



B. Katavić, B. Jegdić, Z. Odanović, M. Djurdjević, N. Hut, M. Mladenović, D. Jaković

ANALITIČKA PROCENA MOGUĆNOSTI PRIMENE INTERVENTNOG REPARATURNOG ZAVARIVANJA ČELIKA 13CrMo 4-5

ANALYTICAL ESTIMATION OF THE APPLICATION POTENTIALS FOR THE EMERGENCY REPAIR WELDING OF THE 13CrMo 4-5 STEEL

Stručni rad / Professional paper

UDK / UDC: 621.791:669.15'26'28
621.791:621.18

Rad primljen / Paper received:

Decembar 2009.

Adresa autora / Author's address:

Dr. Boris Katavić, dipl. inž. met.

Dr. Bore Jegdić, dipl. inž. tehn.

Institut Goša, Milana Rakića 35, Beograd, Srbija

Dr. Mile Djurdjević, dipl. inž. met.

Nemak Europe GmbH, Frankfurt, Germany

Dr. Zoran Odanović, dipl. inž. met.

Nenad Hut, dipl. inž. maš.

Mladen Mladenović, dipl. inž. maš.

Mr. Dragan Jaković, . dipl. inž. met.

IMS Institut, Bulevar vojvode Mišića 43, Beograd, Srbija.

Ključne reči: Reparaturno zavarivanje, čelik 13CrMo 4-5, elementi kotlova i cevi.

Keywords: Repair welding, steel 13CrMo 4-5, elements of pressure vessel and pipes.

Izvod

Čelik 13CrMo 4-5 (~Č7400) već dugi niz godina se primenjuje za izradu delova termoenergetskih postrojenja kao što su elementi kotlova i cevi. On spada u grupu niskolegiranih konstrukcionih čelika za rad na povišenim temperaturama do 600°C. Čelik 13CrMo 4-5 pripada grupi uslovno zavarljivih čelika, koji mogu uspešno da se zavaruju uz primenu posebnih mera, kao što su predgrevanje, termička obrada nakon zavarivanja i drugih mera predostrožnosti, a zavaruje se sa dodatnim materijalima sličnog hemijskog sastava. U ovom radu je izvršena procena zavarljivosti osnovnog materijala na osnovu analitičkih jednačina i izvršena su ispitivanja na osnovu tehnoloških proba osetljivosti na pojavu prslina (Y i CTS). Kao dodatni materijali u ispitivanjima su korišćene elektrode sličnog hemijskog sastava (Castolin 71D) i austenitne elektrode na bazi nikla (Castolin 2222 Xuper Nucleo Tec). Dobijeni preliminarni rezultati ukazuju, da u slučajevima interventnih popravki zavarivanjem bez dodatne termičke obrade, ne treba koristiti klasične dodatne materijale, zbog mogućnosti pojave prslina u zavarenom spoju, osim u slučaju primene tehnologije sa kontrolisanim unosom toplote, kao i da bi se za interventna zavarivanja mogle koristiti elektrode na bazi nikla, u ovom slučaju Castolin 2222 Xuper Nucleo Tec.

Abstract

Over the years steel 13CrMo 4-5 (~Č7400) is applied for production of the parts as pressure vessels and pipes in thermo energetic plants. This steel is from the group of the low alloyed constructional steels for application on elevated temperatures up to 600°C. Steel 13CrMo 4-5 is conditionally weldable steel and could be successfully welded with the special care and application of preheating, post weld heat treating and other precautionary measures. It is usually welded with similar filler material. In consideration to specific application, at repair welding special care have to be taken in defining weld process parameters and selection of filler materials. In this investigations a estimation of the weldability of the steel 13CrMo 4-5 is performed on the base of the analytical equations and technological tests for the crack sensitivities (Y and CTS tests). As filler material a electrodes with similar chemical composition (Castolin 71D) and austenite nickel based alloy (Castolin 2222 Xuper Nucleo Tec) were used. Preliminary results has shown that in case of the emergency repair welding with similar filler material without PWHT, a cracks could be formed in welded joint and application of the controlled deposition method have to be applied. Also, a filler material based on nickel as Castolin 2222 Xuper Nucleo Tec, could be applied.

UVOD

Niskolegirani i C-Mn čelici se široko primenjuju u postrojenjima u energetici, hemijskoj industiji i petrohemiji koja rade u uslovima visokih temperatura i visokih pritisaka, koji degradirajuće deluju na njihovo funkcionisanje. Za energetska postrojenja u termoelektranama i toplanama, čiji je vek trajanja ograničen i uslovljen sigurnosnim zahtevima,

produženje radnog veka pojedinih komponenata u odnosu na projektovani vek, predstavlja veliku prednost sa ekonomskog stanovišta. Tokom redovnog rada komponenti u postrojenjima koja konstantno rade u uslovima visokih temperatura, može doći do oštećenja i lomova homogenih materijala, a posebno zavarenih spojeva čelika, kao posledica puzanja, zamora i oksidacije. Tehnologije popravke zasnovane na



zavarivanju, se široko primenjuju u termoenergetskim postrojenjima godinama unazad.

