

GREŠKE ZAVARIVANJA KOD TOPLOTNO POSTOJANIH ČELIKA ZA PAROVODE

WELDING FLAWS OF PIPELINE HEAT RESISTANT STEELS

Prof. dr Vera Šijački Žeravčić¹, mr Gordana Bakić¹, mr Miloš Đukić¹,
Prof. dr Biljana Anđelić², Bratislav Rajičić, dipl.ing.maš.¹

¹Mašinski fakultet, Beograd, 27. marta 80, ²Tehnički fakultet, Čačak, Svetog Save 65,

REZIME

U radu je dat prikaz grešaka tipa prslina koje mogu da se jave kod zavarenih spojeva vitalnih komponenti termoenergetskih postrojenja. Posebno su obrađene greške zavarivanja koje se javljaju kod toplotno postojanih Cr-Mo-V i Cr-Mo čelika za parovode, koje pod određenim uslovima pogoduju stvaranju prslina tokom eksploatacije.

1. UVOD

Toplotno postojani niskolegirani čelici perlitne klase na bazi hroma, molibdena i vanadijuma predstavljaju materijal koji se široko primenjuje za izradu parovoda termoenergetskih postrojenja. Međutim, laboratorijska ispitivanja kao i sama eksploatacija (ispitivanja *in vivo*) su pokazale da se zavareni spojevi ovih čelika odlikuju smanjenom eksploatacionom sposobnošću u odnosu na osnovni materijal. Cilj ovoga rada je da prikaže neke od mogućih grešaka tipa prslina koje se javljaju kod zavarenih spojeva, sa posebnim osvrtom na greške zavarivanja Cr-Mo-V čelika, koje predstavljaju povoljna mesta za inicijaciju i širenje prslina.

2. GREŠKE ZAVARENIH SPOJEVA TIPRA PRSLINA

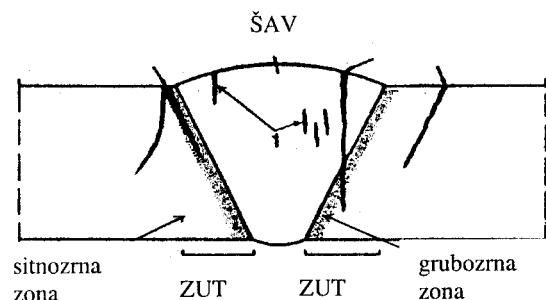
Zavareni spoj mora da se, pri projektovanju, posmatra kao kritični element u konstrukciji. Uočeno je da se u eksploataciji generalno, a time i eksploataciji parovoda, oštećenja tipa prslina najčešće javljaju u oblastima zavarenih spojeva, zato što osobine materijala i naponi u njima najviše variraju.

Različito mikrostrukturnih karakteristika u zoni uticaja toplote (ZUT) i metal šavu je istovremeno sinonim za njihove različite osobine i njihovo različito ponašanje u uslovima delovanja mehaničkih i termomehaničkih napona. Stoga, oštećenja tipa prslina, po mestu nalaženja, mogu da se jave i u ZUT-u i u me-

ABSTRACT

Possible crack-like failures in the vicinity of the welds of fossil fuel power plant components are presented in this paper. Welding flaws of Cr-Mo-V and Cr-Mo pipeline heat resistant steels are especially discussed. These flaws are very unbeneficial because they could provoked crack initiation and their propagation during service

tal šavu, a po načinu pružanja mogu da budu paralelne sa pravcem zavarivanja, normalne na njega ili bez bilo kakve posebne orijentacije u odnosu na njega, Sl. 1.



Slika 1. Šematski prikaz mesta nalaženja i načina pružanja prslina kod zavarenih spojeva

3. PRIRODA PRSLINA KOD ZAVARENIH SPOJEVA

Različite vrste prslina, koje se javljaju kod zavarenih spojeva, mogu da se, u zavisnosti od vremena obrazovanja, svrstaju u:

- prsline obrazovane tokom fabrikacije (proizvodne), i
- prsline obrazovane tokom eksploatacije.

Svakako, moguće je i kombinovano dejstvo kod kojeg inicijacija prslina (koja regularnim metodama kontrole ne može da bude detektovana) nastaje t-

okom fabrikacije, a do razvoja, odnosno širenja prslina dolazi tokom eksploatacije.

