



M. Arsić, V. Aleksić, A. Veljović

## REPARATURA NAVARIVANJEM TURBINSKE DIJAFRAGME IZRAĐENE OD SIVOG LIVA

### REPAIR WELDING OF TURBINE DIAPHRAGM MADE OF GRAY CAST IRON

**Stručni rad / Professional paper**

**UDK / UDC:** 621.791.92:669.131.6

**Rad primljen / Paper received:**

Mart 2008.

**Ključne reči:** Sivi liv, navarivanje, turbinska dijafragma.

#### Izvod

Navarivanje delova izrađenih od sivog liva predstavlja izuzetno težak praktični problem u obezbeđenju njihove funkcionalne ispravnosti nakon reparaure. Ovo je posebno izraženo kod delova velikih dimenzija sa značajnim eksploataciskim oštećenjem. U radu je, na osnovu analize mogućnosti i opravdanosti popravke data tehnologija navarivanja turbinske dijafragme izrađene od sivog liva, čije je oštećenje (pohabanost) iznosila od jedne do dve trećine noseće zapremine. Prečnik turbinske dijafragme je  $\phi$  1570 mm.

**Adresa autora / Author's address:**

Miodrag Arsić, Vujadin Aleksić, Aleksandar Veljović,  
Institut za ispitivanje materijala, Vojvode Mišića 43,  
Beograd, Srbija

e-mail: miodrag.arsic@institutims.co.yu

**Keywords:** Grey iron, repair welding, turbine diaphragm.

#### Abstract

Repair welding of the spare parts produced of the gray iron presents very difficult practical problem in order to provide their functional accuracy after repair. This is especially expressed for the large dimension parts with significant exploitation damages. According to analysis of possibilities and necessity of repair, in the paper is given repairing technology for the turbine diaphragms made from gray iron. Its damage is about one to two thirds of the working volume. The turbine diaphragm diameter is  $\phi$  1570 mm.

#### UVOD

Navarivanje delova na kojima je došlo do istrošenosti ili oštećenja tokom eksploatacije naziva se reparaturno navarivanje. Cilj reparaturnog navarivanja je smanjenje troškova održavanja, bilo smanjenjem troškova potrebnih za nabavku novih delova, ili smanjenje troškova izazvanih zastojeom zbog često dugotrajne nabavke novog dela. Prema podacima iz literature, a i iz dosta bogatog iskustva poznato je da troškovi reparaturnog navarivanja po pravilu ne prelaze 20 % od cene novo nabavljenog dela. Navarivanje se primenjuje u mašinogradnji, rudarstvu, građevinarstvu i procesnoj industriji, pa sve do prehrambene industrije i poljoprivrede [1]. U radu je, na osnovu analize mogućnosti i opravdanosti popravke, data tehnologija navarivanja turbinske dijafragme izrađene od sivog liva.

#### EKSPERIMENT

##### Osnovni materijal turbinske dijafragme

Prikaz oštećenog dela turbinske dijafragme dat je na sl.1. Oštećenje - istrošenost na turbinskoj dijafragmi nastalo je u procesu višegodišnje eksploatacije (habanje i gubljenje osobina usled dugotrajne upotrebe).

S obzirom da se nije znalo koji je kvalitet sivog liva, od koga je izrađena turbinska dijafragma, izvršena su