Obzirom da značaj reparature zavarivanjem u održavanju termoenergetskih postrojenja postaje sve veći, razvijene su pored već postojećih klasičnih i nove tehnologije reparature. Često je potrebno, a i jedino izvodljivo bez potpunog zaustavljanja postrojenja, da se reparatura izvrši na licu mesta u toku rada postrojenja, uzimajući u obzir ograničenja, koja se zbog položaja komponenti, odnose na pristup i rad na komponenti, predgrevanje pre zavarivanja i termičku obradu posle zavarivanja kao i neophodna ispitivanja kvaliteta obavljenih radova na reparaturi [1,2].

Zadnjih nekoliko godina razvijene su i na njihovom osvajanju se i dalje radi, nove tehnologije reparaturnog zavarivanja kod kojih je, za razliku od klasičnih tehnologija, izostavljeno predgrevanje i/ili termička obrada posle zavarivanja kod vatrootpornih i vatropostojanih čelika. Ove nove tehnologije dobile su popularan naziv "reparaturno zavarivanje na hladno". Mnoge su prednosti ovih tehnologija, posebno sa ekonomske strane.

Reparature se obavljaju za kraće vreme i uz niže troškove u odnosu na klasične procedure. Praktične prednosti se ogledaju u većoj operativnosti, jednostavnijem izvođenju procesa i manjim brojem kontrolnih pregleda tokom procesa reparature. U svetu se zadnjih godina intenzivno radi na osvajanju i proveru uspešnosti ovih novih tehnologija reparaturnog zavarivanja, koje se mogu podeliti u dve osnovne grupe: postupke sa kontrolisanim unosom toplote i na postupke zasnovane na primeni dodatnog materijala sa osnovom nikla [3-5].

U ovom radu je obavljena procena zavarljivosti osnovnog materijala na osnovu analitičkih jednačina i tehnoloških proba osetljivosti na pojavu prslina (Y i CTS) kod čelika 13CrMo 4-5, a u cilju definisanja tehnologija reparaturnog elektrolučnog zavarivanja kod kojih bi, za razliku od klasičnih tehnologija, bilo izostavljeno predgrevanje i/ili termička obrada posle

zavarivanja. Kao dodatni materijali u ispitivanjima su korišćene elektrode sličnog hemijskog sastava osnovnom materijalu (Castolin 71D) i austenitne elektrode na bazi nikla (Castolin 2222 Xuper Nucleo Tec).

EKSPERIMENT

Osnovni materijal

Analiza hemijskog sastava uzorka čelika 13CrMo 4-5, u obliku lima debljine 10 mm, određena je spektrofotometrijskom metodom i data je u tabeli 1. Hemijski sastav čelika odgovara zahtevima standarda SRPS EN 10028-2/2003. Ispitivane mehaničke osobine čelika i prema standardu SRPS EN 10028-2/2003 su prikazane u tabeli 2.

Ispitivanje sklonosti zavarenog spoja ka pojavi prslina

Ispitivanje tehnološke zavarljivosti čelika 13CrMo 4-5 vršeno je na probama izrađenim od lima debljine 10 mm. Osetljivost na pojavu prslina vršeno je sa Y probama (Tekken) na uzorcima dimenzija 200x150mm i CTS probama dimenzija donje ploče 180x100mm, a 75x75mm su bile dimenzije gornje ploče [6].

Zavarivanje je vršeno REL (E) postupkom bez predgrevanja. Probe su vršene sa dva dodatna materijala i to dodatnim materijalom sličnog hemijskog sastava osnovnom materijalu, oznake Castolin 71D, odnosno sa austenitnim dodatnim materijalom na bazi nikla 2222 Xuper NucleoTec. Hemijski sastav i mehaničke osobine primenjenih dodatnih materijala prikazane su u tabelama 3 i 4. Uslovi zavarivanja proba dati su u tabelama 5 i 6.

Ispitivanja osobina zavarenih spojeva

Stukturne osobine zavarenih spojeva ispitivane su vizuelno i primenom svetlosne mikroskopije, a ispitivanje tvrdoće vršeno je Vikers metodom sa opterećenjem od 1kg (HV1).

