

ZBORNİK RADOVA

**Dvadeset treći međunarodni kongres o procesnoj industriji
PROCESING 2010**

**Dvadeset šesto savetovanje sa međunarodnim učešćem
ZAVARIVANJE 2010**

**Dvadeset šesto savetovanje sa međunarodnim učešćem
IBR 2010**

(Tara, 2-4 jun 2010)

Izdavači

Savez mašinskih i elektrotehničkih
inženjera i tehničara Srbije (SMEITS)
Sekcija za procesnu tehniku
Kneza Miloša 7a/II, 11000 Beograd

Društvo za unapređivanje
zavarivanja u Srbiji (DUZS)
Grčića Milenka 67, 11000 Beograd

Srpsko društvo za ispitivanje
bez razaranja (SDIBR)
Grčića Milenka 67, 11000 Beograd

Glavni urednik

Ilija Kovačević, dipl. inž.

Uređivački odbor

dr Dejan Radić, dipl. inž.,
dr Vencislav Grabulov, dipl. inž.,
mr Đurđija Čašić, dipl. inž.

Kompjuterska priprema

„Kvartet V“, Beograd

Štampa

„NO-KAČI“, Beograd

Tiraž

400 primeraka

*Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije i
Inženjerska komora Srbije finansijski su pomogli
organizovanje savetovanja „Zavarivanje 2010“*

TEHNOLOGIJA REPARATURNOG ZAVARIVANJA VRATILA TURBINE NA HIDROELEKTRANI ĐERDAP BEZ DEMONTAŽE AGREGATA

TECHNOLOGY OF REPARATORY WELDING OF TURBINE SHAFT ON ĐERDAP HYDROPOWER PLANT WITHOUT DISMANTLING THE AGGREGATE

BRANE VISTAĆ, MIODRAG ARSIĆ, VUJADIN ALEKSIĆ, MLADEN MLADENović I
DRAGAN JAKOVIĆ,
INSTITUT ZA ISPITIVANJE MATERIJALA, BEOGRAD, I
ALEKSANDAR ĐORĐEVIĆ,
MESSER TEHNOGAS, BEOGRAD

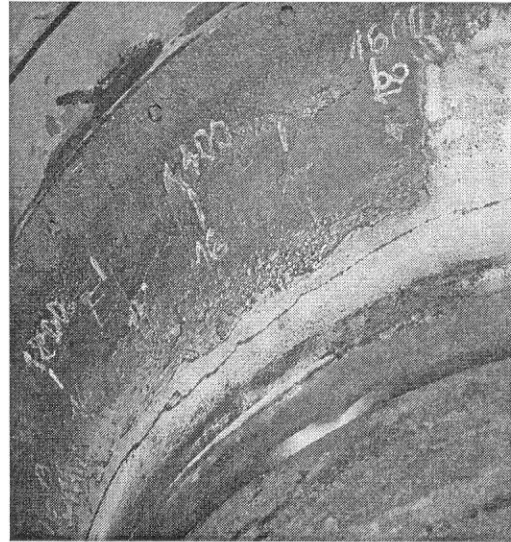
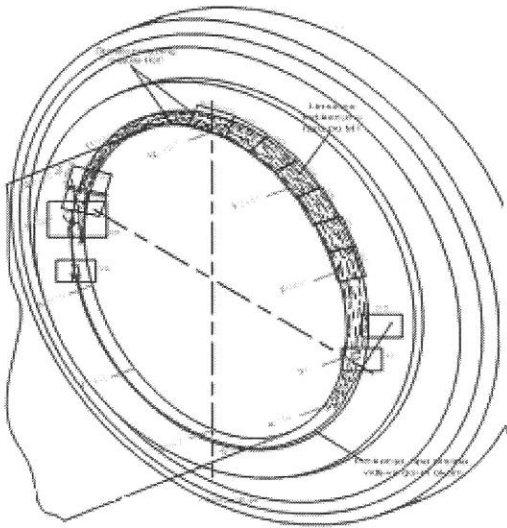
Šuplje vratilo turbine agregata 8 na hidroelektrani Đerdap II, izrađeno je iz tri dela, zavarivanjem velike prirubnice i cilindričnog dela vratila i cilindričnog dela i male prirubnice. Vratilo je bilo u radu oko 160.000 sati. Nakon 25 godina rada agregata 8, u cilju utvrđivanja stanja turbinskog vratila izvršena su detaljna ispitivanja zavarenih spojeva i osnovnog materijala vratila, metodama bez razaranja (vizuelno ispitivanje, ispitivanje penetrantima, ispitivanje magnetnim česticama i ultrazvučno ispitivanje). Tim ispitivanjima utvrđeno je da u zoni prelaznog radijusa (R80) između cilindričnog dela vratila i velike prirubnice, po čitavom obimu, postoji veliki broj površinskih prslina, različitih dužina i dubina. Maksimalna dužina pojedinačne prsline bila je $L = 430$ mm, a maksimalna dubina $a = 20$ mm. U cilju produženja radnog veka vratila turbine urađena je tehnologija reparaturnog zavarivanja. S obzirom da je sanaciju prslina na prelaznom radijusu vratila trebalo uraditi bez njegove demontaže, u radu je pored tehnologije zavarivanja data i procedura pripreme vratila sa redosledom izvođenja radova.