2.1 Proizvodne prsline

Prsline, koje nastaju pri zavarivanju tokom različitih faza fabrikacije, u najvećem broju slučajeva mogu da budu otkrivene pri kontroli kvaliteta proizvoda metodama bez razaranja, a to znači i otklonjene. Međutim, u izvesnim uslovima se ne otkrivaju i to kada:

- je došlo do njihove inicijacije, a veličina greške je tako mala da je ispod praga osetljivosti primenjene metode kontrole,
- je geometrija zavarenog spoja takva da je nedostupan za kontrolu,
- tokom kontrole kvaliteta, greška i njen značaj nisu prepoznati i vrednovani na odgovarajući način.

U proizvodne prsline se svrstavaju: tople prsline, hladne prsline, lamelarne prsline i relaksacione prsline.

2.2 Eksploatacione prsline

Prsline koje se u zavarenim spojevima obrazuju tokom eksploatacije nastaju:

- zbog preopterećenja (isključivo eksploatacione prirode),
- na već postojećim greškama iz fabrikacije, s tim što su radni uslovi takvi da može da dođe do njihovog širenja.

Ovu grupu prsline čine: zamorne prsline, naponske prsline, prsline usled preopterećenja, prsline usled naponske korozije, koroziono zamorne prsline, prsline usled puzanja...

4. GREŠKE ZAVARIVANJA I SMANJENJE EKSPLOATAZIONE SPOSOBNOSTI ZAVARENIH SPOJEVA CR-MO-V ČELIKA

Prema podacima koji su saopšteni u literaturi [1,2], mogu da se izdvoje dva glavna uzroka koji dovode do smanjenja eksploatacione sposobnosti zavarenih spojeva Cr-Mo-V čelika koji se koriste za izradu parovoda a koji se odnose na: veliku osetljivost čelika koji su legirani vanadijumom na termički režim zavarivanja i otpuštanja i pojavu "mekih zona".

Poznato je iz literature [1,2] da male količine vanadijuma, koji se dodaje toplotno postojanim čelicima legiranim hromom i molibdenom, povoljno deluju na ojačavanje ovih čelika i na povećanje njihove vremenske čvrstoće. Vanadijum se, pri tome, u strogo kontrolisanim uslovima izdvaja u metalnoj osnovi u vidu veoma finih homogeno raspodeljenih karbida, koji dovode do disperzionog ojačavanja i na taj način doprinose ukupnom ojačavanju materijala.

S druge strane, Cr-Mo-V čelici su veoma osetljivi na zavarivanje, zato što je prisutan vanadijum sposoban da izazove intenzivno povećanje krtosti metala zavarenog spoja u temperaturnom intervalu od 500-700 °C [3].

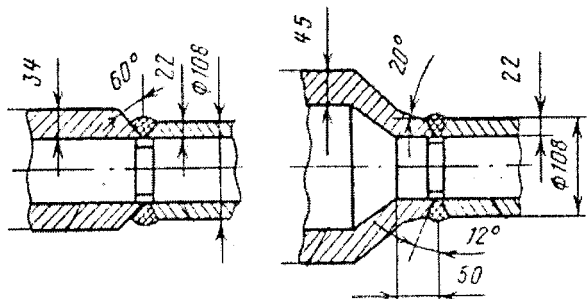
U slučaju da termička obrada zavarenog spoja odsustvuje ili je pri njenom izvođenju došlo do izvesnog odstupanja od propisanih uslova, nastala povećana krtost metala pogoduje pojavi prsline u metalu šava i zoni uticaja toplote (ZUT) tokom eksploatacije, Sl. 2. Da bi se izbegla ova pojava neophodno je strogo primenjivati propisane režime zavarivanja i termičke obrade i posebno kontrolisati brzine zagrevanja i hlađenja tokom oba procesa.



Slika 2. Prsline u zavarenom spoju Cr-Mo-V čelika zbog povećanja krtosti u zoni spajanja

Drugi uzrok smanjenja eksploatacione sposobnosti zavarenih spojeva Cr-Mo-V čelika za parovode je u tesnoj vezi sa uslovima zavarivanja i često ne može da se izbegne, čak i pri poštovanju svih parametara propisane tehnologije zavarivanja i otpuštanja. Naime, tokom zavarivanja ovih čelika dolazi do obrazovanja mekih zona (zona snižene tvrdoće) u zoni uticaja toplote i to u oblastima gde je zagrevanje metala dostiglo temperaturu blisku tački A_{c1} .

U ovim oblastima zavarenih spojeva, i to onih - koji su jako ukrućeni, kao što je to slučaj kod Y i T - račvi i sučeono zavarenih spojeva parovoda koji se - nalaze na mestima promene dimenzija cevi, Sl. 3, već posle relativno kratkovremene eksploatacije, - može da dođe do obrazovanja prslina.