Tabela 1: Hemijski sastav čelika 13CrMo 4-5 (mas.%)

Vrsta analize	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo
SRPS EN 10028-2	0,08-0.18	0,15-0.35	0,4-1.0	max. 0,025	max. 0,030	0.7-1.15	0.40-060
ispitivani čelik	0.17	0,28	0,59	0,009	0,013	1.07	0.42

Tabela 2: Mehaničke osobine čelika 13CrMo 4-5

	Rp _{0.2} , MPa	Rm, MPa	A5, %	Kv300/2, J
SRPS EN 10028-2	min. 300	450-600	min. 20	min. 31
ispitivani čelik	436	540	35	83.5

Tabela 3: Hemijski sastav čistog metala šava (mas.%)

Standard/Oznaka	Hemijski sastav, mas.%							
	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	Fe	Nb
DIN 8575 E CrMo1 R 25, (Castolin 71D)	0.06	0.30	0.50	1.09	0.49	/	ostalo	
/ Castolin 2222 Xuper NucleoTec	0.024	0.17	6.13	15.89	1.03	ostalo	9.26	1.69



Tabela 4: Mehaničke osobine čistog metala šava [10]

Standard/Oznaka		Mehaničke osobine, min.				
		Rm, MPa	Rp _{0.2} , MPa	A5, %	Kv300/2, J	HB
DIN 8575	E CrMo1 R 25, (Castolin 71D)	490-590	380	22	55	~310
/	Castolin 2222 Xuper NucleoTec	620-690	~390	40-45	~120	180-220

Tabela 5: Uslovi zavarivanja Y- proba

Dodatni materijal	Dimenzija elektode	Struja, Isr	Napon, U _{sr}	Brzina zavarivanja, vz	Dužina zavara, l	Vreme zavarivanja, t	Energija zavarivanja, Ez
	mm	A	U	cm/min	mm	sec	kJ/mm
Castolin 71 D	Φ 3.2	130	26-28	14.5	80	33	1.28
2222 Xuper NucleoTec	Φ 3.2	115	25-26	10.9	80	44.1	1.40

Tabela 6: Uslovi zavarivanja CTS- proba

Dodatni materijal	Dimenzija elektode	Struja, Isr	Napon, U _{sr}	Brzina zavarivanja, vz	Dužina zavara, l	Vreme zavarivanja, t	Energija zavarivanja, Ez
	mm	A	U	cm/min	mm	sec	kJ/mm
Castolin 71 D	Φ 3.2	130	22-26	16.6	75	27	1.04
			26-29	15.0		30.5	1.28
2222 Xuper NucleoTec	Φ 3.2	115	25-27	12.5	75	36.4	1.27
				13.6		33.1	1.16

REZULTATI I DISKUSIJA

Analitička ocena zavarljivosti čelika 13CrMo 4-5

Čelici legirani hromom i molibdenom široko se primenjuju u termoenergetskim postrojenjima za izradu kotlova i cevi. Ispitivani čelik 13CrMo 4-5 spada u grupu niskolegiranih konstrukcionih čelika za rad na povišenim temperaturama. Primenjuju se u uslovima gde se zahteva relativno visoka čvrstoća na temperaturama do 600°C, koja se ostvaruje feritno perlitnom mikrostrukturom sa dispergovanim talozima karbida Mo, koji daju čvrstoću na visokim temperaturama, a prisustvo karbida Cr daje ovim čelicima otpornost ka oksidaciji [3]. Dijagram kontinuiranog hlađenja (KH) za čelik 13CrMo 4-5 prikazan je na slici 1. Na osnovu ovog dijagrama može se konstatovati da se pri većim brzinama hlađenja, u strukturi javlja martenzit, odnosno beinit, a pri sporom hlađenju se formira ferit i perlit. Većinu delova izradjenih od čelika 13CrMo 4-5 karakteriše feritno perlitna i/ili feritno beinitna mikrostruktura. U slučaju zavarivanja, pri čemu se ostvaruju i veće brzine hlađenja kod ovog čelika se može javiti martenzitno - beinitna mikrostruktura i pri hlađenju na vazduhu, što ukazuje na sklonost ka pojavi krutih struktura i prslina u ZUT-u [4-6, 9].

U cilju definisanja transformacionog ponašanja čelika 13CrMo 4-5 u različitim uslovima zagrevanja i hlađenja, izvršen je proračun transformacionih temperatura na osnovu analitičkih izraza iz literature i hemijskog sastava ispitivanog čelika (tabela 1) i rezultati su prikazani u tabeli 7. U tabeli su prikazani i mereni rezultati za čelik istog tipa, sličnog hemijskog sastava, ali sa nešto većim sadržajem Si (0.5-1.0%) [9].

