

**Međunarodna konferencija ZAVARIVANJE 2003
ZBORNİK REFERATA**

**International Conference WELDING 2003
CONFERENCE PROCEEDINGS**

**18-19. SEPTEMBAR 2003.
BEOGRAD**

IZLAZ

Sadržaj



Tematske oblasti konferencije Conference Subjects

Tematska oblast/Conference Subject I

***Materijali u zavarivanju i ponašanje materijala pri zavarivanju
Materials in welding and behaviour of material during welding***

Tematska oblast/Conference Subjects II

***Tehnologije zavarivanja i lemljenje u proizvodnji i reparaturi
Welding soldering and brazing methods in production and
maintenance***

Tematska oblast/Conference Subject III

***Integritet zavarenih konstrukcija
Integrity of welded structures***

Tematska oblast/Conference Subject IV

***Obrazovanje i sertifikovanje
Education and certification in welding***

PROGRAM RADA
Međunarodne konferencije
ZAVARIVANJE 2003
Beograd, 18 – 19. septembar 2003. godine



SREDA 17. septembar 2003. godine

- 17.00 – 20.00 registracija učesnika u hotelu Slavija

ČETVRTAK 18. septembar 2003. godine

- 09.00 – 16.00 Registracija učesnika ispred Kongresne sale u hali XIV Beogradskog sajma
- 09.30 – 10.00 Svečano otvaranje Međunarodne konferencije ZAVARIVANJE 2003
- 10.00 – 11.30 Prva radna sednica

Teme prve radne sednice: Materijali u zavarivanju i Ponašanje materijala pri zavarivanju
Predsedavajući: Aleksandar Radović, Ljubica Milović i Vencislav Grabulov

Satnica	Ime autora	Naziv rada
10.00 – 10.15	S. Cvetkovski	Mehaničke i mikrostrukturalne karakteristike zavarenog spoja mikrolegiranog čelika u zavisnosti od parametara zavarivanja i termičke obrade nakon zavarivanja
10.15 – 10.30	V. Gliha, D. Rojko, T. Vuherer	Osobine zone uticaja topline i metala šava u višeprolaznom šavu na čeliku Niomol 490K
10.30 – 10.45	N. Bajić, V. Šijački-Zeravčić	Analiza promene mehaničko tehnoloških i strukturnih osobina zavarenih spojeva mikrolegiranog čelika klase Nb/V u funkciji promene sastava dodatnog materijala
10.45 – 11.00	N. Lolov, B. Aleksandrov, M. Tongov	Istraživačke aktivnosti na polju zavarivanja u TU, Sofija
11.00 – 11.15	A. Živković	Karakteristike i osnovni principi zavarivanja HARDOX i WELDOX čelika
11.15 – 11.30	N. Bajić, V. Šijački-Zeravčić	Određivanje temperature nulte plastičnosti mikrolegiranog čelika Nb/Ti metodom padajućeg tega

- 11.30 – 11.50 Komercijalno tehnička prezentacija *Fabrike elektroda «PIVA», Plužine*
- 11.50 – 12.15 Kafe pauza
- 12.15 – 13.45 Druga radna sednica

Teme druge radne sednice: Materijali u zavarivanju, Ponašanje materijala pri zavarivanju i Integritet zavarenih konstrukcija
Predsedavajući: Leposava Šidanić i Radomir Milićević

Satnica	Ime autora	Naziv rada
12.15 – 12.30	Ž. Blečić, D. Blečić, A. Vukosavljević, B. Stojanović	Osvajanje proizvodnje oplaštene elektrode za tvrdo navarivanje
12.30 – 12.45	F. Karimzadeh, A. Saatchi, M. Salehii F. Karizmadeh	Kontrola pregrevanja i rasta zrna kod zavarivanja mikroplazmom tankih limova Ti6Al4V legure
12.45 – 13.00	V. Grabulov, Ž. Blečić, Z. Odanović, A. Vukosavljević	Ocjena sklonosti metala šava elektrode PIVA150B na tople prsline i prsline usled žarenja
13.00 – 13.15	I. Samardžić, Slavko Sebastijanović, Zvonimir Kolumbić	Praćenje i procesni podaci glavnih parametara zavarivanja
13.15 – 13.30	Z. Petrović	Uticaj veličine greške zavarenog spoja na zamornu čvrstoću
13.30 – 13.45	M. Kirić, A. Sedamak	Predviđanje žilavog loma posuda sa podužnom prslinom

- 13.45 – 14.15 Kafe pauza
- 14.15 – 15.30 Treća radna sednica
- Tema treće radne sednice: *Integritet zavarenih konstrukcija, Obrazovanje i Sertifikacija u zavarivanju*
Predsedavajući: Bela Sabo i Milan Dragić