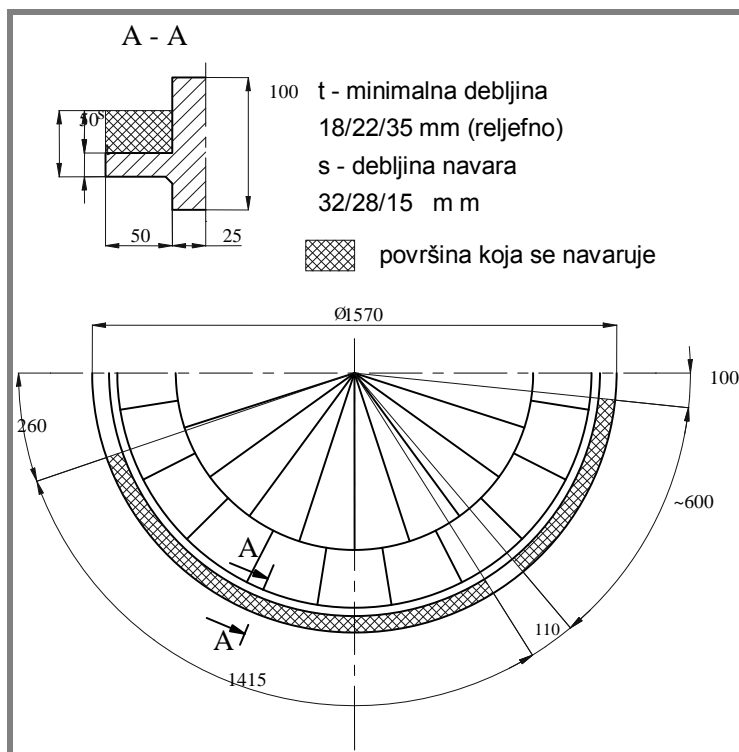
ispitivanja hemijskog sastava, mehaničkih osobina i metalografska ispitivanja.

Rezultati ispitivanja hemijskog sastava dati su u tabeli 1, mehaničkih osobina u tabeli 2 i metalografskih ispitivanja na slici 2 i slici 3 [2].

Struktura ispitivanog uzorka odgovara strukturi sivog liva, shodno odgovarajućem standardu SRPS C.J2.010. Lamele grafita raspoređene su u feritno-perlitnoj osnovi mestimično u obliku krupnih rozeta slici 2, a u većem procentu su raspoređene kao na slici 3. Oblik grafita uglavnom odgovara referentnim slikama I i III dok raspored grafita odgovara referentnim slikama A i B. Veličina grafitnih lamela odgovara indeksima 3/4/5/6, saglasno usvojenoj klasifikaciji grafita po SRPS C.A3.020/87. Učešće grafita u strukturi nije svuda isto što pokazuju slike 2 i 3.

Prema Standardu SRPS C.J2.020, na osnovu hemijskog sastava, zatezne čvrstoće, tvrdoće i metalografskih snimaka ispitani uzorak se može svrstati u klasu materijala SL 150.

Uobičajena klasifikacija i kategorizacija sivog liva je na osnovu veličine ekvivalenta ugljenika  $C_e$  i uticaja brzine očvršćavanja. Empirijski izraz za  $C_e$  sadrži količinu ukupnog ugljenika  $T_e$  ( $C$  – vezan u metalnoj osnovi – vezani i slobodni ugljenik – grafit) i onu količinu silicijuma i fosfora, koji su po uticaju ekvivalentni ugljeniku.



Slika 1: Prikaz oštećenog dela turbinske dijafragme

Tabela 1: Hemijski sastav materijala turbinske dijafragme, mas. %

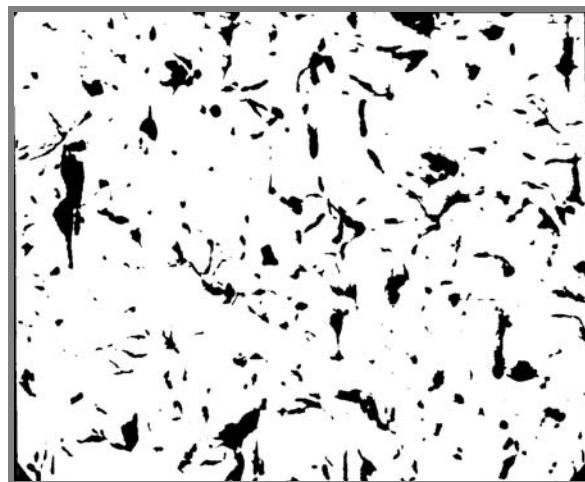
C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]
3.62	0.72	0.50	0.60	0.10

Tabela 1: Mehaničke osobine materijala turbinske dijafragme

Zatezna čvrstoća Rm [N/mm <sup>2</sup> ]	Tvrdoća HB
141	148



Slika 2: Krupne lamele grafita, nagrizano u 3% Nitalu, uvećanje 100 x



Slika 3: Finije lamele grafita, nagrizano u 3% Nitalu, uvećanje 100 x



$$C_e = T_e + \frac{1}{3} \cdot (Si + P) \quad [\%] \quad (1)$$

$$C_e = 3.62 + \frac{1}{3} \cdot (0.72 + 0.8) \cong 4.13 \quad [\%] \quad (2)$$

Liv čiji je ekvivalent ugljenika  $C_e < 4.3$  pripada podeutektoidnim livovima koji obično imaju ljuspastu građu grafita.