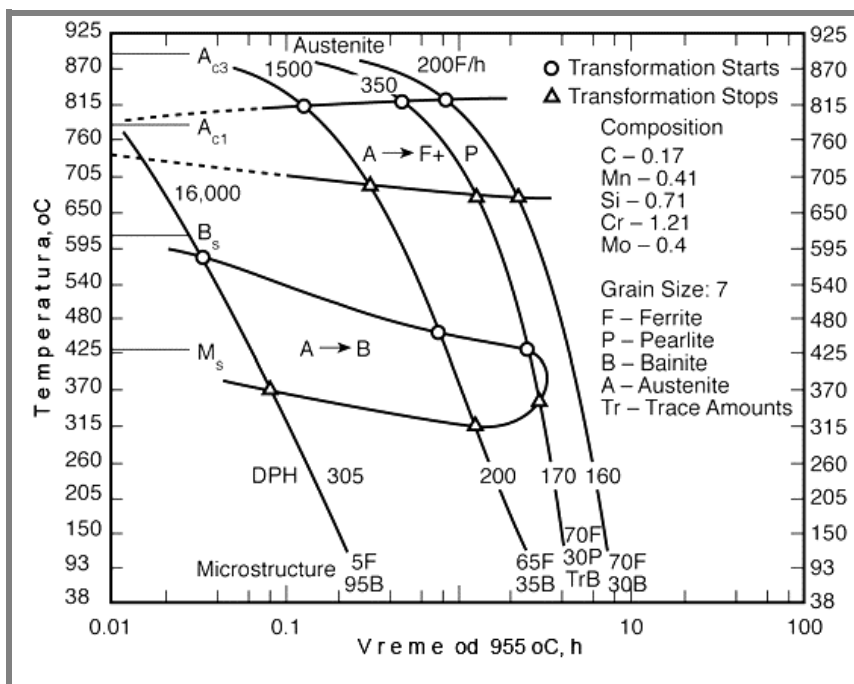
Analiza proračunatih temperatura početka beinitne transformacije TBS kao i temperatura početka i kraja stvaranja martenzita TMS - TMF ukazuje da se beinit, odnosno martenzit u ispitivanom čeliku, mogu formirati počev od 611 °C, odnosno u temperaturnom intervalu od 219 – 433°C.

Ovi rezultati takođe ukazuju da u uslovima rada komponenti izradjenih od čelika 13CrMo 4-5, koja se kreće do 600°C, posebno u slučajevima zaustavljanja postrojenja ili pregrevanja, može doći do formiranja u mikrostrukтури krutih faza, martenzita i/ili beinita. Na osnovu analitičkih izraza i hemijskog sastava ispitivanog čelika 13CrMo 4-5, izvršena je ocena zavarljivosti i osetljivosti na pojavu prslina. Rezultati primene parametarskih jednačina su prikazani u tabeli 8.

Rezultati analitičke procene na osnovu parametarskih jednačina iz tabele 8, ukazuju da je čelik 13CrMo 4-5 uslovno zavarljiv i sklon pojavi hladnih prslina. Iako se rezultati parametarskih jednačina pojave prslina usled žarenja po Nakamuru i Itou razlikuju, treba usvojiti da je ovaj čelik umereno sklon pojavi ovih prslina [6, 9, 10].

Dobijeni rezultati ukazuju da je ispitivani čelik zavarljiv primenom konvencionalnih postupaka zavarivanja, ali uz primenu odgovarajućih mera predostrožnosti. To znači da je u toku zavarivanja potrebno voditi računa o temperaturi predgrevanja, brzini zagrevanja, hlađenja i temperaturi međuprolaza, odnosno o termičkom ciklusu zavarivanja.

U tom cilju izračunata je minimalna temperatura predgrevanja, a u tabeli 9 prikazani su rezultati analitičke procene, dobijeni na osnovu podataka iz tabela 1 i 3 [6, 10]. Dobijene minimalne temperature predgrevanja su u intervalu od 125-150°C.



Slika 1: Dijagram kontinuiranog hlađenja za čelik 13CrMo 4-5 [3]

Tabela 7: Temperature faznih transformacija čelika 13CrMo 4-5

POKAZATELJ	OZNAKA	Izračunate vrednosti [7, 8].	Merene vrednosti [3]
Temp. početka martenzitne transformacije	T_{MS} (°C)	410,7	433
Temp. kraja martenzitne transformacije	T_{MF} (°C)	219	/
Temp. početka beinitne transformacije 4	T_{BS} (°C)	621	611
Temperatura A_{c3} tačke	T_{Ac3} (°C)	878	890
Temperatura A_{c1} tačke	T_{Ac1} (°C)	779,5	780

