

ISKUSTVA PRILIKOM NAVARIVANJI P91 ČELIKA LEGURAMA NA BAZI NIKLA

Žubrinić Dalibor, Despotović Božo, Sertić Krunoslav
dalibor.zubrinic@ddtep.power-m.hr

Đuro Đaković Termoenergetska postrojenja, Dr. Mile Budaka 1, Slavonski Brod, Hrvatska

Ključne riječi: navarivanje, otpornost na abraziju, kotlogradnja

Sažetak:

U radu se opisuju iskustva o navarivanju P91 martenzitnog čelika legurama nikla kao materijala za kladiranje. Ova metoda primjenjuje se za zaštitu kotlovnih čelika od korozije, za povećanje otpornosti na abraziju i za rad na visokim temperaturama. Primjena navarivanja u kotlogradnji je opisana u radu, kao i opreme na kojoj se izvodi navarivanje. Također, u radu su dani rezultati pri kvalifikaciji postupka zavarivanja.

EXPERIENCE OF P91 STEEL CLADDING WITH NICKEL ALLOYS

Key words: cladding, abrasion resistance, boiler construction

Abstract:

This paper describes experiences with cladding P91 martensitic steel with nickel base alloys as cladding material. This method is used for corrosion protection of classic boiler steel, for increasing of resistance to abrasion and work on high temperatures. Applications of cladding in boilers construction are given in work, as well are equipment for cladding is described. Also, paper presents some results in scope of welding procedure qualification.

1. UVOD

Svrha navarivanja legurama nikla je stvaranje toplinske, kemijske i mehaničke zaštite osnovnog materijala od vanjskih utjecaja. U ovisnosti od svrhe i primjene proizvoda pri eksplataciji, primjenjuju se različiti tipovi navarivanja osnovnog materijala.

Navarivanje niklenim legurama se primjenjuje prilikom eksplataciji kotla koji koriste komunalni otpad kao gorivo. Pošto nisu u potpunosti poznate kemijske reakcije pri izgaranju komunalnog otpada, najprihvatljivija je upotreba 625 legure na bazi nikla za zaštitu od korozije i visokih temperatura.

Osim od korozije navarivanje se primjenjuje u kotlogranji za zaštitu izmjenjivača topline od abrazije, odnosno za smanjenje trošenja osnovnog materijala tijekom rada kotla.

2. OPĆENITO O NAVARIVANJU

Navarivanje je postupak zavarivanja taljenjem i nanošenjem dodatnog materijala na površinu osnovnog materijala u svrhu postizanja željenih svojstava, dimenzija i oblika.

Tvrdo navarivanje (eng. Hardfacing) je nanošenje tvrdog materijala otpornog na trošenje postupkom zavarivanja. Materijali koji se najčešće tvrdo navaruju su ugljični čelici i nisko legirani čelici s niskim sadržajem ugljika, ali sve više se zahtjeva navarivanje i na visokolegirane martenzitne čelike.

Vrlo visoka temperatura i kemijske reakcije koje nastaju prilikom izgaranju goriva u ložištu kotla su među najvećim neprijateljima čelika. Korozijski najizloženiji dijelovi ložišta kotla su

membranski cijevni zidovi koji su pod direktnim utjecajem dimnih plinova, čađi i nusprodukata izgaranja, kao i pregrijači vodene pare na kojima se stvaraju naslage čađi. Prilikom izgaranju goriva dolazi do niza nepogodnih kemijskih reakcija koji stvaraju slojeve nečistoća koje pogoduju nastanku visokotemperaturne korozije na čeliku.

3. SVOJSTVA ČELIKA P91

Materijal X10CrMoVNb9-1 (P91) je feritno - martenzitni čelik sa udjelom od 9% kroma i 1% molibdena. Zbog svoje otpornosti na povišene temperature primjenjuje se za izradu izmjenjivača topline. Postojanost na puzanje pruža pri temperaturama od 580° - 600° , udio od 9% kroma osigurava bolju otpornost na koroziju. Kemijski sastav čelika P91 prikazan je u tablici 1.