Utjecaj brzine očvršćavanja na strukturu, a time i na mehaničke osobine uzrok su velikih razlika osobina u različitim preseccima i debljinama zida istog odlivka od običnog sivog liva. U debljem zidu (preko 12 mm) struktura je uglavnom samo ferit i grubi grafit. Nedostaci običnog sivog liva mogu da se ublaže sa specijalnim dodacima (sredstvima za modifikaciju), što ovde nije slučaj. Na osnovu izvršenih ispitivanja ispitivani materijal odgovara sivom livu SL 150.

### Tehnologija navarivanja turbinske dijafragme

Primena zavarivanja/navarivanja u popravci oštećenih livenih delova ima toplotni uticaj na osnovni materijal, pa je neophodno poznavanje toplotno - fizičkih osobina sivog liva, tabela 3.

Tabela 3: Toplotno - fizičke osobine sivog liva SL 150

Materijal	Gustina pri 20°C [g/cm <sup>3</sup> ]	Koeficijent linearnog širenja od 100 do 700°C [ $\alpha_t \cdot 10^{-6}$ ]	Koeficijent toplotne provodljivosti
SL 150	7.8	11.0	0.66

Kada se zahteva da hemijski sastav osnovnog materijala i metala šava bude srodan primenjuje se zavarivanje/navarivanje na toplo primenom visokotemperaturnog predgrevanja. Postupkom zavarivanja/navarivanja sa visokotemperaturnim predgrevanjem može se izbeći problem strukture kaljenja u zoni uticaja toplote, jer se u izvesnoj meri reguliše termički ciklus zavarivanja/navarivanja (posebno smanjenjem brzine hlađenja) [3]. Međutim, koliko će primena tehnoloških mera na ovaj način obezbediti zavareni/navareni sloj zahtevanih osobina, bez prslina, zavisi od hemijskog i strukturnog sastava konkretnog livenog dela, što je u odnosu na godine eksploatacije i obim oštećenja dijafragme turbine bilo teško predvideti.

Zavarivanje sivog liva bez primene, pre svega, visokotemperaturnog predgrevanja, kao i bez primene niskotemperaturnog predgrevanja moguće je kod nesrodnog metala šava/navara i osnovnog materijala. Zbog nesrodnosti sa osnovnim materijalom rastopljeni dodatni materijal se ne stapa ili ograničeno se stapa sa osnovnim materijalom, čime se smanjuje udeo osnovnog metala sivog liva u metalu šava. Bolji rezultati pri hladnom zavarivanju/navarivanju sivog liva postižu se kombinovanim zavarivanjem/navarivanjem. Pri tome se prvi sloj obrazuje elektrodom od čistog nikla, a naredni od legure nikla – železa i tako naizmjenično [3].

Pod osobinom zavarljivosti razlikuje se fizička i tehnološka zavarljivost. Fizička zavarljivost karakteriše mogućnost odigravanja fizičko-hemijskih procesa na osnovu kojih se ostvaruje zavareni spoj. Tehnološka zavarljivost karakteriše sveukupnost osobina osnovnog metala koje određuju njegove reakcije na promene koje se dešavaju pri zavarivanju.

Sa aspekta fizičke zavarljivosti sivi liv ima dobru zavarljivost. Sa aspekta tehnološke zavarljivosti, naročito liveni delovi od sivog liva, loše su zavarljivi. Postizanje zahtevanih osobina zavarenog/navarenog spoja moguće je samo uz uslov da se primene sasvim određene tehnološke mere za poboljšanje.