Satnica	Ime autora	Naziv rada
14.15 – 14.30	M. Arsić, S. Sedmak, V. Aleksić, Z. Anđelković	Uticaj zaostalih napona od zavarivanja na ponašanje konstrukcija rotornih bagera u eksploataciji
14.30 – 14.45	T. Vuherer, D. Rojko, V. Gliha	Uticaj reparature na nivo i raspodelu zaostalih napona u sučeonom šavu na čeliku Niomol 490K
14.45 – 15.00	K. Grubić, S. Kralj, Š. Andrić	Evropski sistem obrazovanja stručnjaka za zavarivanje
15.00 – 15.15	M. Arsić, S. Sedmak, Z. Anđelković, M. Kutin	Pasoš zavarivača
15.15 – 15.30	S. Kralj, K. Grubić, Z. Kožuh, I. Garašić	Sertifikovanje preduzeća za izvođenja zavarivačkih radova prema međunarodnim normama

- 20.00 Zajednička večera

Petak, 19. septembar 2003. godine

- 09.15 – 10.50 Četvrta radna sednica
- Tema četvrte radne sednice: **Tehnologije zavarivanja u proizvodnji i reparaturi**
Predsedavajući: Miodrag Arsić i Vukić Lazić

Satnica	Ime autora	Naziv rada
09.15 – 09.30	M.M. Savickij, A.M. Savitckij, D. Bajić, Ž. Blečić;	Tehnologija elektrolučnog zavarivanja čelika korišćenjem aktivirajućih topitelja
09.30 – 09.45	Z. Janoš	Zavarivanje pri izgradnji magistralnih cevovoda
09.45 – 10.00	B. Sabo, L. Šiđanin, J. Dakić, D. Rajnović, M. Beljanski	Tehnologija elektrolučnog tačkastog zavarivanja grafitnom elektrodom
10.00 – 10.15	B. Sabo, L. Šiđanin, J. Dakić, D. Rajnović, A. Manojlović;	Tehnologija zavarivanja elektronskim snopom prstena od legure NIMONIC C.263
10.15 – 10.30	D. Bajić	Neke od metoda odstranjivanja oksida i sprečavanja poroznosti pri elektrolučnom zavarivanju aluminijuma i njegovih legura

- 10.30 – 10.50 Komercijalno tehnička prezentacija «**VARSTROJ**»
- 10.50 – 11.15 Kafe pauza
- 11.15 – 12.55 Peta radna sednica
- 11.15 – 11.35 Komercijalno tehnička prezentacija «**KMD MOTOR TEAM**»
- Tema pete radne sednice - **Tehnologije zavarivanja u proizvodnji i reparaturi**
Predsedavajući: Žarko Blečić i Mirjana Smiljanić

Satnica	Ime autora	Naziv rada
11.35 – 11.50	G. Rihar	Zavarivanje cevovoda u eksploataciji
11.50 – 12.05	D. Mitić	Sanacija sfernih rezervoara za TNG u Rafineriji nafte Novi Sad
12.05 – 12.20	Henk Van Zijl	Zavarivanje nosača za hemijsku industriju od dupleks nerđajućih čelika
12.20 – 12.35	M. Šolar, J. Markež	Strukture i postupci zavarivanja sivog liva

- 12.35 – 12.55 Komercijalno tehnički nastup «**SŽ ELEKTRODE JESENICE**»
- 12.55 -13.20 Kafe pauza
- 13.20 – 14.35 Šesta radna sednica
- Teme šeste radne sednice: **Tehnologije zavarivanja u proizvodnji i reparaturi i lemljenje**
Predsedavajući: Aleksandar Radović, Ljubica Milović i Vencislav Grabulov

Satnica	Ime autora	Naziv rada
13.20 – 13.35	V. Lazić, M. Jovanović, D. Adamović, M. Mutavdžić, N. Ratković	Reparaturno navarivanje alata za obradu zemljišta izloženih abrazivnom habanju
13.35 – 13.50	S. Marković	Sanacija sfernih rezervoara za TNG u Rafineriji nafte Novi Sad
13.50 – 14.05	V. Lazić, M. Jovanović, D. Adamović, N. Ratković	Izbor najpovoljnije tehnologije reparature kovačkih alata sa aspekta triboloških karakteristika
14.05 – 14.20	D. Runčev, I. Janev	Mikrostrukturne osobine lemljenih spojeva bakarnih cevi
14.20 – 14.35	V. Lazić, M. Jovanović, R. Vulović D. Adamović	Spajanje mesinga i niskougljenih čelika elektrootporskim lemljenjem