Slika 3. Zavareni spojevi kod kojih je moguća pojava prslina usled ukrućenja

Prslina se javlja na strani metala manje čvrstoće i ima interkristalni karakter, Sl. 4.

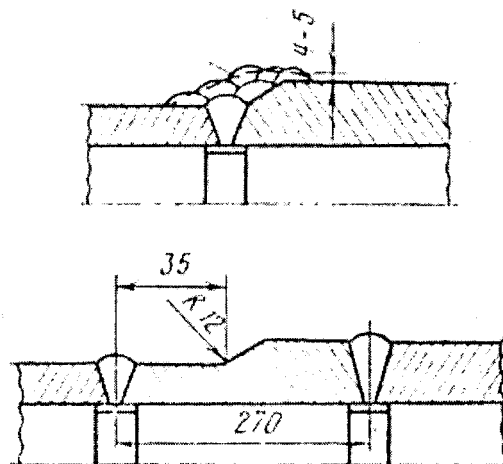


Slika 4. Interkristalni karakter prsline u zavarenom spoju parovoda izrađenog od Cr-Mo-V čelika

Inicijacija prsline se obično javlja u fuzionoj zoni sa spoljašnje strane, a samo širenje se odvija kroz zonu uticaja toplote, Sl.4. U izvesnim slučajevima prslina može da bude inicirana i u ZUT-u. Pravac prsline se poklapa sa pravcem dejstva momenata savijanja koji se stvaraju pri linearnom širenju parovoda tokom zagrevanja. Nađeno je da kod parovoda, kod kojih postoji nagla promena dimenzija usled konstruktivnog oblika delova koji se spajaju - zavarivanjem, koncentracija napona pri savijanju naglo raste, pri čemu koeficijent koncentracije - napona može da dostigne vrednost 10 [4]. Takođe,

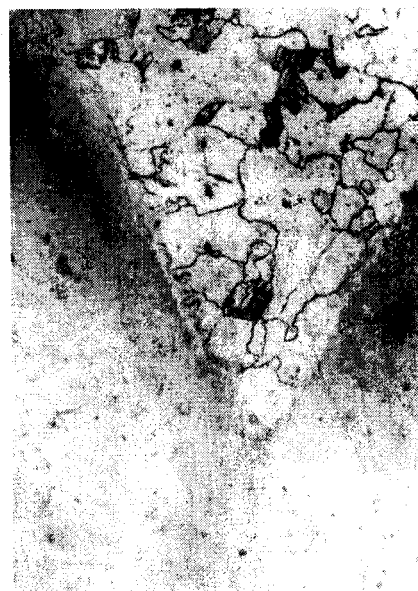
pri dugotrajnoj eksploataciji, čvrstoća zavarenih spojeva sa mekim zonama može značajno da se smanji [5].

Jedan od načina kojima može da se smanji - sklonost ka obrazovanju prslina kod navedenih zavarenih spojeva, a time i veličina koeficijenta koncentracije napona, je brušenje i poliranje lica zavarenog spoja, ili izrada odgovarajućih prelaza na specijalno izrađenim umecima (štucnama), Sl. 5.

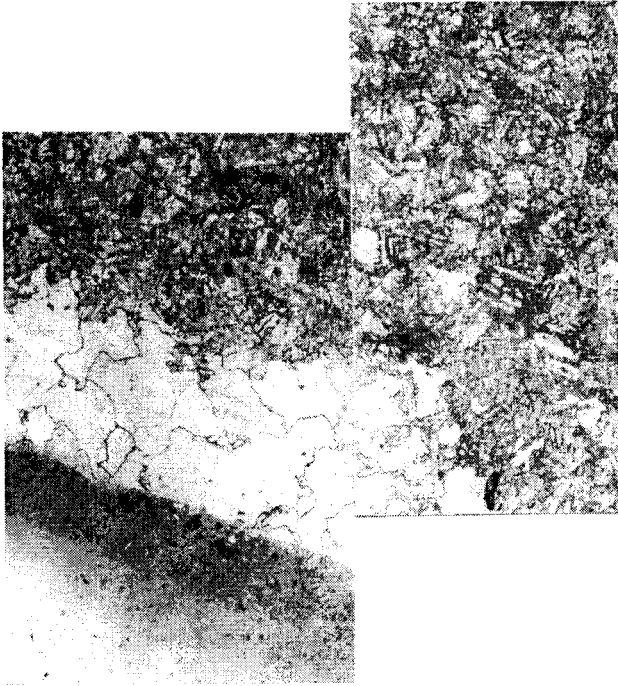


Slika 5. Šematski prikaz mogućih načina za smanjenje koeficijenta koncentracije napona kod zavarenih spojeva parovoda

Još jedan vid greške zavarivanja koji se javlja kod Cr-Mo i Cr-Mo-V čelika za parovode je obrazovanje "proslojke" - oblasti skoro čistog ferita, Sl. 6 i 7, sniženih mehaničkih osobina, čija širina veoma zavisi od uslova zavarivanja.