Tablica 1. Kemijski sastav čelika P91 [1]

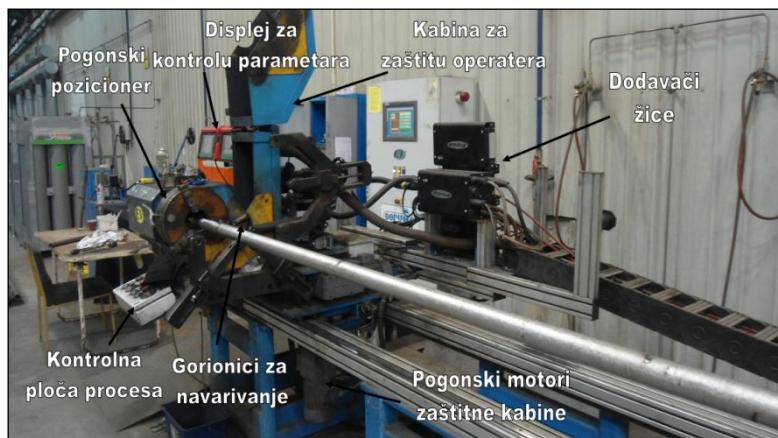
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Mo	Nb	V	N
min	0.08	0.30	0.20	-	-	8.00	-	0.85	0.06	0.18	0.03
max	0.12	0.60	0.50	0.010	0.020	9.50	0.40	1.05	0.10	0.25	0.07

Zbog svojih svojstava ovaj čelik smanjuje ukupnu težinu kotla jer dopušta ugradnju manjih debljina tlačnih dijelova uz iste režime rada u odnosu na druge slične čelike. U usporedbi sa austenitnim čelicima, P91 osigurava bolji prijenos topline.[1]

4. OPREMA ZA NAVARIVANJE I RADNI UVJETI PRI IZVOĐENJU NAVARIVANJA

Za navarivanje P91 čelika (X10CrMoVNb9-1) koristi se automatizirani MAG postupak zavarivanja koji ima mehanizirani dovod žice u električni luk i mehanizirano vođenje gorionika za zavarivanje. Izvor za zavarivanje je klasični TPS (*eng. Trans Puls Synergic*) s dodavačima za transport žice. Automat za navarivanje sastavljen je od dva izvora i dva gorionika za zavarivanje, koji vrše posmično gibanje tijekom navarivanja, dok radni predmet (cijev/komora) vrši okretanje oko svoje osi. Ostali dijelovi su sistem za hlađenje cijevi i plinovod za opskrbu četverokomponentnim zaštitnim plinom.

U kotlogradnji ovaj postupak zavarivanja primjenjuje se za navarivanje pojedinačnih cijevi za otvore membranskih cijevnih zidova, navarivanje komora i pregrijača. Na slici 1 prikazan je automat za pojedinačno navarivanje cijevi i komora. [2]



Slika 1. Automat za pojedinačno navarivanje cijevi i komora [2]

Kako bi se osigurala zahtijevana kvaliteta, prilikom izvođenja procesa navarivanja potrebno je voditi računa o slijedećim čimbenicima:

Čistoća radnog prostora: koja je pri procesu navarivanja neophodna. Čestice metalne prašine i domovi su nepoželjni čimbenici koji negativno utječu na kvalitetu procesa.

Kvaliteta pripremljene površine: za navarivanje pridodaje stabilnosti izvedenih rezultata nakon navarivanja. Kvalitetno obrušena i očišćena površina za rezultat ima niži udio delta ferita i ujednačeniju debljinu navarenog sloja.

Na samu debljinu navara utječe i položaj navarivanja, kao i tehnika rada gorionika/radnog komada pri navarivanju.

Preventivno i korektivno održavanje: od velike je važnosti u 24 satnom procesu navarivanja. Neophodno je osigurati preventivno održavanje opreme za navarivanje, pravovremenim ispuhivanjem prašine iz izvora kako bi se smanjila mogućnost kvara.