Ključne reči: vratilo turbine; prslina; procedura reparaturnog zavarivanja; tehnologija zavarivanja

The aggregate 8 hollow turbine shaft of the „Đerdap II“ hydropower plant consists of 3 parts, and is completed by welding of the big flange and the cylindrical part of the shaft, and on the other end by welding the cylindrical part of the shaft and small flange. The shaft has been in exploitation for approximately 160.000 hours. After 25 years of service of the aggregate 8, detailed tests of welded joints and basic material of the shaft were performed using the non-destructive methods, which include visual testing, dye penetrant testing, magnetic particle testing and ultrasonic testing. Through the testing it was determined that in the zone of the transition radius (R80) between the cylindrical part of the shaft and the big flange, on the full length of the scope, there is a great number of surface cracks, various in length and depth. Maximum length of the single crack was 430 mm, and maximum depth 20 mm. In order to extend the lifetime of the turbine shaft, the technology of repair welding was designed. Bearing in mind that the reparation of cracks located on the transition radius of the shaft should be executed without dismantling the shaft, aside from the technology of welding the procedure concerning the preparation of the shaft with the appropriate timetable is presented in this paper as well.

Key words: turbine shaft; crack; procedure of reparatory welding; technology of welding

Ispitivanje penetrantima (PT), zone prelaznog radijusa R80 između cilindričnog dela vratila i velike prirubnice, utvrđen je veći broj prslina po čitavoj širini radijusa, sl.2. Izmerene su dubine prslina od 4-20 mm.

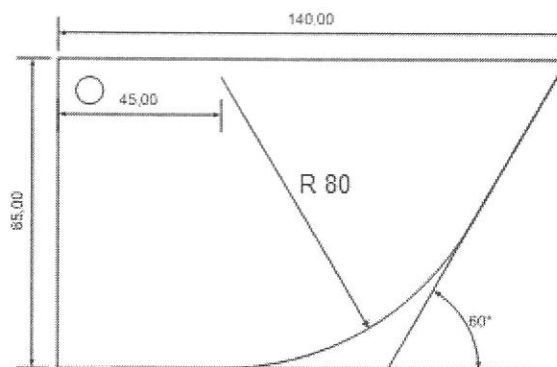


Slika 2. Prelazni radijus turbinskog vratila R80

2. PRIPREMA ZA IZVOĐENJE REPARATURNIH RADOVA NA VRATILU TURBINE

Ova tehnologija se odnosi na izvođenje reparaturnih radova na prelaznom radijusu sa cilindričnog dela vratila turbine na prirubnicu prema glavčini radnog kola. Pripreme za reparaturnog zavarivanja obuhvataju sledeće:

