



Stefan Dikić, dipl.ing.metal.; Milica Antić, dipl.ing.metal.

THE IMPACT TOUGHNESS OF WELDED JOINT AS WELDING PROCEDURE QUALIFICATION ACCESSABILITY ASPECT ON STEEL P91 EXAMPLE

ŽILAVOST ZAVARENOG SPOJA KAO ASPEKT PRIHVATLJIVOSTI KVALIFIKACIJE TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA NA PRIMERU ČELIKA P91

Originalni naučni rad / Original scientific paper

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa savetovanja „ZAVARIVANJE 2016“ održanog na Srebrnom jezeru 14-17. Septembra 2016

Rad primljen / Paper received:

Oktobar 2017.

Ključne reči: kvalifikacija tehnologije zavarivanja, čelik P 91, udarna žilavost, termička obrada posle zavarivanja, metal šava, ZUT

Abstract:

For welding procedure qualification established are large differences in the toughness values of the weld metal compared with the values for HAZ of welds on pipes of steel P 91. The paper gives an overview of possible influencing factors on the value of mechanical properties - impact strength of welded joints in steel P 91.

1. UVOD

Čelik P 91 je namenjen za primenu na visokim temperaturama, zasnovan je na 9% Cr i 1% Mo sa dodacima Nb, V i N i razvijen je 1974.g. od strane Oak Ridge NL (SAD). Standardizovan je prema EN 10216-2 i ima oznaku X 10CrMoVNb9-1 (broj čelika 1. 4903). Pripada taložno ojačanim legurama posle dvostruke termičke obrade: normalizacije i žarenja. Osnovni procesi izrade konstrukcija od ovog čelika, podrazumevajući zavarivanje, izuzetno utiču na osobine zavarenog spoja (razlike između delova – osnovnog materijala s jedne strane i zone uticaja toplote kao i metala šava). Jedan od elemenata obezbeđenja kvaliteta zavarene konstrukcije je kvalifikacija tehnologije zavarivanja na bazi izrade ispitnog uzorka. Kvalifikacija podrazumeva, pored ostalih vrsta ispitivanja bez razaranja i ispitivanja sa razaranjem, odnosno ispitivanje udarne žilavosti. U ovom radu se na bazi dobijenih rezultata pri kvalifikaciji tehnologije diskutuje o vrednostima dobijenim za pojedine delove zavarenog spoja.

Adresa autora / Author's address:

KONTROL-INSPEKT d.o.o. –Beograd, Mladena Mitrića 12
kontrolinspekt@yahoo.com

Key words: welding procedure qualification, steel P 91, impact toughness, PWHT, weld metal, HAZ

Rezime:

Pri kvalifikaciji tehnologije zavarivanja ustanovljene su velike razlike u vrednostima žilavosti za metal šava u poređenju sa vrednostima za ZUT zavarenih spojeva na cevima od čelika P91. U radu je dat prikaz mogućih uticajnih faktora na vrednosti mehaničkih osobina – udarne žilavosti zavarenog spoja na čeliku P 91.

2. KVALIFIKACIJA TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA

Kvalifikacija tehnologije zavarivanja na bazi ispitnog uzorka obavlja se prema standardu SRPS EN ISO 15614-1. Ovim standardom su, pored ispitivanja bez razaranja, predviđena ispitivanja zatezanjem, savijanjem, merenje tvrdoće, makrostrukturno ispitivanje i ispitivanje udarne žilavosti (ukoliko se zahteva-zavisno od dimenzija ispitnog komada odn. njegove debljine). Pored ovih, predviđena su i dodatna ispitivanja na primer, mikrostrukturna ispitivanja, ispitivanje sadržaja delta ferita i slično. Pored toga, u primedbi je navedeno da se mogu primenjivati i mnogo obimnija ispitivanja ukoliko se radi o specifičnim materijalima ili uslovima proizvodnje ili specifičnim uslovima rada.

