

ISPITIVANJA BEZ RAZARANJA ZAVARENOG SPOJA IZ NISKOLEGIRANOOG CrMoNb ČELIKA

NON-DESTRUCTIVE TESTING OF WELDED JOIN FROM LOW-ALLOYED CrMoNb STEEL

Mirko GOJIĆ¹⁾, Stjepan KOŽUH¹⁾, Damir PINOTIĆ²⁾, Benjamin ČONDIĆ¹⁾

Ključne riječi: zavarivanje, CrMoNb čelik, ispitivanje bez razaranja, greške zavarenog spoja

Key words: welding, CrMoNb steel, non-destructive testing, defects of welded join

Sažetak: U ovom radu cilj je bio utvrditi greške zavarenog spoja nastale tijekom zavarivanja niskolegiranog CrMoNb čelika. Zavarivanje je provedeno na limu debljine 18 mm koji je pripremljen u obliku V-spoja za plinski postupak zavarivanja. Za utvrđivanje nastalih grešaka zavarenog spoja korištene su metode bez razaranja (radiografija, ultrazvuk, penetranti). Ispitivanjem bez razaranja utvrđeno je postojanje grešaka u obliku naljepaka na stijenci V-zavara, ali i unutar zone taljenja te je na pojedinim mjestima uočena pojava neprovarenog korijena zavara.

Abstract: The aim of this work was estimated the defects of join as a result during welding of low-alloyed CrMoNb steel. The sheet thickness 18 mm was prepared as V-join and the welding was performed with gas method. The defects of welded join were estimated with non-destructive testing methods (radiography, ultrasonic and penetration methods). Non-destructive testings were demonstrated presence of defects in form sticking-plaster on surface of V-join and into weld metal. Also, the deficient welding of root was observed.

¹⁾ Metalurški fakultet Sisak, Aleja narodnih heroja 3, 44103 Sisak

²⁾ INA-industrija nafta d. d., Zagreb, STSI, Služba održavanja rafinerije nafta Sisak

1. UVOD

Krom-molibden čelici mikrolegirani niobijem imaju dobru zavarljivost i zadovoljavajuća mehanička svojstva kod povišenih temperatura pa sve više zamjenjuju standardne 2.25Cr1Mo čelike [1, 2]. Optimalan sastav niskolegiranih CrMo čelika podrazumijeva nizak sadržaj ugljika, kisika, dušika i mangana, uz dodatno mikrolegiranje vanadijem ili niobijem. Zavarivanje ove skupine čelika najčešće se provodi ručnim elektrolučnim postupkom, postupcima pod zaštitnim atmosferama, elektrolučnim zavarivanjem pod praškom ili troskom, laserom, trenjem i sl. [3]. Niskolegirani CrMo čelici svoju primjenu prvenstveno pronalaze u termoenergetskim postrojenjima, kemijskim i procesnim postrojenjima, dijelovima motora s unutarnjim izgaranjem, raketnim i svemirskim brodovima, tj. na svim mjestima gdje se zahtijeva povećana otpornost na puštanje i visoka čvrstoća pri povišenim temperaturama [4, 5].

Zavarene konstrukcije iz CrMo čelika trebaju imati dovoljno visoku čvrstoću da bi se oduprle unutarnjem pritisku te visoku tvrdoću koja može osigurati otpornost na iznenadne udare. Iz tog razloga se projektiranje naprezanja zavarenih komponenti temelji na vlačnoj čvrstoći i žilavosti. Karakteristični toplinski ciklusi tijekom zavarivanja koji se javljaju u zoni taljenja i zoni utjecaja topline mogu znatno utjecati na izgled i postignuta svojstva zavarenog spoja.

U radu su prikazani rezultati ispitivanja zavarenog spoja iz CrMoNb čelika metodama bez razaranja (radiografija, ultrazvuk, ispitivanje pomoću penetrantnata) s ciljem utvrđivanja grešaka zavarenog spoja nastalih tijekom zavarivanja.