Postizanje osobina zavarenog / navarenog spoja najpribližnijih osnovnom materijalu uslovljeno je:

- hemijskim sastavom osnovnog materijala;
- hemijskim sastavom dodatnog materijala;
- brzinom hlađenja zavarenog / navarenog spoja.

Za zavarivanje / navarivanje sivog liva, u principu se koriste dve metode: zavarivanje/navarivanje na toplo i zavarivanje/navarivanje na hladno.

Iz navedenog se može zaključiti, da regulisanje brzine hlađenja i brzine očvršćavanja do nivoa potrebnog za grafitizaciju je moguće jedino primenom visokotemperaturnog predgrevanja, uz podešavanje hemijskog sastava dodatnog materijala. Visokotemperaturno predgrevanje obezbeđuje dovoljno vreme za eliminisanje rastvorljivih gasova iz rastopljenog metala šava, a ujedno je i proces žarenja za uklanjanje napona. Struktura navara i osobine postaju bliske osnovnom materijalu. Visina temperature predgrevanja ograničena je temperaturom eutektoidne transformacije sivog liva (723°C).

Imajući u vidu rezultate ispitivanja osnovnog materijala, obezbeđenje srodnih osobina osnovnog materijala i metala navara turbinske dijafragme uglavnom je vezano za regulisanje brzine hlađenja. Sivi liv, zavisno od brzine hlađenja očvršćava po stabilnom ili nestabilnom sistemu. Činjenica da brzina hlađenja pri očvršćavanju metala navara od sivog liva je nekoliko desetina puta veća od brzine hlađenja pri grafitizaciji odlivaka, uslovljava očvršćavanje i hlađenje navarenog spoja po metastabilnom sistemu.

S obzirom na nivo oštećenja turbinske dijafragme izvršeno je visokotemperaturno predgrevanje odlivka u celini.

Temperatura predgrevanja se kretala u intervalu 550±50°C. Maksimalna brzina zagrevanja do

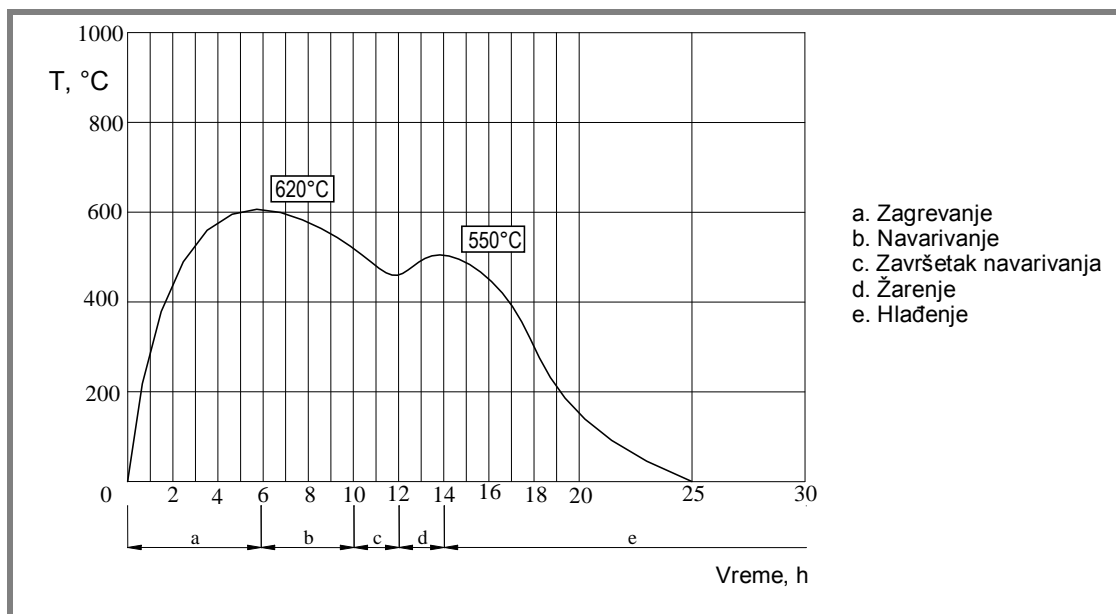


temperature predgrevanja u rasponu od 100 do 150°C/h.

