određivanje sila razvoja prsline (SRP), koja treba da obuhvati i specifičnosti zavarenih spojeva kao što su zaostali naponi i geometrijske nepravilnosti. Poslednjih godina posebna pažnja se posvećuje tzv. inženjerskom pristupu koji kombinuje različite načine određivanja SRP, uprošćavajući ih i dovodeći do nivoa brze i efikasne primene, a da se pri tom postigne dovoljna tačnost i sigurnost na strani konstrukcije. Jedna od takvih metoda kojoj je uspelo da nađe primenu u elastoplastičnoj analizi parametara ML je Kingov model, kao osnovu za pravljenje programa koji su postali suštinski deo procedure za određivanje SRP i na taj način ubrzali procenu uticaja konkretnih grešaka u zavarenim konstrukcijama, odnosno procenu njihovog integriteta.

2. Teorijske postavke Kingovog modela

Inženjerski pristup se zasniva na kvantifikovanju različitih faza procesa loma, a preko parametara koji određuju napon na vrhu prsline, npr. J-integral ili CTOD. Osnovna ideja

Kingove metode je da 3D problem može da se reši kombinacijom 2D problema (ravnog stanja napona i/ili ravnog stanja deformacije). Naime, da je prslina prolazna (po celoj debljini) problem bi bio 2D (ravno stanje napona - RSN), a da je dužina površinske prsline jednaka širini ploče, problem bi se sveo na ravno stanje deformacije - RSD. S obzirom da je površinska prslina između ove dve krajnosti, odgovarajuće rešenje se može dobiti kombinacijom navedenih 2D rešenja, pri čemu rešenje problema RSN mora da uzme u obzir lokalne membranske sile N i momente M , zbog postojanja preostalog ligamenta dužine $(t-c)$, sl. 1.



Slika 1. Kingov model površinske prsline

Kingov model je ustvari uprošćen model niza opruga /1/, jer se njegovo korišćenje zasniiva na nizu opruga koje zamenjuju uticaj preostalog ligamenta, sl.1. Radi sprečavanja loma u zavarenom spoju 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, čijim se poređenjem sa SRP takođe dokazuje integritet konstrukcije, /2/.

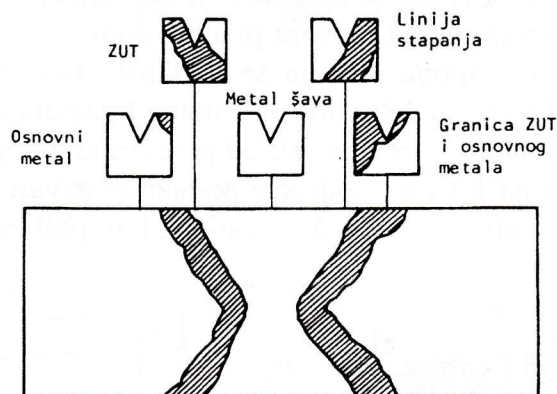
3. Analiza problema mehanike loma zavarenog spoja

U analizi integriteta zavarenih konstrukcija principima mehanike loma postoje dva značajna ograničenja. Prvo je ograničena mogućnost otkrivanja prsline i drugih grešaka u zavarenim konstrukcijama, imajući u vidu njihovu veličinu i položaj i znajući ograničene mogućnosti metoda ispitivanja bez razaranja (ultrazvuk, rendgen). Drugo ograničenje je heterogenost zavarenog spoja (osnovnog metala, metala šava i ZUT), jer se osnovne definicije parametara mehanike loma odnose na homogeni materijal.

3.1 Uticaj nehomogenosti zavarenog spoja na sile razvoja prsline

Heterogenost strukture i mehaničkih osobina zavarenih spojeva doprinose 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 odgovarajuće podatke za najslabije mesto kada je u pitanju lokalno ispitivanje, kao što je određivanje vrednosti parametara mehanike loma, dok se kod određivanja zateznih karakteristika, naročito zatezne čvrstoće, podatak za zavareni spoj kao celinu

mora da se prihvati kao merodavniji za zavarenu konstrukciju nego pojedinačni rezultat za osnovni metal, metal šava, liniju stapanja, zonu uticaja toplote, kao i granicu ZUT i osnovnog metala, sl. 2.