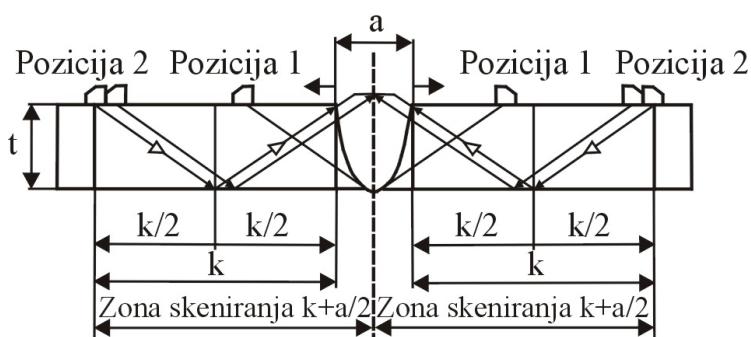
2. EKSPERIMENTALNI DIO

Istraživanje je provedeno na limu debljine 18 mm iz niskolegiranog Cr-Mo čelika mikrolegiranog niobijem. Zavarivanje pripremljenog V-spoja provedeno je plinskim postupkom. Prije zavarivanja ploče ($300 \times 300 \times 18$ mm) iz Cr-Mo-Nb čelika su predgrijane ($\sim 150^\circ\text{C}$). Za zavarivanje je korištena žica Böhler DCMS EN 12536-OV (W. Nr.: 1.7346). Kemijski sastav osnovnog materijala i zone taljenja naveden je u tablici 1.

Tablica 1. Kemijski sastav osnovnog materijala (OM) i zone taljenja (ZT) niskolegiranog Cr-Mo-Nb čelika, mas. %

	C	Mn	P	S	Si	Mo	Al	Cr	Ni	Cu	Nb
OM	0,05	1,41	0,019	0,006	0,44	0,42	0,04	1,36	0,47	0,07	0,05
ZT	0,06	0,89	0,038	0,005	0,22	0,45	0,01	1,27	0,28	0,05	0,03

Karakteristične pozicije sonde



Slika 1. Područje skeniranja kutnom sondom [6]

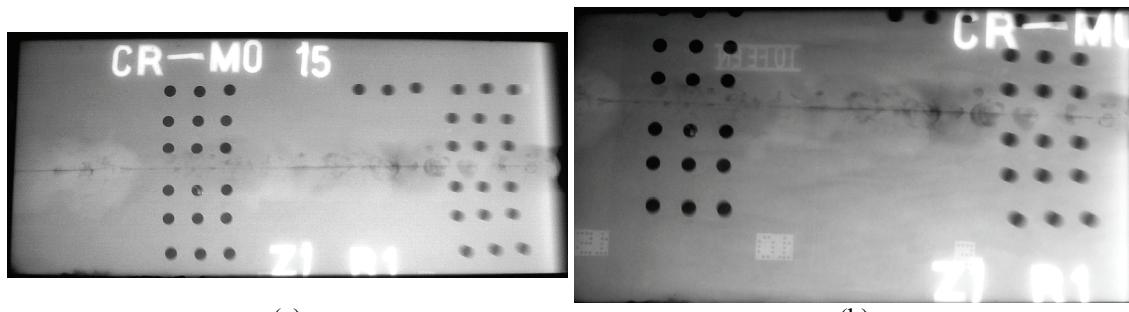
Nakon zavarivanja provedeno je ispitivanje zavarenog spoja metodama bez razaranja (radiografija, ultrazvuk, penetranti). Radiografsko ispitivanje je provedeno tehnikom "jednostruka slika-jednostruka stijenka", a kao izvor prozračivanja je korišten izotop Ir 192 dimenzija $2 \times 2,5$ mm.

Ultrazvučno ispitivanje je provedeno eho-impulsnom tehnikom pomoću uređaja Krautkramer USM 35 uz primjenu ultrazvučne kutne sonde 60° (područje skeniranja prikazano je na slici 1), te radnom frekvencijom 4 MHz.

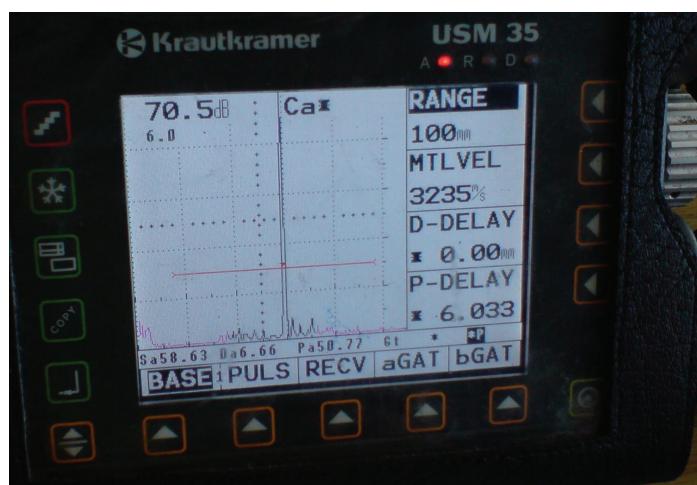
Ispitivanje pomoću penetrantom provedeno je penetrantskim sustavom HRN EN 571-1-IIIAc-2 proizvođača MR Chemie GmbH sa strane lica i korijena zavara. Pritom je za odmašćivanje korišten čistač MR-79, a za penetraciju penetrant MR-68C. Nakon 15 minuta djelovanja penetrant je uklonjen vodom. Vrijeme razvijanja (razvijač MR 70) je iznosilo 30 minuta.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Ocjrenom snimke radiograma (slika 2) uočene su greške unutar zone taljenja u obliku poroznosti i šupljina, neravnomjerno lice zavarenog spoja te neprovareni korijen.