Temperatura odlivka za vreme navarivanja (radna temperatura) nije bile viša od 650°C i niža od 450°C. Termička obrada posle navarivanja se obavljala direktno sa radne temperature navarivanja. Dijagram termičkog ciklusa zagrevanje – navarivanje – hlađenje prikazan je na slici 4.

Za postizanje temperature predgrevanja, održavanje radne temperature u toku navarivanja i održavanje zahtevane brzine hlađenja poželjno je koristiti komorne peći ili specijalne – namenske peći.

U praktičnoj primeni za dogrevanje koriste se gorionici različitih konstrukcija i priručni uređaji prilagođeni specijalnoj nameni. Opštom specifikacijom tehnologije navarivanja obuhvaćene su aktivnosti i način njihovog sprovođenja, tabela 4.



**Slika 4:** Dijagram termičkog ciklusa kod srodnog osnovnog metala i metala navara

**Tabela 4:** Opšta specifikacija tehnologije zavarivanja/navarivanja kod srodnih materijala

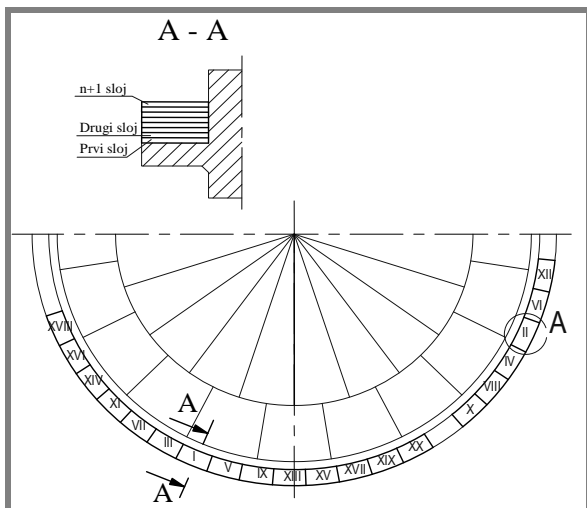
Aktivnost	Način sprovođenja	
Priprema	Oblik navara	Prema kalupu za zahtevani oblik
	Obavezno čišćenje površina za navarivanje	
	Mehanički	Obrada struganjem, glodanjem, brušenjem, odsecanjem
Termički ciklus (celog komada ili lokalno)	Predgrevanje	Srednja vrednost $TV=550\pm 50$ Maksimalna brzina zagrevanja 100-150°C/h, u slučaju zagrevanja celog komada
	Međuslojna temperatura	Temperatura u toku navarivanja $TZ=TV\pm 50^\circ\text{C}$ (iznad 450°C)
	Hlađenje	Do 300°C brzinom 40°C/h
Termička obrada posle navarivanja		Bez hlađenja posle navarivanja
Postupak	Ručno elektrolučno	Navarivanje
Dodatni materijal		Elektrode za navarivanje sivog liva



Priprema za navarivanje je izvedena tako što su uklanjani produkti nataloženi tokom eksploatacije i stajanja odlivka (brušenjem). Za potrebe navarivanja pohabanih površina pripremom su otklonjeni i nagnečeni i deformisani slojevi usled habanja. Pripremom površina za navarivanje je obuhvaćeno i oblikovanje površina za navarivanje uz kontrolu oblika i mera.

S obzirom da izvođenje navarivanja zahteva primenu istih opštih pravila kao i kod zavarivanja, pri navarivanju turbinske dijafragme uradjeno je sledeće:

- elektrode na (+) polu sa nešto povećanom jačinom struje (140A-za prvi prolaz navarivanja sa elektrodom prečnika  $\varnothing$  3.25 mm i 160A- za ostale prolaze navarivanja sa elektrodom prečnika  $\varnothing$ 4 mm ), jer se dobijaju širi i glatki navari,
- navarivanje pripremljene površine je počelo navarivanjem ivica (oboda) očišćene površine zbog manjeg unosa toplote u delove manje debljine na dijafragmi, tako da se osnovni materijal eventualno deformiše prema unutrašnjosti. Pri daljem navarivanju troska će se skupljati ka konusu i nakon očvršćavanja se lako odstranjuje,