Tabela 8: Rezultati analitičke procene zavarljivosti čelika 13CrMo 4-5

POKAZATELJ	OZNAKA	Izračunata vrednost	KOMENTAR
Ekvivalent ugljenika po IIW [7]	C_{EKV}	0,566	Uslovno zavarljiv
Ekvivalent ugljenika – NRIM [7]	C_{EKV}	0,599	Uslovno zavarljiv
Ekvivalent ugljenika po BWRA [7]	C_{EKV}	0,349	Uslovno zavarljiv
Parametar prslina prema Tekkenu [7]	P_{CM}	0,290	Sklon prslinama
Parametar za hladne prsline [7]	P_w	0,375	Umerena sklonost
Parametar za hladne prsline CEn [8]	CEn	0,533	Sklon prslinama
Tvrdoća ZUT-a - hladne prsline [7]	HV	359,1	Sklon prslinama
Indeks za tople prsline [7]	HCS	1,73	Nije sklon
Parametar prslina usled žarenja - Nakamura [7]	ΔG	2,16	Sklon prslinama
Indeks prslina usled žarenja - Ito [7]	Ps _r	0,09	Granična vrednost

Tabela 9: Temperatura predgrevanja čelika 13CrMo 4-5

POKAZATELJ	Izračunata vrednost
Temperatura predgrevanja, T_p (°C) [7]	148
Temperatura predgrevanja, T_p (°C) [7]	138,5
Temperatura predgrevanja, T_p (°C) [8]	149/124/74



Dobijeni rezultati se podudaraju sa podacima o standardnoj proceduri ručnog elektrolučnog zavarivanja čelika 13CrMo 4-5, koji podrazumevaju predgrevanje na temperaturama od minimum 120°C i termičku obradu nakon zavarivanja na temperaturama od 700-740°C u trajanju od 1 h/25mm debljine materijala [1]. Ista tehnologija se može primeniti i pri reparaturnom zavarivanju.

Medjutim u slučajevima interventnog reparaturnog zavarivanja, na primer u slučaju havarija, gde se često reparatura mora obaviti za kratko vreme bez dovoljno vremena za dugotrajnu termičku obradu nakon zavarivanja, primena klasičnog dodatnog materijala dovodi do stvaranja krtih fazu zavarenom spoju. U takvim slučajevima se može primeniti modifikovana tehnologija reparaturnog zavarivanja, na primer sa kontrolisanim unosom toplote ili da se koristi drugi odgovarajući dodatni materijal.

Eksperimentalna ocena sklonosti ka formiranju hladnih prslina

Zbog sklonosti ka pojavi pre svega hladnih prslina kod zavarivanja čelika 13CrMo 4-5, na koje su ukazali rezultati analitičke ocene zavarljivosti prikazani u tabeli 8, izvršeno je i eksperimentalno ispitivanje sa "Y" (proba Tekken) i "CTS" tehnološkim probama.

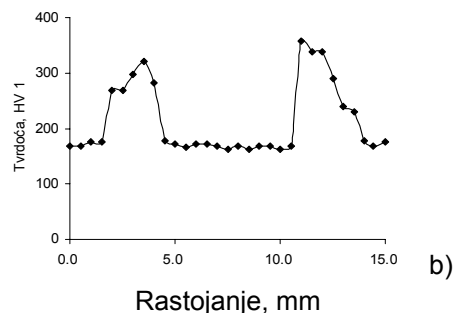
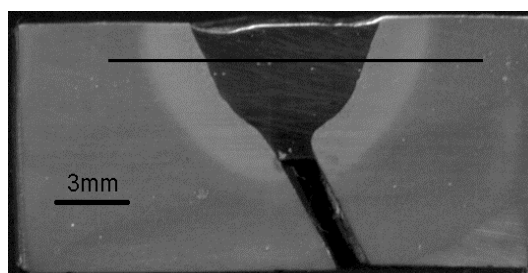
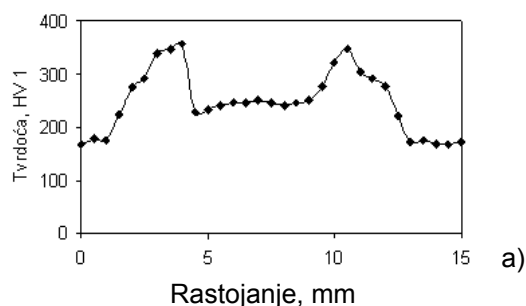
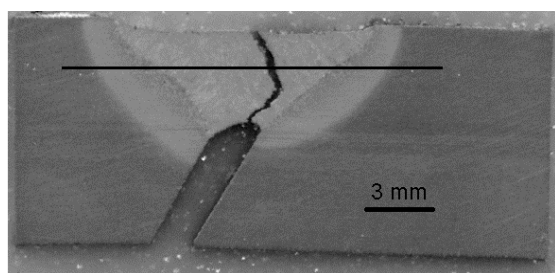
Zavarivanja su vršena sa dodatnim materijalom sličnog hemijskog sastava osnovnom materijalu, kakav se inače koristi pri klasičnim tehnologijama zavarivanja ovog čelika. U eksperimentima je korišćena elektroda oznake Castolin 71D, a osobine su prikazane u tabelama 3 i 4. Kao alternativni dodatni materijal koji bi mogao da se koristi pri reparaturnom zavarivanju, korišćen je u eksperimentima i austenitni dodatni materijal na bazi nikla oznake 2222 Xuper NucleoTec,

a osobine su prikazane u tabelama 3 i 4. Parametri zavarivanja proba prikazani su u tabelama 5 i 6. Na poprečnim presecima proba izvršeno je merenje tvrdoće HV1 i analizirana makrostruktura. Rezultati ispitivanja Y proba prikazani su na slici 2, a rezultati CTS proba prikazani su na slikama 3 i 4.