Redovita izmjena provodnika žice osigurava kontinuiran transport žice i smanjuje formiranje grešaka na površini navarenog sloja.

Odabir pakiranja dodatnog materijala: na osnovu iskustvenih podataka možemo reći da je učestalija i prihvatljivija primjena malih koluta dodatnog materijala mase 15 kg nego velikih od 150 kg.

Razlog za odabir malih koluta je u jednostavnijem transportu materijala pri njegovoj izmjeni, manjem opterećenju i trošenju pogonskih kotača za transport dodatnog materijala kao i očuvanje provodnika žice pošto je transportni put smanjen.

4.1 Tehnološka uputa za navarivanje

Zadatak pri navarivanju cijevi je postizanje debljine navarenog sloja nakon savijanja od minimalno 2 mm. Kako bi se zadovoljila debljina navarenog sloja nakon savijanja, potrebno je navariti zaštitni sloj u područjima savijanja od 0,6 mm deblje od zahtijevane debljine (min. 2.6 mm). Kritična zona nakon savijanja je područje opterećeno na vlačno istezanje navarenog sloja, uslijed čega dolazi do istezanja navara i smanjenja njegove debljine.

Sadržaj željeza na površini navara ne smije prelaziti 5%. Područja koja ne zadovoljavaju uvjete debljine i sadržaja željeza, kao i greške u obliku otvorenih poroznosti i pukotina će se popraviti TIG postupkom. Prihvatljiv broj grešaka na površini navara koji će se popraviti je 5 grešaka/metru.

Nivo obučenosti operatera također je od velike je važnosti za stabilnost i kvalitetu procesa. Svaki operater je obavezan položiti teorijski i praktični ispit iz zavarivanja, kao i navariti uzorak za kvalifikaciju operatera prema EN 1418.

Površinu prije navarivanja potrebno je sačmariti, te nakon sačmarenja brusiti do metalnog sjaja. Iskustveni rezultati nam govore da je navarivanje kvalitetnije ako je površina obrušena. Nakon navarivanja, popravaka i ispitivanja penetrantima potrebno je izvršiti toplinsku obradu. Transport i oprezno rukovanje cijevima sa navarenim slojem od navarivanja do toplinske obrade od velike je važnosti kako ne bi došlo do oštećenja osnovnog materijala.

Toplinsku obradu navarene cijevi potrebno je provesti unutar 24 sata od vremena navarivanja, zbog mogućih mehaničkih oštećenja čelika koji je nakon zavarivanja osjetljiv na udarce i podložan pucanju.

5. NAVARIVANJE 625 LEGUROM NIKLA

Svojstvo nikl - krom 625 legure (W.Nr. 2.4856) je u visokoj čvrstoći, otpornosti na koroziju i povišenu temperaturu. Ova kombinacija kemijskih elemenata prikazana u tablici 1. omogućava veliku otpornost na korozivna okruženja u ložištu kotla koji koriste komunalni otpad kao gorivo, na utjecaj visokih temperatura koji uzrokuju oksidaciju i karbonizaciju metala. [3]

Tablica 2. Kemijski sastav 625 dodatnog materijala [3]

Nickel.....	58.0 min.
Chromium.....	20.0-23.0
Iron.....	5.0 max.
Molybdenum.....	8.0-10.0
Niobium (plus Tantalum).....	3.15-4.15
Carbon.....	0.10 max.
Manganese.....	0.50 max.
Silicon.....	0.50 max.
Phosphorus.....	0.015 max.
Sulfur.....	0.015 max.
Aluminum.....	0.40 max.
Titanium.....	0.40 max.
Cobalt ^a	1.0 max.