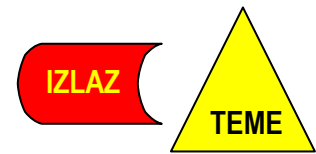
- 14.35 Zatvaranje konferencije

Tematska oblast I: Materijali u zavarivanju i ponašanje materijala pri zavarivanju
Conference Subject I: Materials in welding and behaviour of materials during welding

- R I-01 Mehaničke i mikrostrukturne karakteristike zavarenog spoja mikrolegiranog vanadijumovog čelika u zavisnosti od parametara zavarivanja i termičke obrade nakon zavarivanja**
S. Cvetkovski; Makedonija
Mechanical and microstructural properties of welded joint made of microalloyed vanadium steel in dependence of welding parameters and heat treatment after welding
- R I-02 Osobine zone uticaja topline i metala šava u višeprolaznom šavu na čeliku Niomol 490K**
V. Gliha, D. Rojko, T. Vuherer; Slovenija
Properties of the heat-affected zone and the weld metal of a multi-pass weld in steel Niomol 490K
- R I-03 Analiza promene mehaničko-tehnoloških i strukturnih osobina zavarenih spojeva mikrolegiranog čelika klase Nb/V u funkciji promene sastava dodatnog materijala**
N. Bajić, V. Šijački-Žeravčić; SCG
The analysis of change of the mechanical-technological and structural properties of welded joints of microalloyed NB/V steel grade by changing the composition of additional material
- R I-04 Istraživačke aktivnosti na polju zavarivanja u TU, Sofija**
N. Lolov, B. Aleksandrov, M. Tongov; Bugarska
Scientific research achievements in the area of welding at TU-Sofia
- R I-05 Karakteristike i osnovni principi zavarivanja HARDOX i WELDOX čelika**
A. Živković; SCG
Characteristics and basic principles of welding HARDOX and WELDOX steel
- R I-06 Određivanje temperature nulte plastičnosti mikrolegiranog čelika Nb/Ti metodom padajućeg tega**
N. Bajić, V. Šijački-Žeravčić; SCG
Determination of nil ductility of micro alloyed steel Nb/Ti using pull-down weight method
- R I-07 Osvajanje proizvodnje oplaštene elektrode za tvrdo navarivanje**
Ž. Blečić, D. Blečić, A. Vukosavljević, B. Stojanović; SCG
Manufacturing of core electrode for hard overwelding
- R I-08 Kontrola pregrevanja i rasta zrna kod zavarivanja mikroplazmom tankih limova Ti6Al4V legure**
F. Karimzadeh, A. Saatchi, M. Salehii F. Karizmadeh; Iran
Control of burning and grain growth during micro plasma arc welding of thin sheet Ti6Al4V alloy
- R I-09 Ocjena sklonosti metala šava elektrode PIVA 150B na tople prsline i prsline usled žarenja**
V. Grabulov, Ž. Blečić, Z. Odanović, A. Vukosavljević; SCG
Estimation of hot and reheat cracks susceptibility of weld metal in weldments obtained using PIVA 150B electrode

Tematska oblast II: Tehnologije zavarivanja i lemljenja u proizvodnji i reparaturi
Conference Subject II: Welding soldering and brazing methods in production and maintenance