Ispitivanja su pokazali da se kod Y-proba zavarenih konvencionalnom tehnologijom (bez predgrevanja) sa dodatnim materijalom Castolin 71D zapažaju prsline (slika 2a). Nasuprot ovome, kod Y- proba zavarenih sa dodatnim materijalom na bazi nikla 2222 Xuper Nucleo Tec, iako je tvrdoća metala šava nešto viša od osnovnog metala, nema pojave prslina u zavarenom spoju (slika 2b). CTS probe zavarene sa oba ispitivana dodatna materijala, nisu pokazala prisustvo prslina, bez obzira na izostajanje naknadnog termičkog tretmana spojeva, slike 3 i 4.

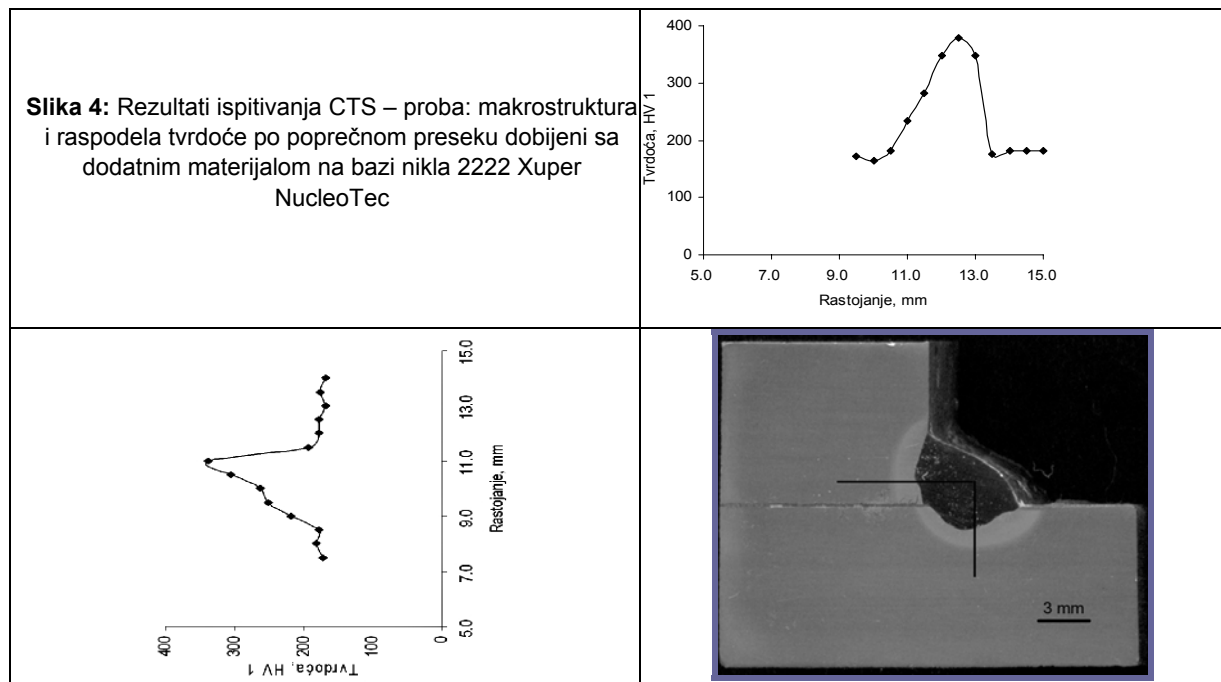
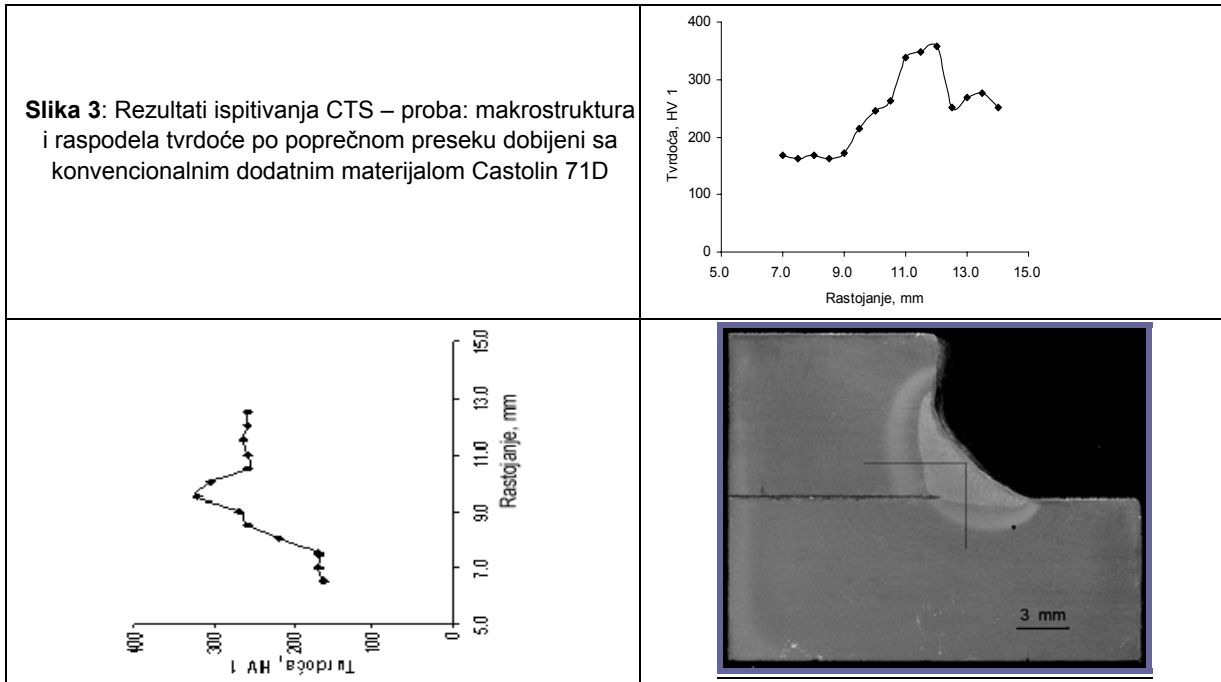
Generalno, kod Y i CTS proba, zavarenih ovim tehnologijama, zapaža se nagli porast tvrdoće u ZUT-u spojeva (slike 2-4). Pojava prslina u slučaju zavarivanja Y proba, sa konvencionalnim dodatnim materijalom, za razliku od CTS proba, gde nije bilo prslina, je rezultat oštrijih uslova kojima je izložen dodatni materijal pri ispitivanju Y probe.