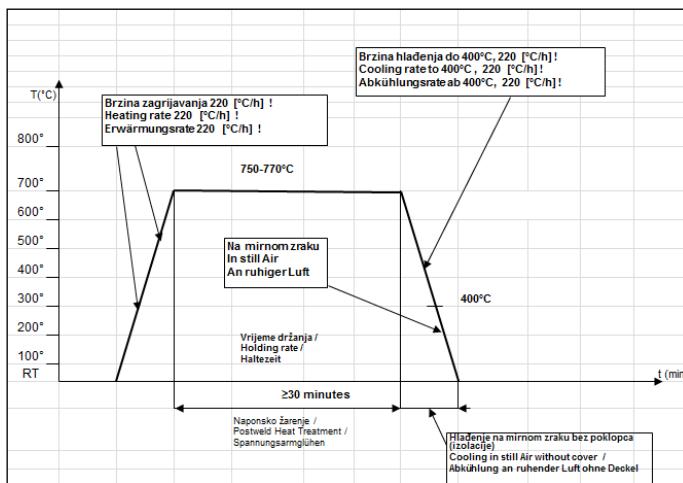
Jedni od nepoželjnih elemenata unutar sastavu 625 legure je fosfor i sumpor koji predstavljaju nečistoće koje negativno utječu na izvedene rezultate. Sumpor sam po sebi pogoršava zavarljivost zbog sklonost segregacijama (razdvajanjem) koje povećavaju sklonost prema nastajanju toplih pukotina. Tijekom navarivanja dovodi do nestabilnosti i prskanja električnog luka, vizualno loše površine zavara i neujednačene debljine navarenog sloja.

Kako se radi o navarivanju martenzitnog čelika koji zahtjeva predgrijavanje prije zavarivanja, što je nepoželjno, pri navarivanju jer dolazi do većeg miješanja sa osnovnim materijalom i izvlačenja nepoželjnog željeza na površinu navara, navarivanje je izvedeno uz sušenje zone navarivanja osnovnog materijala sa kontinuiranim vodenim hlađenjem kroz unutrašnjost cijevi (slika 2). Rashladni medij je voda sa aditivom protiv korozije, srednje temperature od 25°C.