U predmetnoj kvalifikaciji na cevima Φ 168,3 x 14,2 mm, postupcima 141/111 u položaju HL-045 uz predviđene parametre zavarivanja i termičke obrade, ispitni uzorci su podvrgnuti ispitivanju udarne žilavosti na sobnoj temperaturi +20°C. Pri tome je utvrđena velika razlika u vrednostima žilavosti za ZUT-ove gde je srednja vrednost oko 190 J i za metal šava gde je srednja vrednost oko 30 J. S obzirom da su vrednosti iznad zahtevanog



minimuma, nisu preduzeta podrobnija ispitivanja sa ciljem utvđivanja razloga ove razlike vrednosti.

3. DISKUSIJA

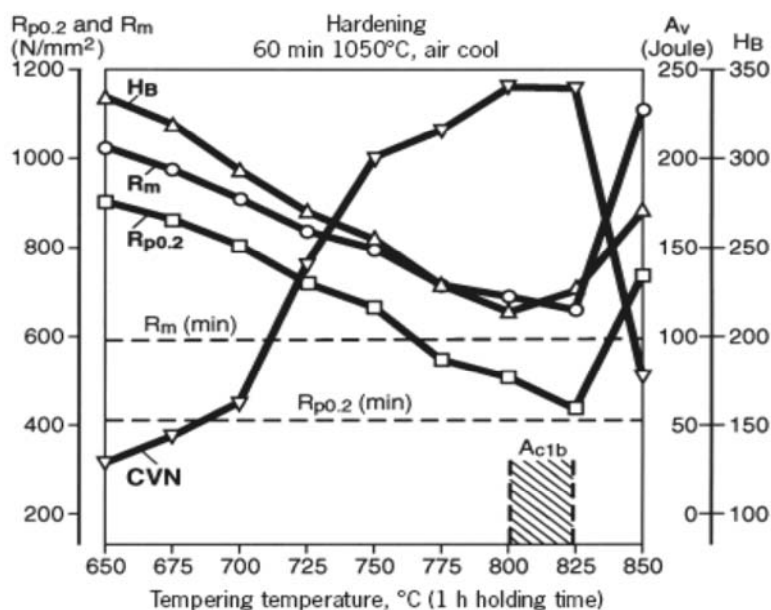
3.1. Legirajući elementi u ovom čeliku deluju na sledeći način:

- C –povećava mehaničku čvrstoću (inersticijski) i stvara karbide i karbonitride sa Cr, Nb, V koji povećavaju otpornost na puzanje. Kao austenitizator usporava stvaranje delta ferita.
- Cr – povećava otpornost na oksidaciju i korozionu otpornost, povećava tvrdoću, stvara karbide (uglavnom $M_{23}C_6$)
- Mo – omogućava ojačavanje preko čvrstog rastvora, povećava tvrdoću, pri izlaganju visokim temperaturama stvara Lavesovu fazu (Fe_2Mo)
- N – povećava mehaničku čvrstoću (intersticijski) i stvara karbonitride sa Nb i V čime povećava granicu puzanja. Njegov sadržaj je vezan za sadržaj Al odn. $N/Al \times 3$. Kao austenitizator usporava stvaranje delta ferita.

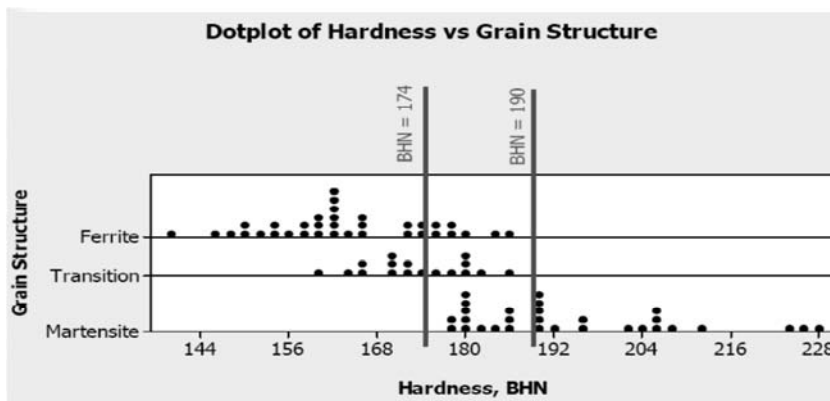
- Nb – stvara karbide i nitride, vrlo značajan za ojačavanje otpornosti na puzanje, jer je potreban za stvaranje finih MX
- V - stvara karbide i nitride, vrlo značajan za ojačavanje otpornosti na puzanje, jer je potreban za stvaranje finih MX
- Ni – snižava A_{C1} i iznad 0,6% smanjuje otpornost na puzanje. Preporučeni maksimalni sadržaj je 0,3%.