- demontaža zaptivače,
- zatvaranje radijalnog ležaja i potpuno zaptivanje uljne kade silikonskim kitom,
- montaža užeta za okretanje radnog kola uz pomoć dizalice 2500+500 kN,
- uklanjanje svih zapaljivih predmeta i materija iz zone obavljanja posla,
- obezbeđenje mere protivpožarne zaštite u zoni rada,
- obezbeđenje dovoda svežeg vazduha u zoni rada, min 20 izmena po času,
- obezbeđenje odvoda gasova iz zone iznad ležaja, min 200 m³/h,
- obezbeđenje sredstava zaštite na radu,
- postavljanje metalnih platformi, u zoni ispod vratila, za lakši pristup prelaznom radijusu,
- obeležavanje zona na prelaznom radijusu 0, 200, 400, 600, 800... 3768 mm,
- izrada šablona, od lima debljine 1 mm, za kontrolu geometrije prelaznog radijusa, sl.3.



Slika 3. Šablon sa prelaznim radijusom R 80

2.1. Redosled izvođenja reparaturnih radova

Redosled izvođenja reparaturnih radova obuhvata sledeće[1]:

- delimično rasterećenje zone radijusa podizanjem radnog kola,
- čišćenje površine prelaznog radijusa, cilindričnog dela vratila i konusnog dela prirubnice od antikorozijske zaštite (AKZ) i produkata korozije, u zoni 1/3 dužine sa širinom od po 50 mm,
- ispitivanje očišćene zone prelaznog radijusa magnetnim česticama,
- obeležavanje deonice sa greškama,
- zaštita cilindrične površine vratila aluminijumskim limom debljine 1mm,
- brušenje mesta sa greškama do potpunog uklanjanja svih prslina,
- oblikovanje izbrusaka, u cilju uklanjanja oštih ivica i pripreme za zavarivanje,
- završno ispitivanje izbrušenih mesta magnetnim česticama,
- uzimanje podataka o izbrušenim mestima: položaj, širina, dužina, dubina, zapremina,
- zavarivanje izbrušenih mesta austenitnim dodatnim materijalom uz iskivanje svakog sloja pneumatskim čekićem sa zaobljenim vrhom R10 mm,
- oblikovanje navarenog materijala ravnim brusilicama uz korišćenje šablona sl.3,
- ispitivanje navara penetrantima (PT),
- u slučaju zadovoljavajućih rezultata PT, obrada šire zone radijusa uzduž vratila, grubim i finim lepezastim šmirglama,
- zaštita feropksom zone obrađene lepezastim šmirglama,
- oslobađanje radnog kola i vratila,
- okretanje vratila za 1/3 kruga,
- ponavljanje postupka do potpunog završetka sanacije grešaka, po čitavom obimu.

2.2. Ispitivanje zone prelaznog radijusa metodama bez razaranja

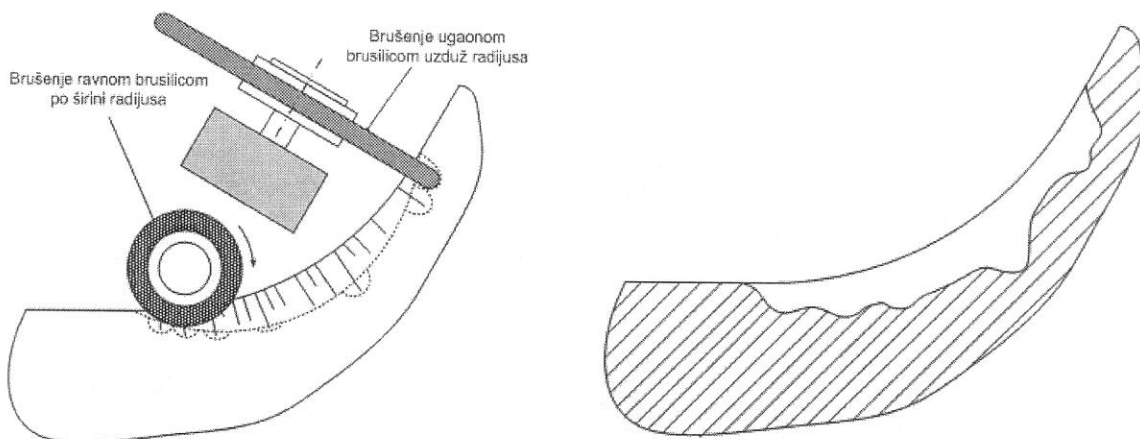
Površinu prelaznog radijusa i okolne zone ispitati magnetnim česticama (MT), uslovi za ispitivanje površine prelaznog radijusa magnetnim česticama treba da budu u saglasnosti sa standardom EN 10228-1:1999-Deo2. Ispituje se površina radijusa i okolne zone u obimu 100%, posle uklanjanja slojeva antikorozijske zaštite (AKZ) i produkata korozije mehaničkim putem i odmaščivanja. Stepenn kvaliteta obrade površine treba da bude $Ra \leq 6,3 \mu m$. Granične vrednosti indikacija za klasu kvaliteta 4 iz tab.2 standarda EN 10228-1:1999-Deo2. Prsline nisu dozvoljene.