- R II-01 Tehnologija elektrolučnog zavarivanja čelika korišćenjem aktivirajućih topitelja**
M.M. Savickij, A.M. Savitckij, D. Bajić, Ž. Blečić; Ukraina
Fluxes arc welding
- R II-02 Zavarivanje pri izgradnji magistralnih cevovoda**
Z.Jonaš; SCG
Cross country pipeline welding
- R II-03 Tehnologija elektrolučnog tačkastog zavarivanja grafitnom elektrodom**
B. Sabo, L. Šiđanin, J. Dakić, D. Rajnović, M.Beljanski; SCG
The arc spot welding with graphite electrode
- R II-04 Tehnologija zavarivanja elektronskim snopom prstena od legure NIMONIC C.263**
B. Sabo, L. Šiđanin, J. Dakić, D. Rajnović, A. Manojlović; SCG
The electron beam welding of NIMONIC C.263 ring
- R II-05 Neke od metoda odstranjivanja oksida i sprečavanja poroznosti pri elektrolučnom zavarivanju aluminijuma i njegovih legura**
D. Bajić; SCG
Some methods of oxide removing and prevention of porosity at arc welding of aluminium and its alloys
- R II-06 Zavarivanje cevovoda u eksploataciji**
G. Rihar; Slovenija
Welding of gas pipelines in service
- R II-07 Sanacija sfernih rezervoara za TNG u Rafineriji nafte Novi Sad**
D. Mitić; SCG
LPG Spherical storage tanks reconstruction in the Oil Refinery - Novi Sad
- R II-08 Zavarivanje nosača za hemijsku industriju od dupleks nerđajućih čelika**
Henk Van Zijl; Holandija
Welding of chemical carriers in duplex stainless steel
- R II-09 Strukture i postupci zavarivanja sivog liva**
M. Šolar, J. Markež; Slovenija
Structures and procedures of welding cast irons
- R II-10 Reparturno navarivanje alata za obradu zemljišta izloženih abrazivnom habanju**
V. Lazić, M. Jovanović, D. Adamović, M. Mutavdžić, N. Ratković; SCG
Reparatory hard-facing of the tillage tools exposed to abrasive wear
- R II-11 Tehnička i ekonomska opravdanost primene reparturnog navarivanja zubaca pri regeneraciji teško opterećenih zupčanika**
S. Marković; SCG
Technical and economical justification of applying tooth repair welding with regeneration of the heavy loaded gears
- R II-12 Izbor najpovoljnije tehnologije reparature kovačkih alata sa aspekta triboloških karakteristika**
V. Lazić, M. Jovanović, D. Adamović, N. Ratković; SCG
Selection of the optimum technology of the forging dies reparation from the aspect of tribological characteristics
- R II-13 Mikrostrukturalne osobine lemljenih spojeva bakarnih cevi**
D. Runčev, I. Janev; Makedonija
Microstructural properties of soldered and brazed joints of copper pipes
- R II-14 Spajanje mesinga i niskougljenih čelika elektrootporskim lemljenjem**
V. Lazić, M. Jovanović, R. Vulović D. Adamović; SCG
Resistance brazing of brass and low carbon steels



Tematska oblast III: Integritet zavarenih konstrukcija
Conference Subject III: Integrity of welded structures

- R III-01 Praćenje i procesni podaci glavnih parametara zavarivanja**
I. Samardžić, Slavko Sebastijanović, Zvonimir Kolumbić; Hrvatska
Monitoring and data processing of main welding parameters
- R III-02 Uticaj veličine greške zavarenog spoja na zamornu čvrstoću**
Z. Perović; SCG
Influence of defect size on the fatigue strength of welded joints
- R III-03 Predviđanje žilavog loma posuda sa podužnom prslinom**
M. Kirić; SCG
The prediction of ductile fracture for axially cracked pressure vessels
- R III-04 Uticaj zaostalih napona od zavarivanja na ponašanje konstrukcija rotornih bagera u eksploataciji**
M. Arsić; S. Sedmak, V. Aleksić, Z. Anđelković; SCG
Purchase of residual stresses from welding on behavior structures of rotary excavators in service
- R III-05 Uticaj reparature na nivo i raspodelu zaostalih napona u sučeonom šavu na čeliku Niomol 490K**
T. Vuherer, D. Rojko, V. Gliha; Slovenija
The effect of repair welding on the level and the distribution of residual stresses in a butt-weld in steel NIOMOL 490K
- R III-06 Obezbeđenje sigurnosti eksploatacije prema stvarnom stanju konstrukcija na osnovu VSM tehnologije**
S. Nedoseka, Ukraina
Operation safety of structures on an actual condition on a basis of VSM technology
- R III-07 Direktno merenje J integrala zavarenih epruveta zatezanjem**
G. Adžijev, A. Sedmak, T. Adžijev; Makedonija
Direct measurement of the J integral on welded tencile specimens



Tematska oblast IV: **Obrazovanje i sertifikovanje**
Conference Subject IV: **Education and certification in welding**

- R IV-01 **Evropski sistem obrazovanja stručnjaka za zavarivanje****
K.Grubić, S. Kralj, Š. Andrić; Hrvatska
European system for education of welding personnel
- R IV-02 **Pasoš zavarivača****
M. Arsić, S. Sedmak, Z. Anđelković, M. Kutin; SCG
Welders passport
- R IV-03 **Sertifikovanje preduzeća za izvođenje zavarivačkih radova prema****
međunarodnim normama
S. Kralj, K.Grubić, Z. Kožuh, I. Garašić; Hrvatska
Certification of companies engaged in welding production
according to European rules

**UTICAJ ZAOSTALIH NAPONA OD ZAVARIVANJA
NA PONAŠANJE
KONSTRUKCIJA ROTORNIH BAGERA U EKSPLOATACIJI
PURCHASE OF RESIDUAL STRESSES FROM WELDING
ON BEHAVIOR STRUCTURES OF ROTARY
EXCAVATORS IN SERVICE**

Miodrag Arsić*, Vujadin Aleksić*, Stojan Sedmak**, Zoran Andelković*

*GOŠA Institut, Milana Rakića 35, Beograd,

**Tehnološko-metalurški fakultet, Karnegijeva 4, Beograd

REZIME

Procena veličine i rasporeda zaostalih napona je od velikog značaja, jer ovi naponi mogu nepovoljno da utiču na eksploataciono ponašanje zavarenih konstrukcija rotornih bagera u odnosu na krti lom, zamor, naponsku koroziju i greške u geometriji konstrukcije.