Ovi rezultati su ukazali da samo reparaturno zavarivanje sa dodatnim materijalom na bazi nikla, bez predgrevanja i naknadne termičke obrade, omogućava dobijanje kvalitetnog zavarenog spoja. Eventualna primena dodatnog materijala sličnog hemijskog sastava bez predgrevanja i naknadne termičke obrade za reparaturno zavarivanje, je eventualno moguća uz primenu tehnologije sa kontrolisanim unosom toplote, što bi bilo interesantno da se ispita u budućim istraživanjima.



Slika 2: Rezultati ispitivanja Y – proba, makrostruktura i raspodela tvrdoće po poprečnom preseku:

- konvencionalna tehnologija sa dodatnim materijalom Castolin 71D;
- tehnologija sa dodatnim materijalom na bazi nikla 2222 Xuper NucleoTec



ZAKLJUČAK

U radu je prikazana procena zavarljivosti čelika 13CrMo 4-5 obavljena na osnovu analitičkih jednačina i tehnoloških proba osetljivosti na pojavu prslina (Y i CTS), a u cilju definisanja tehnologija reparaturnog elektrolučnog zavarivanja kod kojih bi, za razliku od klasičnih tehnologija, bilo izostavljeno predgrevanje i/ili termička obrada posle zavarivanja. Kao dodatni materijali u ispitivanjima su korišćene elektrode sličnog hemijskog sastava osnovnom materijalu (Castolin 71D) i austenitne elektrode na bazi nikla (Castolin 2222 Xuper Nucleo Tec).

Rezultati su ukazali da samo reparaturno zvarivanje sa dodatnim materijalom na bazi nikla, bez predgrevanja i

naknadne termičke obrade, omogućava dobijanje zavarenog spoja bez pojave prslina. Primena dodatnog materijala sličnog hemijskog sastava bez predgrevanja i naknadne termičke obrade za reparaturno zavarivanje, je eventualno moguća uz primenu tehnologije sa kontrolisanim unosom toplote, što bi moglo da se ispita u budućim istraživanjima.