2.3. Uklanjanje otkrivenih grešaka

Uklanjanje otkrivenih grešaka, kao i priprema površina za ispitivanje, zahteva zaštitu radijalnog ležaja turbinskog vratila od prodora čestica brusnog materijala i metala vratila. To se može ostvariti u uslovima zatvorenog ležaja uz potpuno zaptivanje uljne kade silikonskim kitom.

Greške, otkrivene magnetnim česticama, neophodno je odstraniti brušenjem, sl.4, na sledeći način:

- zone sa pojedinačnim izduženim greškama brusiti uzduž prelaznog radijusa, malom ugaonom brusilicom (600-1400W),
- zone sa greškama koji se prostiru paraleleno, na bliskom rastojanju, brusiti upravno na osu grešaka (po širini prelaznog radijusa),
- za pojedinačne greške koje se prostiru na većoj dubini mogu se kombinovati postupci brušenja,
- izbrušena mesta ne smeju imati oštre ivice i moraju biti dostupna za ispitivanje i zavarivanje,
- zona izbruska mora biti odmašćena, suva i čista,
- izbrušena mesta površine prelaznog radijusa ispitati magnetnim česticama.



Slika 4. Brušenje otkrivenih grupnih grešaka

3. IZBOR POSTUPKA ZAVARIVANJA I DODATNOG MATERIJALA

Na osnovu parametara od kojih zavisi izbor postupka zavarivanja (zavarljivost osnovnog materijala, energetske mogućnosti postupka, geometrijska složenost konstrukcije i uporedna ekonomska analiza) celishodno je primeniti postupak 111.

3.1. Izbor dodatnog materijala

Zbog velike debljine osnovnog materijala, krajnje ograničenih mogućnosti izvođenja predgrevanja i naknadne termičke obrade, optimalno rešenje je korišćenje obloženih elektroda, koje daju šav austenitne strukture. Dobre osobine metala šava, pri izvođenju reparaturnih zavarivanja, na materijalima sa teže ili ograničenom zavarljivošću, ima ruska elektroda ЭА 395/9 ili Castolin Xuper 2222. Potreba za predgrevanjem osnovnog materijala (100-150C°), pri upotrebi elektroda ЭА 395/9, počinje pri dubinama izbrusaka većim od 40 mm, odnosno pri zapreminama izbrusaka većim od 500 cm³.

Pre upotrebe elektrode je potrebno sušiti u za to određenim pećima. Elektrode $\Theta A 395/9$ sušiti na temperaturi 200 do 250°C u trajanju od 2h, a Castolin Xuper 2222 na 350 °C u trajanju od 2h. Dozvoljeno je samo jedno sušenje elektroda, zbog mogućnosti pucanja obloge pri ponovnom sušenju. Do upotrebe, elektrode čuvati u individualnim grejačima (tobolcima) na temperaturi 100 do 120°C.

4. TEHNOLOGIJA REPARATURNOG ZAVARIVANJA

Zavarivanje izbrusaka izvršice se po kvalifikovanoj tehnologiji zavarivanja [2,3,4], saglasno zahtevima EN 288/3.