3.2. Termička obrada ovog čelika podrazumeva normalizaciju i žarenje. Normalizacija na visokim temperaturama omogućava rastvaranje u matrici svih taloga nastalih pri vrućem oblikovanju i posle hlađenja, stvaranje martenzita.

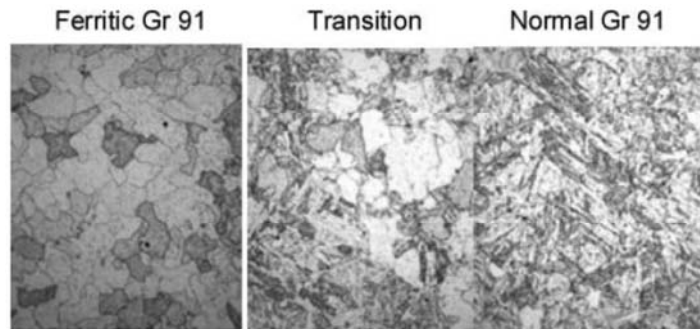
Žarenjem se postiže omekšavanje i taloženje M (C,N) i $M_{23}C_6$. Kod debelih preseka neophodno je kontrolisanje brzine hlađenja posle austenitizacije. Primeri mehaničkih osobina u zavisnosti od temperature žarenja prikazani su na slici 1.



Slika 1. Mehaničke osobine čelika P 91 u zavisnosti od temperature žarenja (lit. [1])



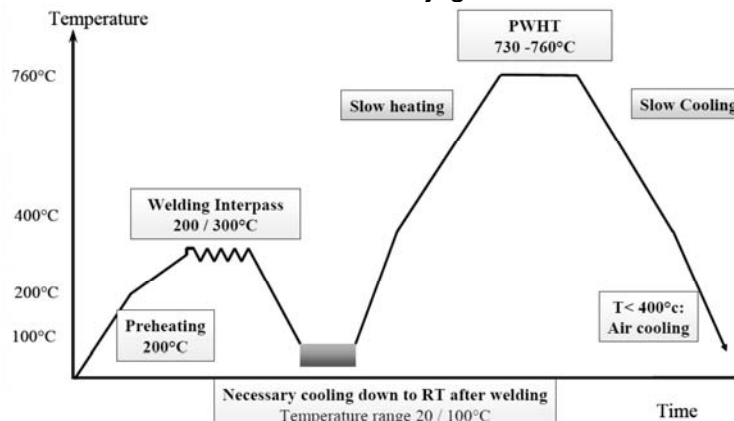
Slika 2. Zavisnost tvrdoće od strukture



Slika 3. Strukture čelika P91 (ferit, prelaz, martenzit) (lit.[1])

Uočljivo je iz datih slika da se željena otpornost na puzanje i ostale karakteristike ovog čelika postižu upravo balansom sastava i strukture postignute vrlo preciznim obradama, normalizacijom i žarenjem. Esencijalni mehanizam je taložno ojačavanje i osnovni imperativ dalje fabrikacije-izrada komponenata od ovog čelika je, da se taj mehanizam ne razori.