(a) (b)
 Slika 2. Radiografski snimci zavarenog spoja CrMoNb čelika



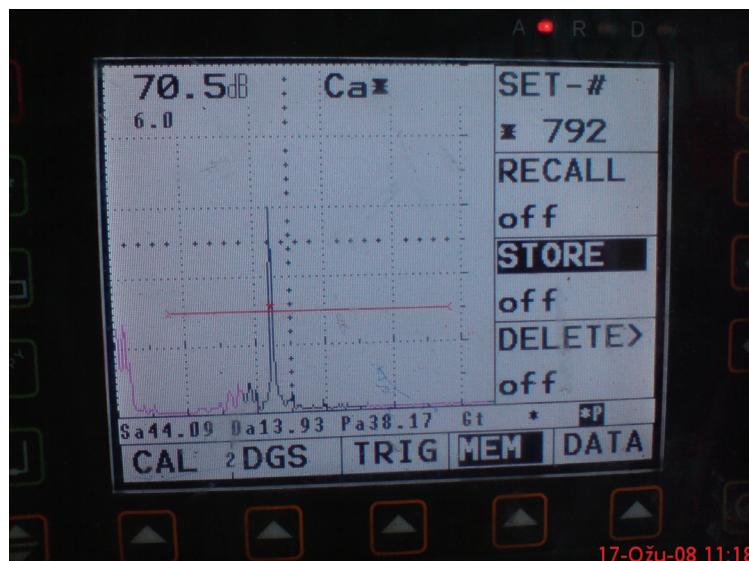
Slika 3. Prikaz rezultata ultrazvučnog ispitivanja kojim je otkriveno naljepljivanje po rubovima zone taljenja

Ultrazvučno ispitivanje je provedeno tehnikom puls-eho. Metoda puls-eho omogućava ispitivanje volumena zavarenog spoja, određivanje lokacije i uvjetnu karakterizaciju detektiranih indikacija. Princip rada ultrazvučnog ispitivanja predstavlja širenje ultrazvučnih

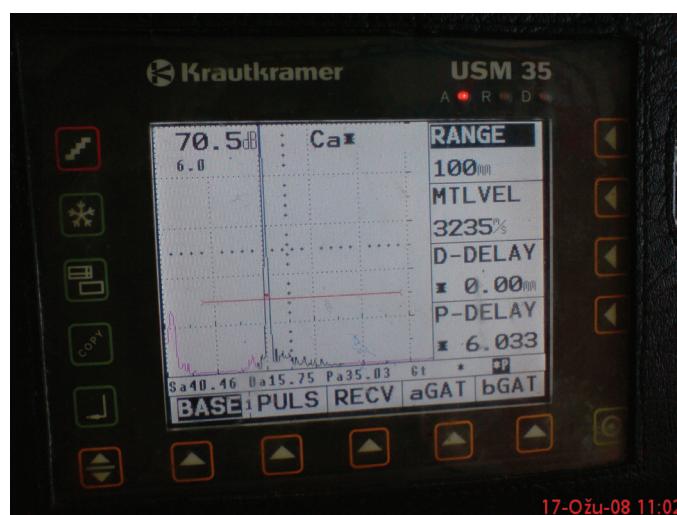
valova kroz ispitivani materijal i refleksiju na granici različitih materijala na osnovu različitih impedancija. Mogu se koristiti longitudinalni, transverzalni i površinski valovi pri ultrazvučnom ispitivanju.

Ultrazvučnim ispitivanjem zavarenog spoja CrMoNb čelika otkrivena su tri područja s greškama (slike 3-5):

- naljepljivanje po rubovima žlijeba na različitim dubinama (višestruko nanošenje dodatnog materijala bez taljenja osnovnog materijala),
- neprovareni korijen i naljepljivanje u korijenskom dijelu zone taljenja,
- porozitet i šupljine u zoni taljenja.