Po preporuci proizvođača elektroda za zavarivanje koristiti izvor napajana (aparatus zavarivanja) jednosmernom strujom a elektrodu postaviti na +pol. Ostale preporuke su sledeće:

- širina zavara ne bi trebala biti veća od $2,5 \times d$, gde je d prečnik elektrode,
- zavarivanje izvoditi kratkim lukom sa permanentnim uklanjanjem šljake,
- posebnu pažnju posvetiti zapunjavanju kratera pri prekidu luka.

4.1. Postupci za smanjenje zaostalih napona nastalih pri zavarivanju

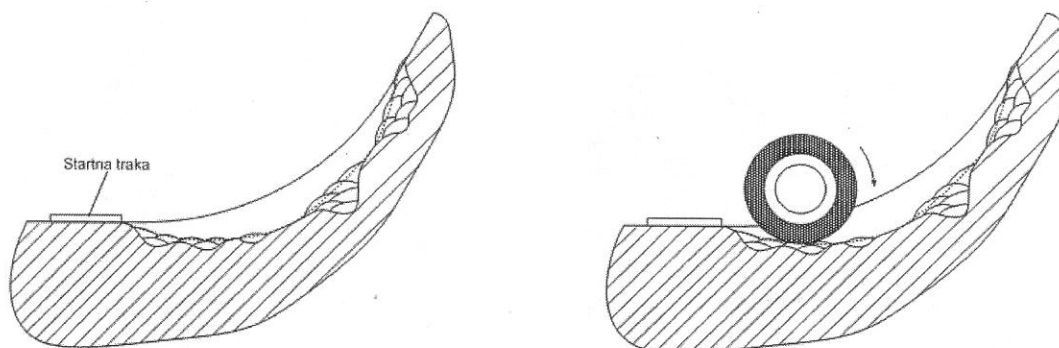
Jedan od primenljivih postupaka za smanjenje zaostalih napona nastalih pri zavarivanju jeste iskivanje svakog sloja pneumatskim čekićem sa zaobljenim vrhom R10 mm.

Za izbruske većeg poprečnog preseka, primenjivati poslojno zavarivanje dna i bokova sa obrtanjem smeru polaganja zavara za 90° u svakom sloju. Za uske a duge izbruske primenjivati zavarivanje "povratnim korakom". Za duge izbruske većeg poprečnog preseka, u slučaju da je neophodno predgrevanje, primenjivati polaganje zavara po sistemu "brdo" ili "kaskada".

Zavarivanje izvoditi pri temperaturi okolnog vazduha većoj od 5°C, u uslovima bez značajnog strujanja vazduha.

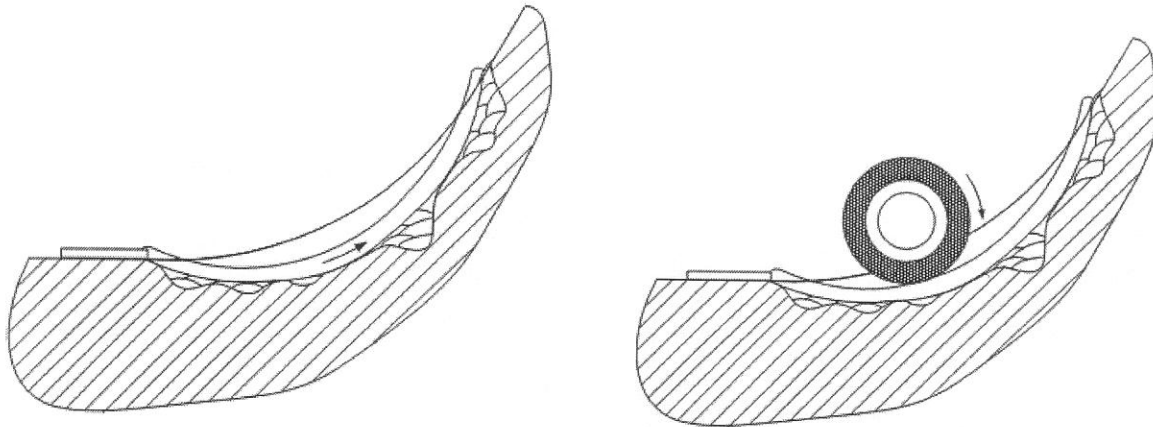
Za izbegavanje ivičnih zarezna na cilindričnom delu vratila celishodno bi bilo zaštititi prelaz, sa radijusa na cilindrični deo, čeličnom trkom 20x2 mm od nerđajućeg austenitnog čelika. Traku pričvrstiti sa nekoliko pripoja (u zavisnosti od dužine izbruska).