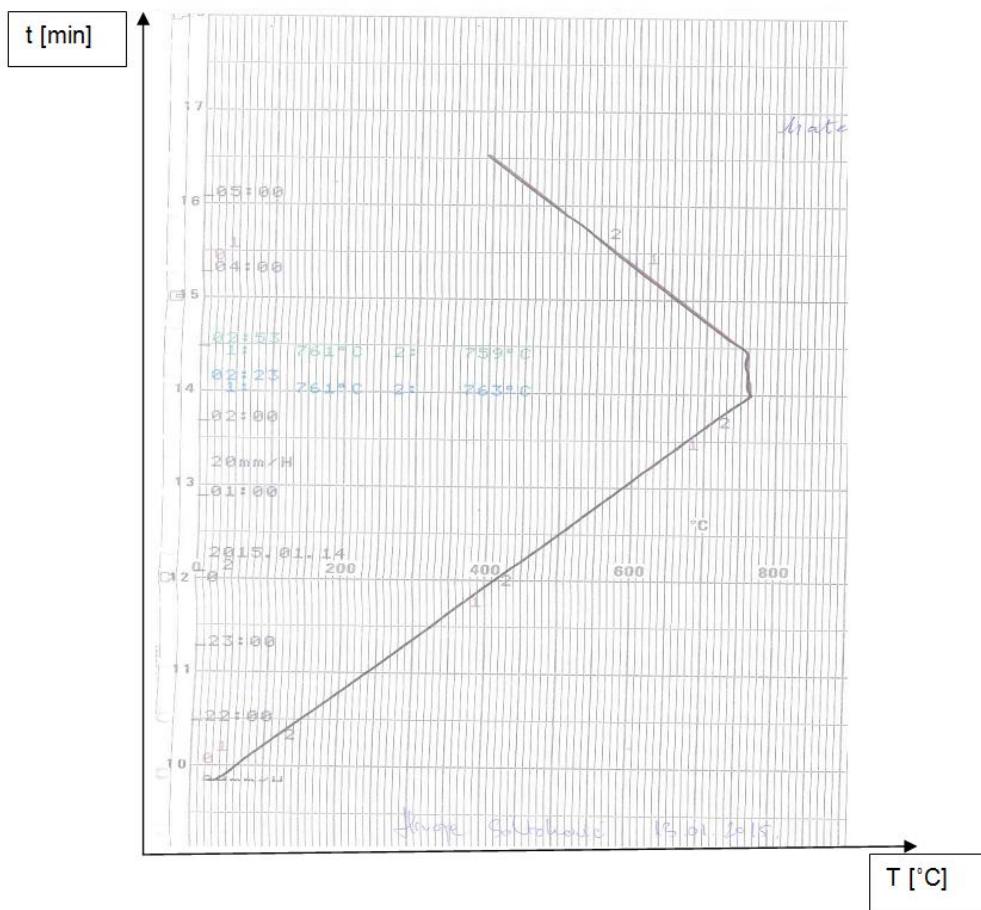
Slika 2. Navareni uzorak

Nakon navarivanja materijala P91 potrebno je provesti toplinsku obradu popuštanja od zaostalih napetosti i smanjenja tvrdoće na temperaturama 740-780°C. Prema normi EN 12952-5 prikazana je uputa za toplinsku obradu u kojoj su definirani parametri kao što su brzina predgrijavanja od 220°C/h, vrijeme držanja na temperaturi od 750-770°C od minimalno 30 minuta i brzina hlađenja do temperature od 400°C brzinom od 220°C/h (slika 3). [4]



Slika 3. Navareni uzorak

Slika 4 prikazuje provedeni stvarni zapis dijagrama temperature i vremena toplinske obrade, a sastoji se od linija u boji i numeričkih oznaka termoparova, te temperature i vremena. Svakom termoparuu pripada odgovarajuća boja. [4]



Slika 3. Dijagram toplinske obrade [4]

Gledano u koordinatnom sustavu, na ordinati stoji vrijeme t (min) provedeno u toplinskoj obradi, dok na apscisi leži temperatura T (°C) ostvarena u peći za toplinsku obradu, odnosno na površini radnog komada. Brzina zagrijavanja i hlađenja je propisana normom EN12952-5 za materijale nominalne debljine „e“ manje od 25mm.

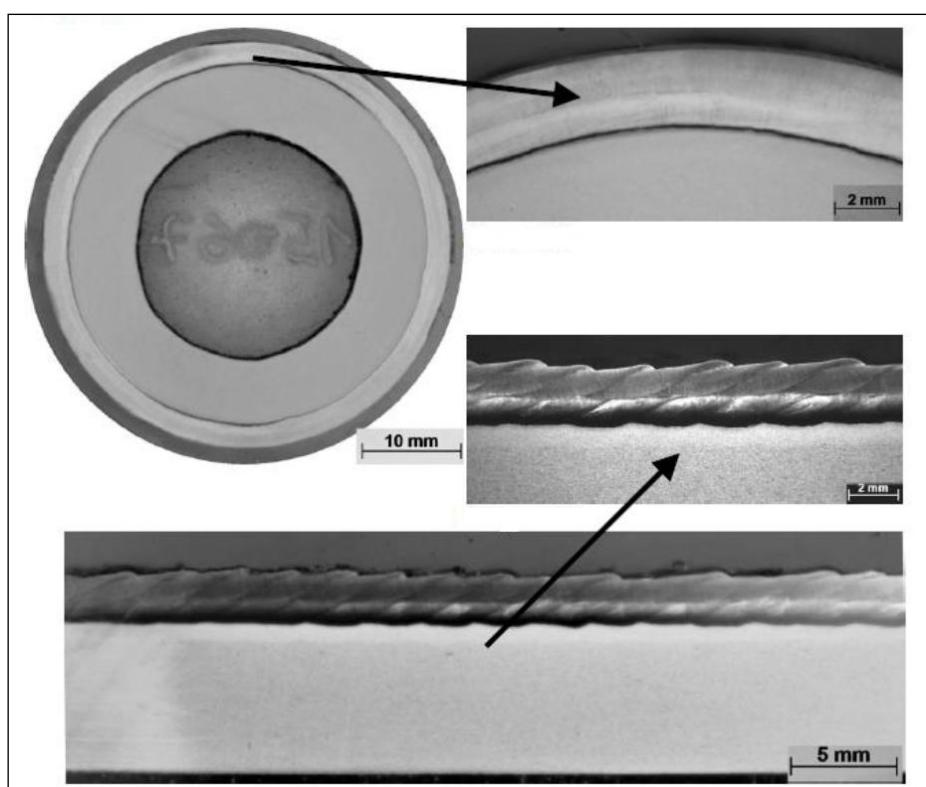
Vrijeme držanja se računa preko debljine zavara $e < 13\text{mm}$, od ostvarene minimalne propisane temperature od 740°C . Nakon provedenih 30 minuta držanja na temperaturi od $740^\circ - 780^\circ\text{C}$, dolazi do hlađenja do temperature 400°C za materijale manje debljine stijenke od 60 mm.