U radu su izneti principi nastajanja zaostalih napona u procesu zavarivanja i rezultati njihovog merenja na radnom točku i kašikama rotornog bagera.

Izvršena ispitivanja su pokazala da je pojava prslina u zoni uticaja toplote (ZUT) i šavu izazvana prisustvom zateznih zaostalih napona, reda veličine granice tečenja, i da u eksploataciji u uslovima promenljivog opterećenja, delujući naponi (radni naponi + zaostali naponi) u lokalnim područjima zavarenih spojeva dostižu nivo zatezne čvrstoće.

Ključne reči: rotorni bager, zavarivanje, merna traka, zaostali napon, ukupni napon

ABSTRACT

Evaluation quantity and disposition residual stresses have great significance, because this stresses may have adversely effect at behavior of service welded structures of rotary excavators in relation to brittle fracture, fatigue, stress corrosion and defect in geometry structure.

In this paper are presented principles issue of residual stresses in welding process and the results of measuring working wheel and spoons of rotary excavator.

The tests were shown that feature cracks in heat affected zone (HAZ) and joint are aroused attendance tension residual stresses, quantity of yielding stress and that in exploitation, in conditions of versatile load, applied stresses (working stresses + residual stresses) in local region of welded joints achieve the level tension stress.

Key words: rotary excavator, welding, measuring medium, residual stress, whole stress

UVOD

S obzirom da su zavareni spojevi kritična mesta na konstrukciji rotornih bagera, proučavanjem ponašanja materijala i zavarenih spojeva pri dejstvu promenljivog opterećenja dolazi se do podataka koji mogu pomoći da se realizuju konstrukcije sigurne u odnosu na udarna opterećenja i zamorni lom.

Kod zavarenih spojeva dolazi do uticaja i koncentracija napona, ne samo od promene geometrijskog oblika, već i od prisutnih grešaka u zavarenim spojevima, od kojih neke ostaju u konstrukciji i pre puštanja u eksploataciju.

ZAOSTALI NAPONI OD ZAVARIVANJA

Zaostali naponi su prouzrokovani termičkim ciklusima zagrevanja i hlađenja u lokalnim područjima delova u toku zavarivanja, pri čemu je rastopljen metal šava (MŠ) ukrućen hladnim područjima, koja ga okružuju. Neravnomerna raspodela temperatura pri zavarivanju izaziva nekompatibilne deformacije, što dovodi do nastanka samouravnotežavajućih zaostalih napona, koji ostaju u konstrukciji i posle njenog hlađenja do temperature okoline. Proces naponsko - deformacijskih promena se može podeliti u dve faze: u toku zavarivanja deluju termički naponi, a posle zavarivanja završni zaostali naponi. Ako su delovi pri zavarivanju ukrućeni, javljaju se i reaktivni naponi, koji su uglavnom poprečni u odnosu na liniju šava i raspoređeni po čitavoj zapremini.

U uslovima promenljivog opterećenja sumiranje zaostalih napona sa promenljivim naponima spoljnog opterećenja dovodi do promene ukupnih napona, koji postaju veći ili manji. Na taj način, zaostali naponi mogu presudno uticati na procese stvaranja i rasta prslina.

Veličina i raspored zaostalih napona zavisi od brojnih parametara kao što su: količina unete toplote, brzina kretanja luka, osobine metala, oblik i dimenzije elemenata spoja i stepen njihove krutosti.

Iako su eksperimentalne metode za određivanje zaostalih napona pouzdanije, naročito za složenije oblike, ipak su neophodne i teorijske analize za proučavanje uticaja bilo koje promenljive.

Do danas su napravljene brojne teorijske i numeričke studije. Sa uvođenjem početkom sedamdesetih godina metode konačnih elemenata (MKE), i korišćenjem kompjutera, proračuni i analize zaostalih napona i deformacija su se značajno usavršili i proširili. Osnovni model koji se pri tome koristi je termo-elastoplastični

model. U značajnom broju slučajeva dobra je korelacija između numeričkih rezultata i eksperimentalnih podataka.