ZAHVALNOST

Rad je urađen u okviru realizacije projekta 19023 "Osvajanje novih tehnologija reparaturnog zavarivanja za interventne remonte termoenergetskih postrojenja", koji je sufinansiran od strane Ministarstva nauke i tehnološkog razvoja Srbije.



LITERATURA

- [1] A. Klenk, S. Issler, I. A. Shibli, J. A. Williams: "Some Characteristics of Weld Repair for Creep Applications", OMMI, Vol. 2, Issue 1, April 2003, pp. 1-32
- [2] J. Pecha, J. Hakl, T. Vlasák "Zavarivanje opreme za energetiku – sadašnjost i budućnost", Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Vol. 53, Br. 2, (2008), str. 51-60.
- [3] E. Budzakova, D. Dune, M. Law: "The performance of an emergency cold weld repair on a 2.25Cr-1Mo longitudinally seam welded pressure vessel", Materials Forum, Vol. 27, (2004), pp. 45-53.
- [4] V. Grabulov, Z. Odanović, B. Katavić, S. Momčilović, B. Tasić: "Reparaturno zavarivanje diska radnog kola mlina za uglji od Cr-Mo čelika", Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Vol. 53, br.4, (2008), str. 147-157.
- [5] C. Silva, V. de Albuquerque, C. Moura: "Evaluation of AISI 4140 steel repair without PWHT", Journal of Materials Engineering and Performance, Vol. 18 (3), April, (2009), pp. 324-331.
- [6] I. Hrivnjak: "Zavarljivost čelika", 36, 57-59, 93, 113, 1982, Beograd, IRO Građevinska knjiga
- [7] Katalog Castolin Eutectic (www.castolin.rs)
- [8] F. Wever, A. Rose, Atlas zur warmebehandlung der stahle, Verlag, Dusseldorf, 1958.
- [9] D. Gandy The Grades 11 and 12 Low Alloy Steel Handbook: 1¼Cr½Mo, 1Cr½Mo 13CrMo44, 620/621, STPA 22/23. EPRI, Palo Alto, CA: 2007. 1013358, pp. 2.1-4.9.
- [10] www.it.iwes.or.jp/weld_simulator

Prikaz knjige

OTPORNOST NA HABANJE NAVARENIH POVRŠINA

Autor: Mr MILENKO PEROVIĆ

Nedavno je iz štampe izašla knjiga autora mr Milenka Perovića, dipl.inž.maš., monografija pod nazivom „Otpornost na habanje navarenih površina“ u izdanju ITP „Unireks“ iz Podgorice, a štampana je u tiražu od 500 primeraka. u štampariji „Grafičar“ iz Užica.

Recenzenti monografije, koja je nastala kao plod višegodišnjeg iskustva autora, su profesor dr Branislav Jerinić, sa Univerziteta u Kragujevcu i profesori dr Bela Sabo i dr Dragutin Stanivuković, sa Univerziteta u Novom Sadu.

Autor je u bogato opremljenoj i ilustrovanoj monografiji, na oko 300 strana, izložio rezultate svojih izučavanja i istraživanja vezane za tribološke fenomene habanja i oplemenjivanja površina materijalima otpornim na trošenje usled različitih spoljnih uticaja. Takođe, dao je osnovne definicije i pojmove vezane za eksperimente i planiranje eksperimenata, realizaciju eksperimenata i matematičku obradu dobijenih rezultata.

Centralni deo monografije posvećen je izvođenju eksperimenta vezanom za utvrđivanje međuzavisnosti između parametara navarivanja i oblika i dimenzija navara i otpornosti na habanje nanetog sloja. U završnom delu, matematičkom obradom podataka, autor je došao do jednačina, formula koje matematički opisuju međuzavisnost parametara navarivanja i željenih karakteristika navara. Matematički izračunate i izmerene veličine se skoro u potpunosti poklapaju.

Monografija autora mr Milenka Perovića, dipl.inž.maš, pod nazivom „Otpornost na habanje navarenih površina“ je retko štivo iz ove oblasti nauke i tehnologije na našem jeziku i treba da nađe svoje mesto u biblioteci svakog čitaoca koji se bavi obrazovanjem, izučavanjem i primenom triboloških pojava i navarivanja i srodnih tehnologija u cilju oplemenjivanja površina koje se habaju i troše usled različitih spoljašnjih uticaja.

Izvod iz recenzije dr Bele Saboa, redovnog profesora Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu:

”Posebna mi je čast i zadovoljstvo da kao stručnjak iz oblasti tvrdog navarivanja mogu pozitivno oceniti Monografiju kolege Milenka Perovića i da preporučim njeno publikovanje. Monografija predstavlja obiman i dobro sistematizovan naučni materijal iz oblasti tvrdog navarivanja sa detaljnim tribološkim analizama navarenog sloja. Verujem da će Monografija biti od velike koristi za sve naučne radnike i stručnjake iz ove oblast”