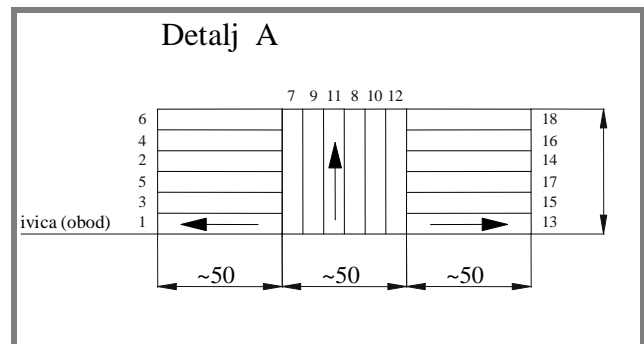
Slika 5: Skica segmenata

## DISKUSIJA

Zahtevi kvaliteta i kriterijumi prihvatljivosti u ovom slučaju su u ograničenim okvirima iz sledećih razloga:

- oštećenja dijafragme turbine iznose 1/3 do 2/3 njene noseće zapremine,
- dimenzije, konstruktivno rešenje, nivo oštećenja i stanje osnovnog materijala (stari liv) turbinske dijafragme nisu omogućile potpunu primenu termičkog tretmana,
- zahtev spoljašnjeg nalaza kvaliteta zavarenih spojeva (nadvišenje, utonulost, zajedi), kao i završna obrada i dimenziona provera je otežana zbog konstrukcijskog rešenja dijafragme,

- za navarivanje je korišćena elektroda tipa CSi (elektroda SL 250 sa tvrdoćom metala šava 270 HB i zateznom čvrstoćom 270 MPa) koja daje širi međusloj, a navar je dobre obradivosti,
- preporučeno njihanje elektrode je za veličinu prečnika elektrode,
- za navarivanje većih površina na dijafragmi, u cilju smanjenja termičkih napona i deformacija, korišćen je postupak kombinovanog navarenog sloja,
- skica segmenata data je na slici 5, a redosled navara i pravac nanošenja, da bi se obezbedila što manja koncentracija toplote, prikazan je na slici 6.
- pri polaganju susednog navara, kao i uopšte kod navarivanja, za dobijanje ravnomernosti navarene površine i povoljnog termičkog uticaja, navari su preklapani za jednu trećinu širine navara,
- navarivanje su izveli dobro obučeni zavarivači, iskusni u zavarivanju / navarivanju sivog liva i sa odgovarajućim atestom,
- u toku procesa sanacije obezbedjen je nadzor tehnologa zavarivanja sivog liva.



Slika 6: Redosled prolaza u jednom segmentu

- posebnih zahteva za tvrdoću navarene površine nije bilo. Tvrdoća površine navara, koja zavisi isključivo od primenjene elektrode, ispitana je prenosnim tvrdomerom,
- vizuelna kontrola pre navarivanja, u toku navarivanja i nakon navarivanja. Pre navarivanja, kontrola svih pripremljenih radova. U toku navarivanja kontrola osnovnih parametara iz tehnologije navarivanja: sam izgled navara, nadvišenje navara, zareze, zajede, površinske prsline i površinsku poroznost. Posle navarivanja izvršena je vizuelna kontrola,
- za proveru homogenosti unutrašnjeg dela navara primenjena su ultrazvučna ispitivanja, prema odgovarajućem SRPS standardu.



Sa aspekta standardizacije u oblasti zavarivanja/navarivanja sivog liva u Evropi i svetu još uvek postoje samo nacionalni standardi, uputstva i preporuke. Kod nas je to samo standard SRPS ISO C.H3.016/1985 za označavanje elektroda, koji u suštini ne predstavlja standard vezan za zavarivanje / navarivanje.

Standardi za obezbeđivanje kvaliteta zavarivanja/navarivanja predviđaju da je neophodno pre izvođenja zavarivanja/navarivanja izvršiti kvalifikaciju tehnologije zavarivanja/navarivanja, prema SRPS EN 288-3/95, kako bi se u procesu zavarivanja/navarivanja otklonili eventualni propusti do kojih može doći u radu.