Zavarivanje početi popunjavanjem lokalnih udubljenja uzduž radijusa, sl.5, elektrodom prečnika 3 mm i jačinom struje od 60 do 110A, za $\Theta A 395/9$, a elektrodom prečnika 3,2 mm i jačinom struje 70-90 A, za Castolin Xuper 2222. Iskivati svaki sloj pneumatskim čekićem sa zaobljenim vrhom a potom brusiti navar, u cilju uklanjanja defekata lica.



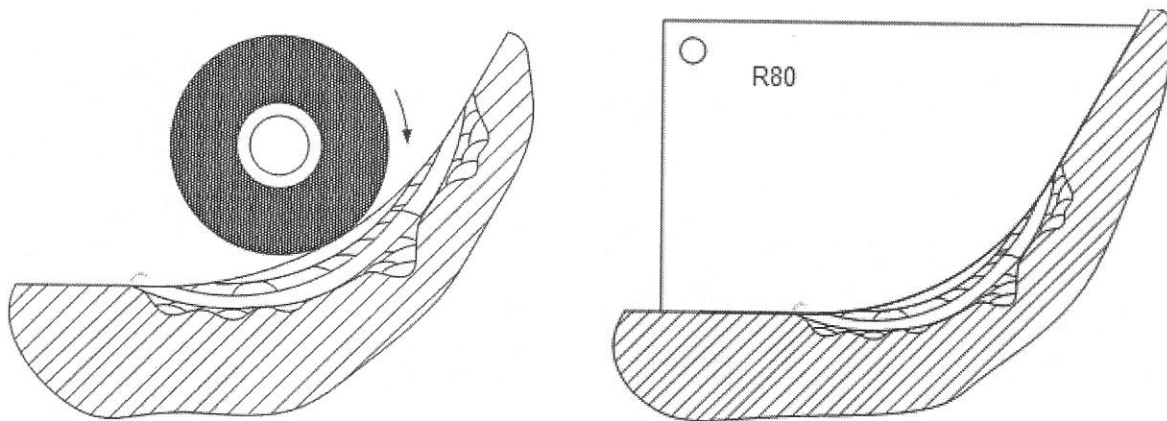
Slika 5. Popunjavanje lokalnih udubljenja i brušenje navarenog materijala

Kompletan prvi sloj navariti po širini radijusa elektrodama prečnika 4 mm. Jačina struje za elektrodu ЭА 395/9 je 100-170 A, a za Castolin Xuper 2222, 90-110 A. Iskovati prvi kompletan sloj, pneumatskim čekićem sa zaobljenim vrhom a potom brusiti navar, u cilju uklanjanja grešaka na licu navarenog sloja, sl.6.



Slika 6. Postupak navarivanja i brušenja prvog potpunog sloja

Završni sloj navariti po širini radijusa, elektrodama Ø4 mm . Iskovati kompletan sloj pneumatskim čekićem sa zaobljenim vrhom a zatim oblikovati navarene površine ručnim brušenjem ravnim brusilicama, uz korišćenje šablona R 80, sl.7.



Slika 7. Završna obrada prelaznog radijusa R80 uz kontrolu

Posle kontrole šablonom sa radijusom R80, navariti mesta na kojima nedostaje materijal. Završnu obradu prelaznog radijusa izvršiti brusnom pločom prečnika Ø160 mm . Brusilicu voditi po cilindričnom delu vratila.