Slika 2. Poprečni presek zavarenog spoja sa mogućim položajima zarezata i vrha prsline

3.2 Uticaj zaostalih napona u zavarenom spoju na sile razvoja prsline

Zaostali naponi su prouzrokovani termičkim ciklusima zagrevanja i hlađenja u lokalnim područjima delova za vreme zavarivanja, pri čemu se zagrejani materijal šava nalazi između hladnih područja sa obe strane.

Eksperimenti i primeri iz prakse upućuju na zaključak da zaostali naponi utiču na:

- pomeranje temperature krtoq prelaza u pravcu viših vrednosti,
- na sniženje otpora korozionom pucanju i
- na sniženje zamorne čvrstoće materijala.

Mogući uzroci pojave zaostalih napona u zavarenim konstrukcijama su prikazani u tab. 1, /3/.

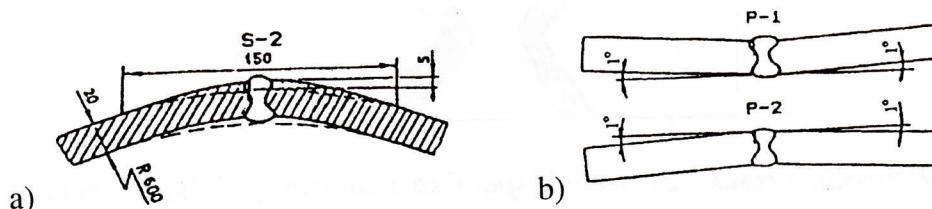
Tabela 1. Uzroci nastanka zaostalih napona pri zavarivanju

ZN izazvani skupljanjem	ZN izazvani faznim transformacijama
Proces vezan za TEMPERATURNE RAZLIKE:	
■ poprečno na šav: između šava, ZUT i OM	
■ presek šava: između različitih slojeva pri zavarivanju	
	između nanetog metala šava i OM
<u>ZN usled skupljanja</u> prouzrokovani različitim veličinama skupljanja u različito zagrejanim zonama	<u>ZN izazvani faznim transformacijama</u> prouzrokovani promenom zapremine jedino u zoni transformacije
Znak zaostalih napona u slučaju dejstva samo jednog procesa:	
<u>Zatezni zaostali naponi</u> u zonama koje zadnje dostižu sobnu temperaturu (+)	<u>Pritisni zaostali naponi</u> u zonama koje se zadnje transformišu (-)
TEMPERATURNE RAZLIKE rastu tokom hlađenja: - kroz presek: površina se hladi mnogo brže nego sredina	
<u>ZN usled kaljenja</u> prouzrokovani plastičnom deformacijom kao i temperaturnim razlikama između površine i sredine	<u>ZN izazvani faznim transformacijama</u> prouzrokovani plastičnom deformacijom ako se površinski slojevi transformišu pre slojeva u sredini

ZUT-zona uticaja toplote; OM-osnovni materijal; ZN-zaostali napon

3.3 Uticaj geometrijskih nepravilnosti na sile razvoja prsline

Geometrijske nepravilnosti kao što su izbočenje ili udubljenje mogu povoljno ili nepovoljno da utiču na otpornost prema razvoju prsline. Ako je prsline na izbočenoj strani zbog delovanja udaljenog napona javljaju se dopunski momenti savijanja suprotnog smera, koji izazivaju izduženje u delovima preostalog ligamenta i manje otvaranje prsline od očekivanog. Ovo znači da u zavisnosti od procesa savijanja (za posude pod pritiskom) i procesa zavarivanja lokalno područje podužnog zavarenog spoja može biti ispučeno, udubljeno ili pravilnog cilindričnog oblika, koji prati radijus ljske, sl. 3, /4/.



Slika 3. Geometrijska odstupanja kod ispitivanih uzoraka: a) posuda; b) ploče

U zavisnosti od toga pri opterećenju posude javljaju se dopunski momenti savijanja koji različito utiču na ponašanje prsline. Kod udubljenja dopunski momenti savijanja deluju zatezno na prsline i taj slučaj je nepovoljniji za integritet posude. Zbog toga u kriterijum loma izražen preko J integrala treba uključiti i uticaj geometrijskog odstupanja (J_{GI}), čime se dobija:

$$J_{app}(\sigma, a) + J_{RS} + J_{GI} \leq J_{IC} \quad (1)$$

s tim što dodatni članovi u opštem slučaju mogu biti pozitivni ili negativni, /4/.