Analiza zaostalih napona može da bude jednodimenziona, dvodimenziona i trodimenziona.

EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE ZAOSTALIH NAPONA

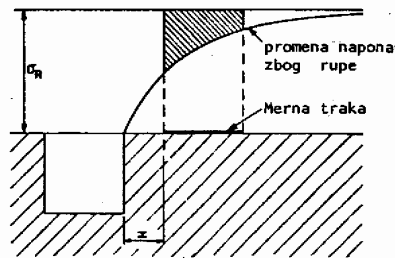
Od metoda merenja zaostalih napona traži se da budu nedestruktivne ili sa što manje razaranja materijala, da mere makronapone, odnosno one napone koji utiču na stvaranje i širenje prslina, da oprema bude pogodna za merenje na realnim konstrukcijama u pogonima i na terenu, i da pruža prihvatljivu tačnost.

Metode koje se koriste pri ispitivanju zaostalih napona mogu se podeliti na dve glavne grupe: na fizičke metode i na mehaničke metode. Mehaničke metode su po prirodi destruktivne ili semidestruktivne.

Od mehaničkih metoda za određivanje zaostalih napona, pri ispitivanju realnih konstrukcija najčešće se primenjuje metoda bušenja središnje rupe. Posle oko 40 godina usavršavanja, ova metoda se danas koristi sa specijalnim rozetama, sa središnjim otvorom prečnika do 1,5 mm, i mernom dužinom trake 1,5 mm. Princip ove metode je prikazan na slici 1 gde je zaostali napon označen sa σ_R . Kada se rupa izbuši, napon na ivici rupe mora da se svede na nulu, a dalje se napon menja kako je prikazano na slici 1. Merna traka (rozeta), koja se nalazi na odstojanju x od ivice rupe, prikazuje promenu deformacije, kao što je prikazano šrafiranom površinom na slici 1.

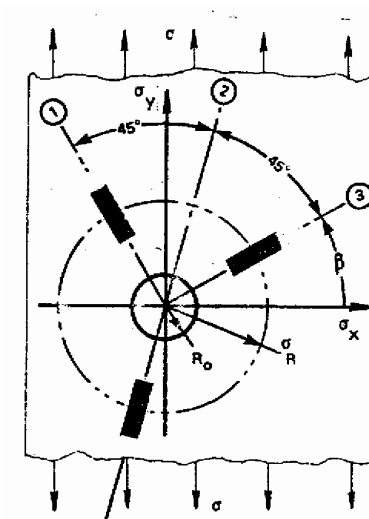
U opštem slučaju, naponsko polje je dvoosno i pravci glavnih napona su nepoznati. Zato je potrebna trojna rozeta. Za bilo koju vrednost napona σ_R izmerena deformacija je zavisna od rastojanja x . Zbog toga rupa mora da bude potpuno centrična, okrugla i poznatog prečnika.

Relaksirane deformacije izmerene na rozeti zavise od dubine rupe. Za dobijanje maksimalne relaksirane deformacije dovoljno je da dubina rupe bude približno jednaka prečniku rupe.



Slika 1. Princip određivanja zaostalih napona σ_R metodom bušenja središnje rupe i merenjem relaksiranih deformacija specijalnom rozetom

Teorijske osnove metode za dvoosno naponsko stanje opisuju sledeće jednačine, slika 2.



$$\varepsilon_r = \sigma_x(A + B \cos \alpha) + \sigma_y(A - B \cos \alpha) \quad (1)$$

ε_θ - nije od značaja za ova merenja

$$\sigma_x = \frac{\varepsilon_3(A + B \cos 2\beta) - \varepsilon_1(A - B \cos 2\beta)}{4AB \cos 2\beta} \quad (2a)$$

$$\sigma_y = \frac{\varepsilon_1(A + B \cos 2\beta) - \varepsilon_3(A - B \cos 2\beta)}{4AB \cos 2\beta} \quad (2b)$$

gde je:

$$A = -\frac{1+\nu}{2E} \frac{1}{r^2}; \quad r = \frac{R}{R_0} \quad (3a)$$

$$B = -\frac{1+\nu}{2E} \left(\frac{4}{1+\nu} \frac{1}{r^2} - \frac{3}{r^4} \right) \quad (3b)$$

$$C = -\frac{1+\nu}{2E} \left(-\frac{4\nu}{1+\nu} \frac{1}{r^2} - \frac{3}{r^4} \right) \quad (3c)$$

Slika 2. Shema određivanja dvoosnih zaostalih napona bušenjem središnje rupe

Pri merenju ovom metodom greške mogu nastati usled ekscentričnosti i nepravlinosti rupe i usled pojave plastičnih deformacija uz ivicu rupe. Za izbegavanje plastične zone, koja utiče na tačnost rezultata, merenje treba izvesti na minimalnom odstojanju od ivice rupe.