Slika 6. "Proslojka" u zavarenom spoju Cr-Mo čelika za parovode



Slika 7. "Proslojka" u zavarenom spoju Cr-Mo čelika za parovode

5. PROBLEMI ZAVARIVANJA TOPLOTNO POSTOJANIH SA NERĐAJUĆIM ČELICIMA

Kod austenitnih nerđajućih čelika pri dužem zadržavanju u temperaturnom intervalu 550–850 °C dolazi do reakcije između ugljenika i hroma pri čemu se obrazuje karbid $Cr_{23}C_6$. Čestice karbida nukleiraju na granicama austenitnih zrna, a usled njihovog rasta i ogrubljanja dolazi do smanjenja sadržaja rastvorenog hroma u osnovi. Reakcija koja se odvija je tipičan primer difuzione transformacije, a vreme potrebno da se karbidi izdvoje zavisi od temperature. Kada sadržaj hroma u osnovi, usled tog smanjenja, postane manji od neke kritične vrednosti, čelik postaje "osetljiv" (senzitiv) i počinje da korodira duž granica zrna.

Ovo svojstvo nerđajućih čelika posebno dolazi do izražaja pri njihovom zavarivanju sa istom (austenitnom) ili različitom (feritnom, martenzitnom) klasom čelika, zato što osnovni materijal u zoni uticaja toplote, pod dejstvom termičkih ciklusa, može da bude zagrejan u temperaturnom intervalu u kome se odvija karbidna reakcija.

Uobičajen način za sprečavanje senzitivacije nerđajućih čelika je njihova stabilizacija koja se ostvaruje legiranjem titanom ili niobijumom u sadržaju 0,5 - 1 %. Ovi elementi imaju veću sklonost

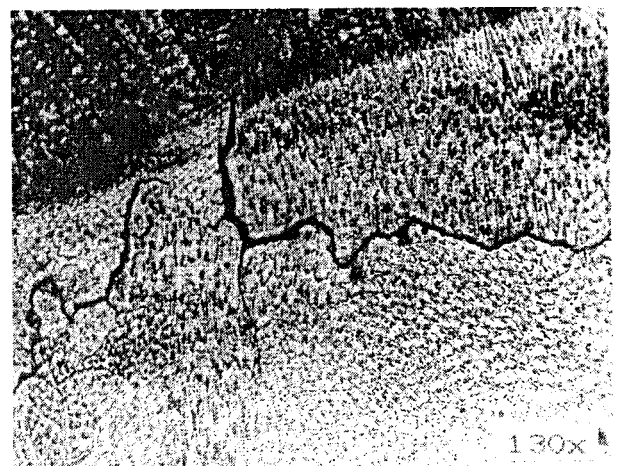
ka obrazovanju karbida od hroma, tako da oni vezuju ugljenik pre nego što dođe do njegove reakcije sa hromom. Takođe, postupak koji se danas sve više koristi i koji daje veoma povoljan rezultat je ograničenje sadržaja ugljenika na 0,03 - 0,06 %. [6]

Međutim, problem senzitivacije nerđajućih čelika je akutan i dalje, posebno što postoje zavareni spojevi komponenti termoenergetskih postrojenja koji su već dugo godina u eksploataciji.

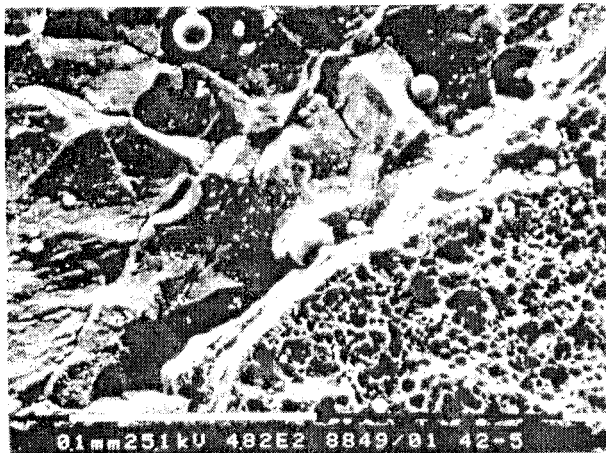
Ispitivanjem zavarenog spoja koji je:

- obrazovan zavarivanjem niskolegiranog Cr-Mo-V čelika (cevi parovoda – osnovni materijal) sa dodatnim materijalom od visokolegiranog austenitnog materijala (metal šava),
- bio u dugotrajnoj eksploataciji na temperaturi od ~ 350 °C,
- pretrpeo razaranje

i analizom rezultata konstatovano je da je u oblasti metal šava došlo do pojave senzitivacije, Sl. 8 i 9, čija je posledica bila pojava naponskih prslina. Iako je istaknuto da je za odvijanje ove pojave optimalan temperaturni interval od 550–850 °C, njena inicijacija, u smislu primetnije difuzione aktivnosti atoma legirajućih elemenata, se zapaža na svim temperaturama višim od 450 °C [7,8], s tim što vreme započinjanja i završetka procesa zavisi od temperature i određuje se na osnovu C krive. Međutim, na osnovu rezultata opsežnih ispitivanja došlo se do zaključka da senzitivacija nije samo temperaturno, već i vremenski determinisan proces [9].



Slika 8. Austenitna struktura metal šava – granica između prolaza i različit smer pružanja dendrita. Prsline usled naponske korozije.



Slika 9. SEM mikrofotografija. Prslina između prolaza urađenih sa dve različite elektrode: feritnom i austenitnom.

6. UMESTO ZAKLJUČKA

Greške zavarivanja i zavarenih spojeva su brojne, a sa aspekta eksploatacije i radne sposobnosti materijala elemenata termoenergetskih postrojenja nepoželjne. Brojni rezultati laboratorijskih ispitivanja, kao i rezultati ispitivanja na licu mesta ukazuju da se kod čelika za parovode na bazi hroma, molibdena i vanadijuma, pod određenim uslovima zavarivanja, mogu da javе greške koje ne samo da utiču na smanjenje eksploatacione sposobnosti materijala parovoda, već pogoduju pojavi prslina i razaranja. Poštovanjem svih propisanih parametara zavarivanja, pod uslovom da je tehnologija zavarivanja korektno propisana i sprovedena i da su sagledani svi nepovoljni uticaji, moguće je sprečiti pojavu svih opisanih grešaka.

LITERATURA:

- [1] Neka iskustva u primeni čelika 14MoV63, VGB, 1984., interna publikacija
- [2] E.I.Krutasova, Nadežnost metalla energetičeskogo oborudovanija, Moskva, Energoizdat, 1981.
- [3] K.Laha, K.Rao, S.Mannan, Effects of Post-Weld Heat-Treatment on Creep Behavior of 2,25Cr-1 Mo Ferritic Steel Base, Weld Metal and Weldments, Proc. of 5th Int. Conf. on Creep of Materials, Lake Buena Vista, Florida, USA, 1992., pp. 399-422
- [4] V.A.Vinokurov, V.D.Prohorenko, Svaročnoe proizvodstvo, No5 (1974) 23-25
- [5] V.N.Zemzin, Žaropročnost svarnih soedinenii, Moskva, Mašinstroenie, 1972.
- [6] D.Jones, Engineering materials, Pergamon Press, Oxford, 1993.
- [7] C.Bagnall, I.Le May, Some Metallurgical Aspects of Joining 300 Series Stainless Steel, Unusual techniques and new application of metallography, Vol. 1, Ed: Gray and Cornwellm ASM, 1985, pp. 47-59
- [8] J.B.Lee, W.Eberle, J.A.Somsak, A New Test for Determining Intergranular Corrosion Properties of Stainless Steel, Unusual techniques and new application of metallography, Vol. 1, Ed: Gray and Cornwellm ASM, 1985, pp.19-27
- [9] V.Sijacki, A.Milosavljevic, A.Markovic, Z.Stamenic, A.Bratc, D.Milanovic, Microstructural characteristics of joints after repair welding with austenitic electrode after prolonged service, Proc. of Intern. Symp. on Materials ageing and component life extension, Milan, Italy, 1995., Vol.2, pp. 723-733

Ⓣ TERMOELEKTRO-MONT d.o.o.

INŽENJERING, IZGRADNJA, PROJEKTOVANJE, PROIZVODNJA OPREME, REKONSTRUKCIJA, REVITALIZACIJA REMONT I ODRŽAVANJE ENERGETSKIH I INDUSTRIJSKIH POSTROJENJA I OBJEKATA

Adresa: Dajbabe b.b., P.Fah 59, 81000 Podgorica, Srbija i Crna Gora, E-mail: termoelektromont@cg.yu
 Telefon: +381 (0)81 644 217, Telefaks: +381 (0)81 644 325, Internet adresa: www.termoelektro-mont.com