6. ISPITIVANJE SA I BEZ RAZARANJA

Za kvalifikaciju postupka navarivanja izvršena su ispitivanja prema normi EN 15614-7. Ispitivanja bez razaranja (eng. *Non-destructive Testing - NDT*) koja se provode su ultrazvučno ispitivanje (eng. *Ultrasound testing - UT*) navarene površine u svrhu detektiranja eventualnog naljepljivanja između osnovnog materijala i navarenog sloja, te penetrantsko ispitivanje (eng. *Penetration Testing - PT*) navarene površine sa svrhom otkrivanja poroznosti i pukotina.

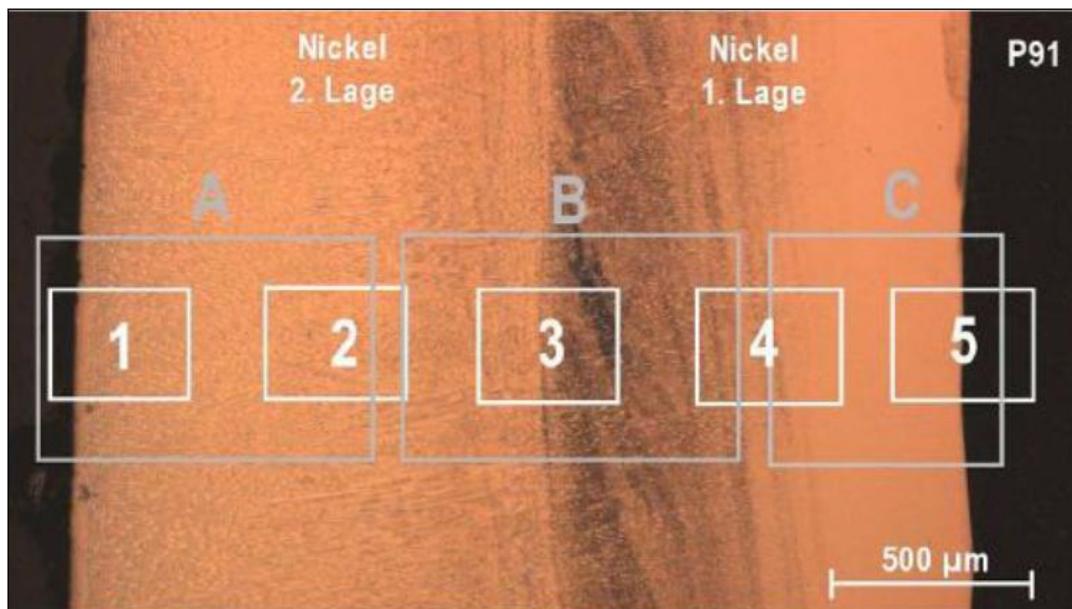
Provedena je i kontrola debljine navarenog sloja koja treba biti $\geq 2\text{mm}$ i kemijska analiza navarene površine, jer je limitiran sadržaj željeza na navarenoj površini na vrijednost $\leq 5\%$.