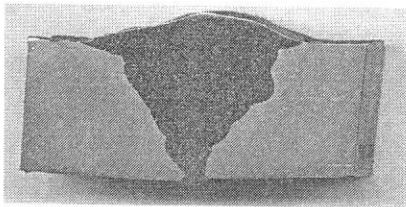
Nakon izvršenog reparaturnog zavarivanja turbinskog vratila potrebno je izvršiti ispitivanja zavarenih spojeva, metodama bez razaranja, na površinsku homogenost (vizuelno ispitivanje, ispitivanje penetrantima).

Zonu prelaznog radijusa polirati grubim i finim lepezastim šmirglama. Stepem veličine zrna odabrati prema zahtevima za mehaničku pripremu, pre nanošenja prvog osnovnog sloja AKZ (u slučaju da se ne vrši priprema površina peskarenjem).

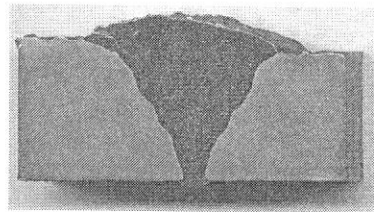
Zaštiti širu zonu prelaznog radijusa sa dva osnovna sloja AKZ na bazi epoksi smola napr. FEROPKOSOM. Po završetku reparaturnog zavarivanja prelaznog radijusa izvršiti popravku osnovnih slojeva AKZ, odmašćivanje i "aktiviranje", a zatim naneti dva pokrivna sloja na bazi epoksi katrana.

5. MAKROGRAFIJA ZAVARENIH SPOJEVA

Iz izveštaja o kvalifikacijama tehnologija zavarivanja, na sl.8 [3] i sl.9 [4] prikazani su makrografski snimci zavarenih spojeva urađenih elektrodama ΘA 395/9 i Castolin Xuper 2222.



Slika 8. Zavareni spoj, ΘA 395/9



Slika 9. Zavareni spoj, Castolin Xuper 2222

3. UMEŠTO ZAKLJUČKA

Reparaturno zavarivanje prelaznog radijusa vratila turbine završeno je novembra 2009.god., tako da se u ovom trenutku ne može proceniti integritet i vek trajanja vratila. To će biti moguće tek nakon određenog broja periodičnih ispitivanja, jer je činjenica da i posle izuzetnih tehničkih usavršavanja u zavarivanju, reparaturno zavarivanje ostaje nedovoljno proučena naučna i tehnološka oblast.

Za uspešne popravke ili korektivna održavanja, naprslih, pohabanih ili nepogodnih delova za neprekidan rad, primenom reparaturnog zavarivanja neophodno je raspolagati sveobuhvatnom bazom podataka. Važno je znati funkcionalne karakteristike opreme i delova, njihove radne zahteve, uslove eksploatacije tačnu veličinu i položaj greške, mesto gde treba izvršiti popravku i sa kojom se opremom raspolaže za reparaturno zavarivanje. Fotografije i skice su takođe dragocene u definisanje optimalnog postupka reparaturnog zavarivanja. Posebno je važno da se pohabano područje ili područje loma pažljivo analizira radi donošenja odluke o reparaturi.

LITERATURA

- [3] B. Vistić, M. Arsić, V. Aleksić: "Tehnologija izvođenja reparaturnih radova na prelaznom radijusu R 80 vratila turbine", TZ 421114-949-2D, Institut za ispitivanje materijala, Beograd, 2009.
- [4] Specifikacije tehnologije zavarivanja za sanaciju prslina na turbinskom vratilu pWPS, Br. 1 i 2, Institut za ispitivanje materijala, Beograd, 2009.
- [5] Izveštaji o kvalifikaciji tehnologije zavarivanja, Br. 421116-80406/1, Institut za ispitivanje materijala, Beograd, 2009.
- [1] Izveštaji o kvalifikaciji tehnologije zavarivanja, Br. 421116-80406/2, Institut za ispitivanje materijala, Beograd, 2009.