Za sanaciju, oštećenje turbinske dijafragme nije urađena kvalifikacija tehnologije navarivanja [4, 5].

### ZAKLJUČAK

Zavarivanje/navarivanje predstavlja jedan od osnovnih postupaka reparature elemenata nekog sklopa u procesnoj industriji zbog relativno kratkog vremena potrebnog za popravku, troškova i mogućnosti obezbedjenja zadovoljavajućeg kvaliteta. U radu je izvršena analiza mogućnosti i opravdanosti popravke i prikazani su detalji tehnologije navarivanja turbinske dijafragme izrađene od sivog liva.

### ZAHVALNICA

Rad je urađen u okviru realizacije projekta 14014: "Istraživanje i razvoj metoda za ocenu integriteta i pouzdanosti zavarenih cevi u naftnoj industriji", koji je finansiran od strane Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije.

### LITERATURA

- [1] Slobodan K., Vinko I., Zvonimir K, Navarivanje kao mogućnost produženja veka tribosistema, Međunarodno savetovanje., Zavarivanje i srodni postupci u održavanju konstrukcija, Zagreb, 1988, st. 7- 15
- [2] Miodrag A., Vujadin A., Projekat Instituta IMS za U.S.STEEL Smederevo "Tehnologija navarivanja za sanaciju turbinske dijafragme", MP 0101PK, Beograd 2005.
- [3] Mirjana S., Milica A., Zavarivanje sivog liva u održavanju opreme, društvo za unapređenje zavarivanja u Srbiji, Beograd, 1997.
- [4] Miodrag A., Vujadin A., M. Mladenović, Otkazi i metodološki pristup sanaciji oštećenja zavarene noseće konstrukcije bagera dreglajn, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Vol. 51, br. 3, 2006, str. 115-120.
- [5] SRPS standardi iz oblasti zavarivanja.

### KALENDAR STRUČNIH SKUPOVA 2008-2009. GODINE

Datum i mesto	Naziv	Adresa
Decembar, 7-10, Bangkok, Thailand	PMP-III, 3rd International Conference Process Materials for Properties	<a href="http://www.tms.org/Meetings/specialty/pmp08/home.html">www.tms.org/Meetings/specialty/pmp08/home.html</a>
Decembar, 2-4, Melbourne, Australia	The 13th Asia-Pacific Conference on Non-Destructive Testing	<a href="http://materialsaustralia.com.au/SHM2008/">http://materialsaustralia.com.au/SHM2008/</a>
Januar 11-14, Krynica - Zdroj, Poland	16th KomplasTech Conference on Computer Methods in Materials Technology	<a href="http://www.komplastech.agh.edu.pl">www.komplastech.agh.edu.pl</a>
Februar, 7-9, San Francisco, CA, USA	The 2009 TMS Annual Meeting: Linking Science and Technology for Global Solutions	<a href="http://www.tms.org/Meetings/Annual-08/AnnMtg08Home.html">www.tms.org/Meetings/Annual-08/AnnMtg08Home.html</a>
Mart, 23-26, Darmstadt, Germany	Second International Conference on Material and Component Performance under Variable Amplitude Loading	<a href="http://www.dvm-berlin.de/index.php?id=447">www.dvm-berlin.de/index.php?id=447</a>
Mart, 31- April 2. Nürnberg, Germany	European Coatings Show 2009	<a href="http://www.european-coatings-show.com">www.european-coatings-show.com</a>
April, 21-23 Dubendorf (Zurich), Switzerland	2nd Int. Creep Conference: Creep & Fracture in High Temperature Components - Design & Life Assessment Issues	<a href="http://www.etd1.co.uk">www.etd1.co.uk</a>
April, 19-22, Las Vegas, USA	17th International Conference on Wear of Materials	<a href="http://www.wom-conference.elsevier.com/">www.wom-conference.elsevier.com/</a>
April, 5-8, Cranfield University, UK	Gun Tubes 2009	<a href="http://www.dcmt.cranfield.ac.uk/symposia/gt2009">www.dcmt.cranfield.ac.uk/symposia/gt2009</a>