Ispitivanja sa razaranjem (eng. *Destructive Testing - DT*) izvršena su u opsegu savijanja (eng. *Transverse bend Test*), žilavosti (eng. *Impact Test*), kidanja (eng. *Transverse tensile Test*), tvrdoća (eng. *Hardness Test*), makro i mikro uzoraka (eng. *Macroscopic and Microscopic Examination*). Na slici 5 prikazan je makro uzorak cijevi sa navarenim slojem legure nikla.



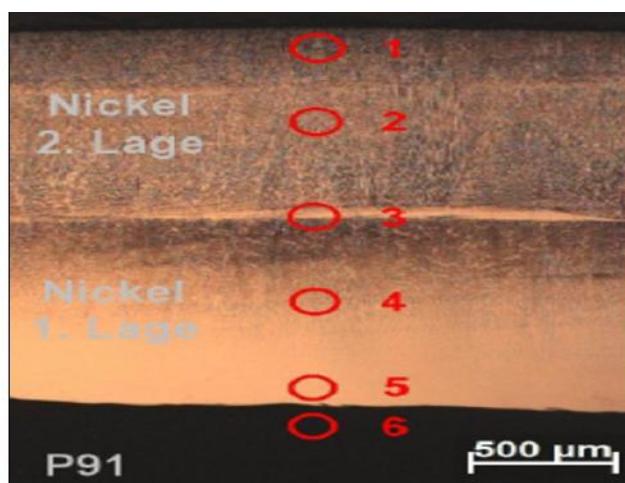
Slika 5. Makro uzorak cijevi sa navarenim slojem legure nikla[5]

Na slici 6 prikazan je jasan mikro uzorak navarene cijevi sa vidljivim navarenim slojevima. Može se razlučiti osnovni materijal (P91), prvi navareni sloj (*Nickel 1.Lage*) i drugi navareni sloj (*Nickel 2.Lage*).



Slika 6. Mikro uzorak navarene cijevi [5]

Slika 7 prikazuje kemijsku analizu uzorka po presjeku. Iz slike je vidljiv postupan rast Fe-a i pad Ni kako se približavamo osnovnom materijalu, što je i logično s obzirom da osnovni materijal ima visoki sadržaj željeza (~90% Fe-a), a dodatni materijal sadržaj nikla (min.58% Ni).



Messpunkt	Cr	Fe	Ni	Nb	Mo
1	21,74	0,35	68,61	1,64	7,66
2	22,35	0,61	67,28	1,88	7,88
3	21,63	7,29	62,76	1,6	6,72
4	21,82	6,48	62,56	1,81	7,34
5	20,04	19,87	52,52	1,85	5,72
6	8,09	88,73	1,22	0,34	1,62

Slika 7. Kemijska analiza uzorka po presjeku [5]

7. ZAKLJUČAK

Budući da se radi o čeliku koji ima sve veću primjenu u kotlogradnji, postavljaju se novi zahtjevi za navarivanje martenzitnih čelika. Svrha navarivanja izmenjivača topline je u glavnoj mjeri u stvaranju toplinske i korozijske zaštite, dok zaštita od abrazije je dodatan plus pošto se radi o dodatnom materijalu za navarivanje koji ima visoku čvrstoću.

Za naglasiti je da veliku pažnju treba posvetiti toplinskoj obradi i pažljivom rukovanju materijalom na putu od navarivanja do toplinske obrade, zbog krhkosti nakon zavarivanja i sklonosti pucanju.

8. LITERATURA

- [1] <http://www.vallourec.com/fossilpower/EN/Products/Pages/tp91.aspx> (10.9.2015.)
- [2] Žubrinić, D: Primjena strojnog navarivanja u kotlogradnji, Veleučilište u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, 2014.
- [3] www.specialmetals.com; (20.3.2015.)
- [4] Tehnološka dokumentacija tvornice Đuro Đaković TEP d.o.o., Slavonski Brod, 2015.
- [5] Orsi,A.; Ni-basis plattierte Rohre aus P91, „Razorna i nerazorna ispitivanja Ni-bazne cijevi P91“, Graz, 2015