4. Programi KING0, KING1 i KINGI /5/

Korišćenjem matematičkog modela napravljen je algoritam, a na osnovu njega napravljen je program u FORTRANU KING0 /5/, a posle modifikacije i izbacivanja parametra α i program KING1 /5/, a oba računaju sile razvoja prsline na osnovu mehaničkih osobina materijala i geometrije ploče i prsline.

Napravljen je i program KINGI /5/ koji omogućava interpolaciju parametara mehanike loma (J , CTOD) za zadate napone, koristeći izlazne rezultate programa KING0 ili KING1. Programi KING0 i KING1 omogućavaju da se uzmu u obzir i vrednosti zaostalih napona, a takođe i napona nastalih zbog geometrijske nepravilnosti ako se svedu na zaostale napone.

4.1. Provera programa na primerima i analiza rezultata

Varijantni programi za metodu KING su provereni na nekoliko primera posuda pod pritiskom i pločastih epruveta, sa ulaznim podacima datim u tab. 2, /5/.

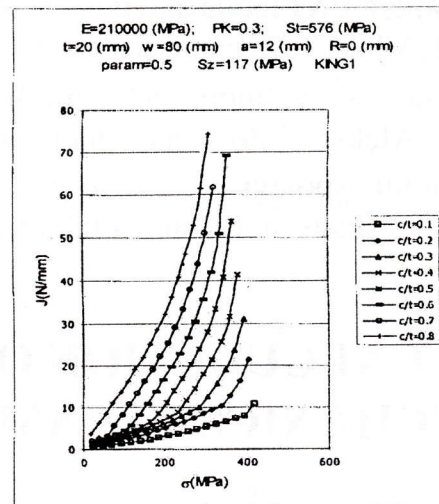
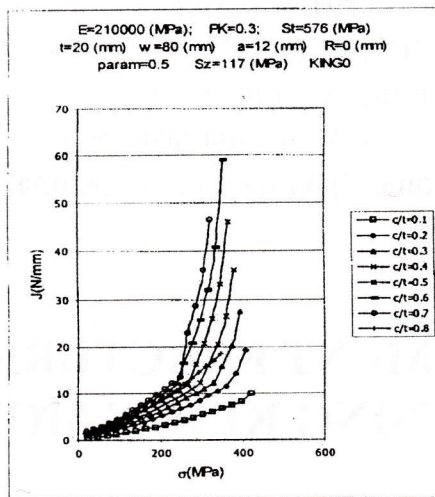
S obzirom da je u programu KING1 uveden novi kriterijum tečenja i da pri tom nema presecanja krivih kao u programu KING0 za dubine prsline veće od 0,7 c/t, a pri tome se dobijaju nešto veće vrednosti rezultata on je prihvatljiviji za upotrebu. Na sl. 4 radi ilustracije prikazana je razlika između ova dva pristupa.

Tabela 2. Tabela primera za proveru programa KING0 i KING1

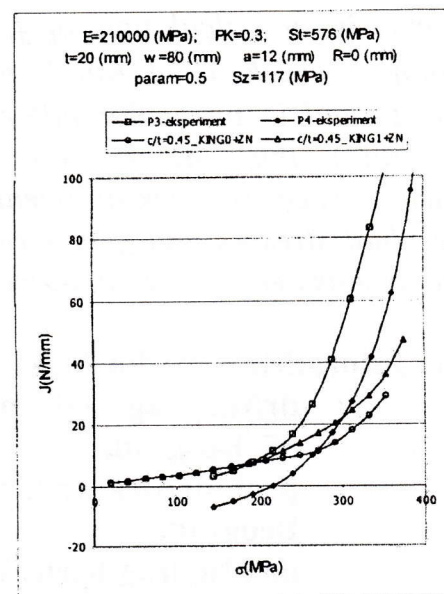
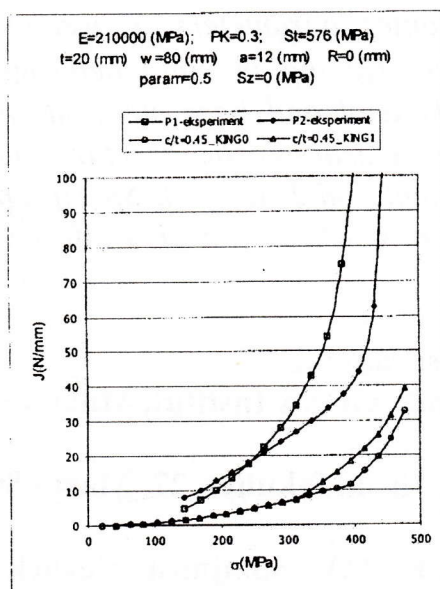
			E	ν	R_{ch}	R_m	S_0	t	w	2a	R
Pr 1	P	ADZ	210000	0.3	480	672	117	20	80	24	0
Pr 2	P	AM1	210000	0.3	480	672	0	8	40	8	0
Pr 3	S	AM2	210000	0.3	480	672	0	8	0	40	91
Pr 4	S	NIS	210000	0.3	722	810	0	16	0	64	600
Pr 5	P	RID	210000	0.3	500	582	0	15	100	31	0
Pr 6	S	VTI	210000	0.3	1150	1370	0	5	0	40	60