MERENJE DEFORMACIJA I ODREĐIVANJE RADNIH NAPONA

Bageri sa kašikama na obrtnom radnom točku su mašine koje na površinskim kopovima otkopavaju jalovinske i ugljene mase. Radni element, radni točak, je montiran na radnoj streli. Radni točak je izrađen od više elemenata, od materijala St. 52.3 (DIN) koji su spojeni zavarivanjem.

Do pojave prslina na radnom točku dolazi u području zavarenih spojeva, a do loma kašika pri kopanju uglavnom oko zuba, na nožu i oko uležištenja. Ovaj problem je zahtevao širu analizu za sagledavanje stanja na radnom točku i kašikama.

Za realizaciju eksperimentalnog ispitivanja deformacija na konstrukciji radnog točka i kašikama korišćen je sistem mernih uređaja koji obuhvata karakteristična svojstva raspodele naprezanja tokom vremena. Merna oprema se sastojala iz šestokanalnog mernog mosta-pojačivača, četvorokanalnog magnetnog pisara i grafičkog pisara. Za automatsko prebacivanje sa jedne merne trake, odnosno rozete na drugu u toku rada bagera, korišćen je vremenski preklopnik sa vremenskim podešavanjem od 1 sec do nekoliko minuta. Upotreba automatskog preklopnika je neophodna s obzirom da je u jednom radnom ciklusu potrebno registrovanje i snimanje sa svih mernih traka.

Tenzometrijska merenja deformacija na konstrukciji radnog točka i kašikama su izvršena sa 10 mernih traka LY11-HBM i 30 rozeta RY31-HBM. Prenos električnog signala sa obrtnog vratila radnog točka do opreme za registrovanje i obradu signala izvršen je pomoću specijalno izrađenih kliznih bakarnih prstenova, koji su postavljeni na vratilu radnog točka, i kontaktnih grafitnih četkica, postavljenih na stacionarnim nosačima, slika 3.



Slika 3. Mesto postavljanja bakarnih prstenova i kontaktnih četkica

Sva merna mesta su locirana na unutrašnjoj i spoljnoj strani segmenta radnog točka, koji obuhvata prostor jedne kašike.

Zahvaljujući svojstvima merne opreme, merenje deformacije na konstrukciji rotora i kašikama su izvršena pri višestrukome ponavljanju režima radnih opterećenja.

Eksperimentalno određene vrednosti radnih napona potvrdile su rezultate teorijske analize da se najveći naponi javljaju po obodu radnog točka bagera, na mestima

koja prenose ukrućenja kašika na radni točak, i na poprečnim gredama. Maksimalni radni naponi određeni na bazi izmerenih deformacija na prelaze 226 MPa i ne ugrožavaju konstrukciju radnog točka.

MERENJE ZAOSTALIH NAPONA NA RADNOM TOČKU I KAŠIKAMA

U sklopu analize naponskog stanja izvedena su merenja i zaostalih napona. Izbor eksperimentalne metode je izvršen uz uslov što manjeg oštećenja konstrukcije i što kraćeg vremena za pripremu i za samo ispitivanje. Praktično, merenje je moglo da se izvede samo metodom bušenja središnje rupe specijalnom burgijom i uređajem za precizno centriranje. Korišćene rozete, tip RY-61 su proizvod firme HBM. Uređaj za precizno centriranje i bušenje se sastoji od univerzalne spojnice i magnetnog držača, koji služi kao vođica centrirajućeg klina i burgije pri bušenju u sredini rozete.

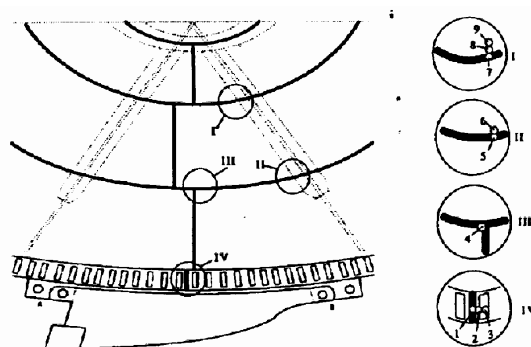
Proizvođač rozeta HBM daje sledeće jednačine za izračunavanje glavnih napona [3].

$$\sigma_{1,2} = -A^*(\varepsilon_0 + \varepsilon_{90}) \pm B^* \sqrt{(\varepsilon_0 - \varepsilon_{90})^2 + (\varepsilon_0 + \varepsilon_{90} - 2\varepsilon_{45})^2} \quad (4)$$