3.3. Zavarivanje komponenata – delova od ovog čelika, pored odabira postupka i dodatnog materijala (srodni metal šava) sa aspekta osnovnih mera za poboljšanje zavarljivosti, podrazumeva predgrevanje i održavanje međuslojne temperature (temperature treba da budu ispod 350°C) kao i termičku obradu posle zavarivanja (preporučeni dijagram termičke obrade dat je na slici 4.)

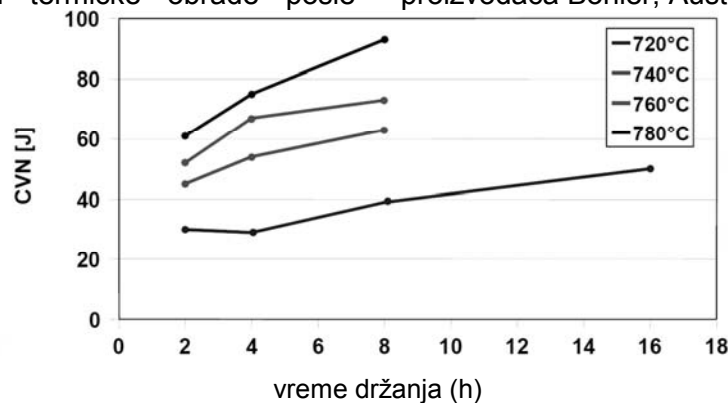


Slika 4. Dijagram termičke obrade posle zavarivanja (lit. [1])

(predgrevanje 200°C , međuslojna temperatura $200/300^{\circ}\text{C}$, neophodno pothlađivanje do sobne temperature posle zavarivanja u opsegu $20/100^{\circ}\text{C}$, sporo zagrevanje do temperatura žarenja u opsegu $730-760^{\circ}\text{C}$, sporo hlađenje do 400°C a potom hlađenje na vazduhu)

Naredni važan faktor je sastav dodatnog materijala. Kod ovog čelika, temperatura AC1 izuzetno zavisi od sadržaja Ni + Mn tako da treba uzeti u obzir i sadržaj ovih elemenata u dodatnom materijalu. Pored toga, parametri termičke obrade posle

zavarivanja imaju uticaj na vrednosti udarne žilavosti. Ilustracija tog uticaja data je na slici 5, na primeru elektrode za ručno elektro-lučno zavarivanje komercijalne oznake Thermanit Chromo 9V, proizvođača Bohler, Austrija.

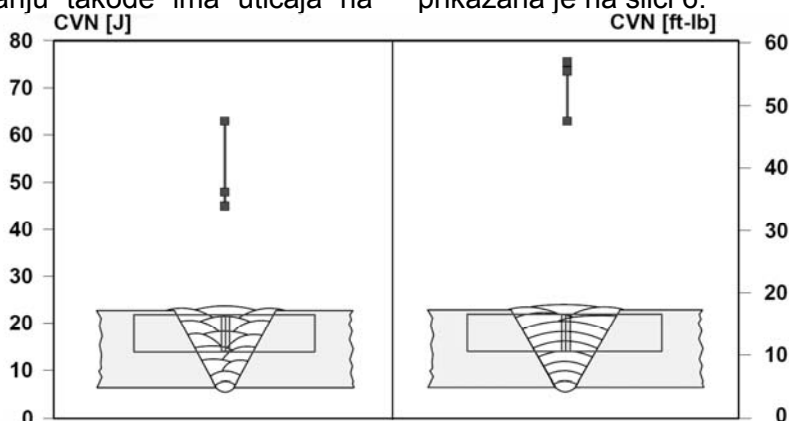


Slika 5. Uticaj uslova termičke obrade posle zavarivanja na udarnu žilavost srodnog dodatnog materijala za P 91



Način polaganja zavara ispune pri ručnom elektrolučnom zavarivanju takođe ima uticaja na

žilavost metala šava. Ilustracija tog uticaja prikazana je na slici 6.