P- pločasta epruveta ; S- sud pod pritiskom

Ekperimentalni rezultati SRP, za Pr 1 (Primer 1) preuzeti iz rada /4/, za zavarene pločaste epruvete sa prslinom u ZUT, P1 i P2 bez zaostalih napona i geometrijskih nepravilnosti kao i P3 i P4 sa zaostalim naponima i geometrijskim nepravilnostima svedenim na zaostale napone su prikazani na sl.5 zajedno sa rezultatima dobijenim programima KING. Dubina prsline na svim epruvetama je 9 mm što daje $c/t=d/h=0.45$.



Slika 4. Ilustracija razlike u izlaznim rezultatima programa KING0 i KING1 (Pr1)



Slika 5. Poređenje rezultata dobijenih programima KING i eksperimentalno/5/

5. Zaključak

Rezultati dobijeni programom KING1 su na strani veće sigurnosti u odnosu na rezultate dobijene programom KING0, jer je uveden novi kriterijum tečenja (bez parametra α), koji se svojim rezultatima dovoljno približava vrednostima dobijenim eksperimentalno i može dobro da posluži za preliminarnu ocenu integriteta zavarene konstrukcije. Dobijeni rezultati ukazuju da Kingov model može da nađe primenu u praksi, uključujući probleme zavarenih spojeva sa zaostalim naponima i geometrijskim nesavršenostima.

Literatura

- [1] R.B.King: "Elastic-plastic Analysis of Surface Flaws Using a Simplified Line-spring Model", Eng. Fracture Mech. 18, p. 217-231, 1983.
- [2] M. Ratwani, S. Sedmak, B. Petrovski: "Procena preostale čvrstoće sudova pod pritiskom sa površinskim greškama pomoću krive otpornosti", III letnja škola mehanike loma, Aranđelovac, 1984.
- [3] A. Milosavljević, R. Prokić-Cvetković, M. Zrilić, R. Radovanović, Z. Radaković: "Određivanje zaostalih napona na sfernom rezervoaru za čuvanje vinil-hlorid-monomera", VI letnja škola mehanike loma, Vrdnik, 1991.
- [4] T.Adžiev: "Zaostali naponi od zavarivanja - uticaj na ponašanje posuda pod pritiskom sa prslinom" VI letnja škola mehanike loma, Vrdnik, 1991.
- [5] V.Aleksić: "Primena inženjerskih metoda za određivanje sila rasta prsline u zavarenim spojevima sa zaostalim naponima i geometrijskim nepravilnostima" Magistarska teza, Mašinski fakultet, Beograd, 1999.

CALCULATION OF WELDMENT FRACTURE MECHANICS PARAMETERS USING KING'S MODEL

M. Arsić, A. Sedmak, A. Sedmak, M. Kirić

The analysis of calculation of fracture mechanics parameters of weldment with part through crack using King's model is given. Having in mind heterogeneity of weldments and in particular difference in weld metal and base metal strength (i.e. mismatching), this analysis took into account elastic-plastic fracture mechanics parameters, such as crack tip opening displacement and J integral. Specific problems like residual stresses and geometrical imperfections, which can also affect weldment behaviour, has been analysed, as well.

**Adresa autora: Mr Vujadin Aleksić, istraživač saradnik,
dr Miodrag Arsić, naučni saradnik, GOŠA Institut, Milana Rakića
35, Beograd,
prof. dr Aleksandar Sedmak, Mašinski fakultet, 27. Marta 80,
Beograd,
dr Miodrag Kirić, HIP Azotata, KKOM, Spoljnostarčevačka bb,
Pančevo.**