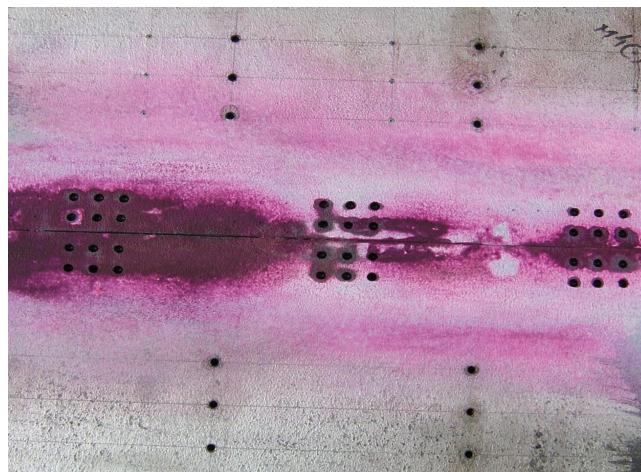
Slika 4. Prikaz rezultata ultrazvučnog ispitivanja kojim je otkriven neprovareni korijen zavarenog spoja



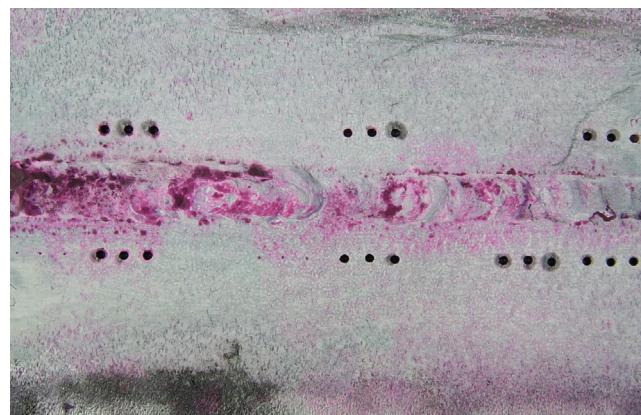
Slika 5. Prikaz rezultata ultrazvučnog ispitivanja kojim je otkriven porozitet zone taljenja

Ispitivanje penetrantima primjenjuje se za otkrivanje grešaka nastalih na površini metala koji se ispituje, npr. pojava pukotina, preklopa, poroznosti, nedostatnog spajanja itd.

Penetrantskom kontrolom je detektiran neprovareni korijen zavara te počeci površinskih grešaka na rubu i unutar zone taljenja (slika 6).



(a) Pogreška na rubu zone taljenja



(b) Pogreška unutar zone taljenja

Slika 6. Fotografije zavarenog spoja nakon ispitivanja penetrantima

4. ZAKLJUČAK

Na temelju provedenih ispitivanja bez razaranja niskolegiranog CrMo čelika mikrolegiranog s niobijem zavarenog plinskim postupkom zaključeno je sljedeće:

- Radiografskim ispitivanjem su utvrđene greške unutar zone taljenja, te neprovareni korijen zavarenog spoja.
- Ultrazvučnim ispitivanjem su otkrivena tri područja s greškama, uglavnom u obliku raznih naljepaka na stijenci V-zavara, ali i unutar zone taljenja (višestruko nanošenje dodatnog materijala bez taljenja osnovnog materijala).
- Penetrantskom kontrolom su otkriveni počeci površinskih grešaka na rubu i unutar zone taljenja te su potvrđeni rezultati ultrazvučnih ispitivanja.

5. LITERATURA

- [1] Kamai N., Imazoto T., Masuyama F., "Continuously Cooled Microstructure and Creep Rupture Strength of Low C-2.25Cr-1.6W-V-Nb Steel", ISIJ International, Vol. 41, 2001, Supplement S91-S96.
- [2] Al. Mazroue A., Raman R. K. S., Ibrahim R. N., "Effect of post weld heat treatment on the oxide scaling of Cr-Mo steel weldments", Journal of Materials Processing Technology Vol. 164-165, 2005, pp. 964-970.
- [3] Gojić M., "Tehnike spajanja i razdvajanja", Metalurški fakultet Sisak, 2003.
- [4] Filetin T., Kovačić F., Indof J., "Svojstva i primjena materijala", Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2002.
- [5] Despotović B., Brechelmacher B., "Primjena korozijski postojanih čelika u kotlogradnji", Zbornik međunarodnog savjetovanja "Spajanje korozijski postojanih materijala", HDTZ, 02.-04. listopad 2004., Opatija, str. 255-260.
- [6] HRN EN 1714 - Ispitivanje zavarenih spojeva ultrazvukom.