Slika 6. Vrednosti udarne žilavosti na $+20^{\circ}\text{C}$ u odnosu na način polaganja zavara

ZAKLJUČAK

Upoređenjem podataka iz WPS lista za kvalifikaciju tehnologije zavarivanja utvrđeno je da su uslovi vezani za izbor tehnologije bili unutar preporučenih vrednosti, a da su pri ispitivanju žilavosti ipak ustanovljene razlike u vrednostima za ZUT i metal šava. Prema literaturnim podacima, vrednosti udarne žilavosti, CVN, u zavarenim spojevima su diskutabilne s obzirom da metal šava može da pokazuje značajne razlike zavisno od tehnike zavarivanja, unete količine toplote itd. U konkretnom slučaju, vrednosti su zadovoljile kriterijum prihvatljivosti i kvalifikacija je odobrena.

LITERATURA

- [1] INTERNATIONAL WORKSHOP ON FABRICATION & PROCESSING OF GRADE 91 MATERIAL; 25 – 26 February 2011, Tiruchirappalli, INDIA
- [2] Devinder Pal Singh, Mithlesh Sharma, Jaspal Singh Gill, "Effect of Post Weld Heat Treatment on the Impact Toughness and Microstructural Property", IJRMET Volume-3, Issue- 2, May – Oct-2013, pp 216-219.
- [3] Material data sheet, editor Thyssenkrupp Materials International GmbH, Technical Sales / Quality_Management, Am Thyssenhaus 1.
- [4] ASME sec II-A, Boiler And Pressure Vessel Code, Ferrous Material Specification, SA 335 / SA 335M, pp 573 -584.
- [5] "Welding Technology For Engineers", Editors : Baldev raj, V Shankar & A. K. Bhaduri, Narosa Publishing House, third reprint – 2009, pp 22-36.
- [6] Jonas Ohlsson, "Effects of different heat treatments on hardness of Grade 91 steel", karlstand Univeristy, 2014.
- [7] Z Zhang*, J C M Farrar* and A M Barnes**, "Weld Metals for P91 – Tough Enough?", * Metrode Products Limited, U.K, **TWI Ltd., U.K.

Razlike u vrednostima mogu biti upravo iz razloga koji su pomenuti: sastava dodatnog materijala, unete količine toplote s jedne strane, a mogu biti i odraz strukture otpuštenog martenzita, s druge strane. Međutim, čelici koji se proizvode vrlo iznijansiranim načinima: legiranjem, strogim termičkim obradama svakako su veoma zahtevni sa aspekta zavarivanja a spadaju u relativno nove čelike jer se primenjuju tek tridesetak godina. Ovakve razlike vrednosti karakteristika u delovima zavarenog spoja svakako utiču na dalja eksploataciona svojstva.

- [8] Siddharth Pant and Swati Bhardwaj, "Properties and Welding Procedure for Grade 91 Alloy Steel", International Journal of Engineering Research and Technology, Volume 6, Number 6 (2013), pp. 767-772.
- [9] Sperko Engineering Services, Inc. "Welding "Grade 91" Alloy Steel", May, 2007, pp 1-5.
- [10] B.K. Choudhary, J. Christopher, D.P. Rao Palaparti, E. Isaac Samuel, M.D. Mathew, "Influence of temperature and post weld heat treatment on tensile stress–strain and work hardening behaviour of modified 9Cr–1Mo steel", Materials and Design, Volume-52, 2013, pp. 58-65.
- [11] M. L. Santella, R. W. Swindeman, R. W. Reed and J. M. Tanzosh, "Martensite formation in 9 Cr-1 Mo steel weld metal and its effect on creep behavior", Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee 37831, Babcock & Wilcox Company, Barberton, Ohio 44203.
- [12] E. L. Bergquist, Consumables And Welding Modified 9Cr-1 Mo Steel. Svetsaren, (1 -2), 1999, 2 -5.
- [13] B. Arivazhagan, M. Kamaraj, "A Study On Influence Of D-Ferrite Phase On Toughness Of P91 Steel Welds", White Paper, Steel-Grips.Com 2013, pp.19-24.