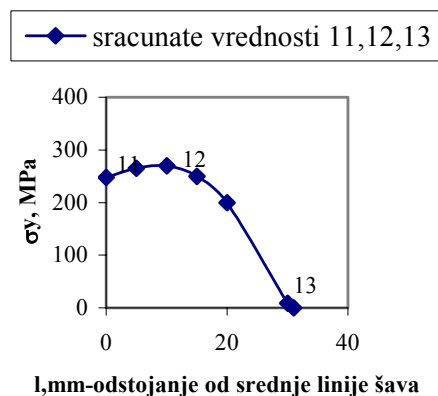
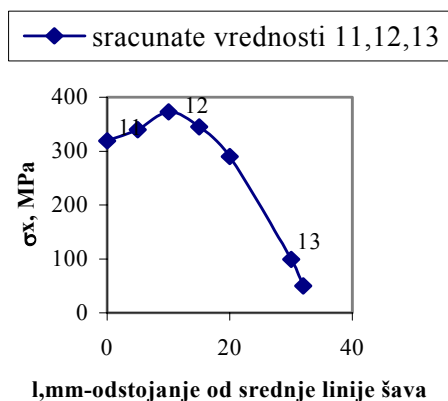
$$A^* = \frac{E}{0.184(1+\nu)}; \quad B^* = \frac{E}{0.7576 - 0.0606(1+\nu)}$$

za $E=2.1 \times 10^5$ MPa i $\nu=0.3$; $A^*=852900$ $B^*=309360$

Merenje zaostalih napona od zavarivanja na konstrukciji radnog točka bagera je izvršeno u zoni zavarenih spojeva, slika 4. Izmerene deformacije i izračunate vrednosti zaostalih napona sadrže grešku. Smatra se da iznad 70% raspona mernog područja greška raste i do 30% iznad zaostalih deformacija. Izračunate vrednosti zaostalih napona su date u tabeli 1, a dijagrami zaostalih napona u pravcu šava σ_x i poprečno na šav σ_y dati su na slici 5.



Slika 4. Raspored devet mernih mesta



a) u pravcu šava

b) popreko na šav

Slika 6. Dijagrami raspodele zaostalih napona na zadnjem delu kašike

ZAKLJUČAK

Opšti zaključak, izveden analizom rezultata merenja napona, je da radni naponi ne ugrožavaju rad konstrukcije, ali ukazuju da pri postojanju inicijalne prsline i zaostalih napona u zavarenim spojevima, kao i povećanim slučajnim otporima u radu bagera mogu da dostignu kritičnu vrednost, i da u dužem periodu rada dovedu do nepredvidivih otkaza (oštećenja i lomova).

Na osnovu izvršenih ispitivanja i dobijenih rezultata može se konstatovati da je pojava prsline u ZUT i šavu izazvana prisustvom zateznih zaostalih napona reda veličine granice tečenja. Time zaostali naponi presudno utiču na smanjenje dinamičke izdržljivosti zavarene konstrukcije pa se moraju uzeti u razmatranje pri analizi loma.

Rezultati ispitivanja pokazuju da ukupni naponi (radni i zaostali) u lokalnim područjima zavarenih spojeva, u uslovima promenljivog opterećenja, mogu dostići ne samo napon tečenja već i zateznu čvrstoću, što dovodi ne samo do razvoja i širenja postojećih mikroprrsline već i do stvaranja novih[4].

Izučavanje naponskog stanja posle zavarivanja treba povezati sa eksperimentalnim istraživanjima konkretnih slučajeva zavarenih konstrukcija i sa laboratorijskim ispitivanjima epruveta velikih dimenzija, a takođe i sa teorijskim analizama uz primenu metode konačnih elemenata.

Opšti zaključak je da proučavanje ponašanja zavarenih spojeva mora da obuhvati znatno veći broj parametara, jer heterogenost strukture zavarenog spoja uslovljava različito ponašanje metala šava i osnovnog materijala pri dejstvu promenljivog opterećenja.

LITERATURA

- [1] A. Majstorović, M. Jovanović: Osnovi zavarivanja, lemljenja i lepljenja, Naučna knjiga, Beograd, 1990.
- [2] E. M. Beaney: Strain, Journal BSSM, 12, 1976, pp.99.
- [3] Hotinger-Boldwin Messtechnik : Data sheet D 24 02 Oe.
- [4] M. Arsić, S. Sedmak, M. Sarvan: Analiza uzroka pojave prslina na zavarenim spojevima konstrukcije rotora bagera SRs 1300.26/5.0, "Zavarivanje 96", Beograd, 1996, str. 343