

REPARACIJA MAŠINSKIH DELOVA I KONSTRUKCIJA

Vežba: Tehnologija reparaturnog zavarivanja

Sanacija prslina na segmentima dijafragmi

Autori:

Dr Miloš Đukić, docent

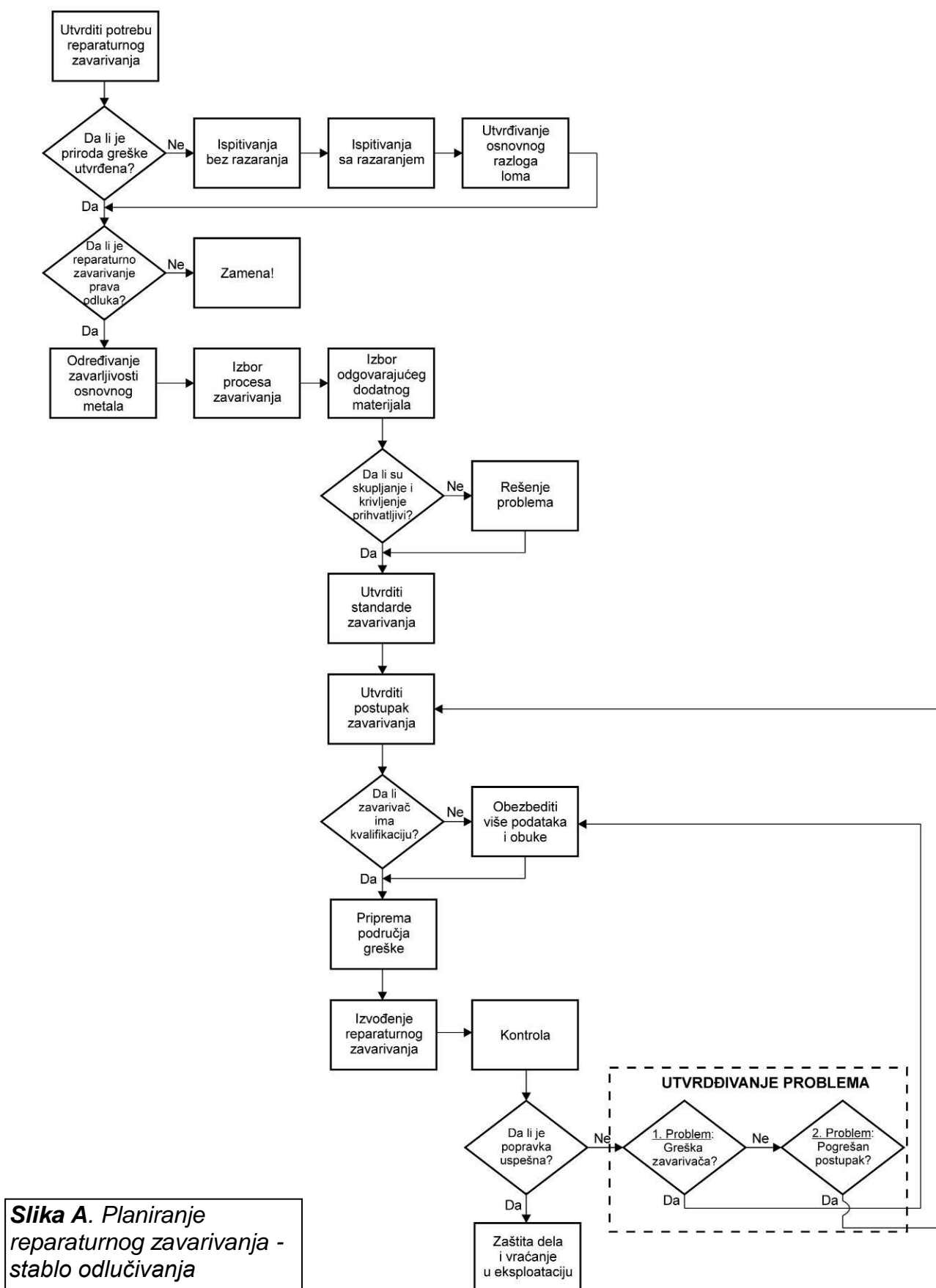
Dr Gordana Bakić, docent

Bratislav Rajčić, asistent

Za izradu vežbe korišćen je Izveštaj 12-12-12.04/2007., IC Mašinskog fakulteta

Beograd, 2015. god.

ALGORITAM ODLUKE O PRIMENI REPARATURNOG ZAVARIVANJA



PLANIRANJE REPARATURNOG ZAVARIVANJA

Tabela A. Sistematska lista provere pri planiranju reparaturnog zavarivanja

Analiza opreme ili komponente
<p>❖ Da li je oprema ili komponenta izrađena zavarivanjem?</p> <p>❖ Vrsta i mesto greške.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Vizuelni pregled; - Ispitivanja bez razaranja; - Ispitivanja sa razaranjem; <p>❖ Popravka greške i radni uslovi.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Treba li je popraviti? <ul style="list-style-type: none"> Vrsta i priroda greške; Istorija eksploatacije; - Treba li deo zameniti ili reparirati? <ul style="list-style-type: none"> Mogućnost ponovne pojave grešaka; Cena u poređenju sa zamenom; Konstruktivske prrsline; <p>❖ Koji je osnovni materijal?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Podaci o osnovnom materijalu; - Uputstva za rad i održavanje; - Podaci o termičkoj obradi osnovnog materijala; <p>❖ Da li je osnovni materijal zavarljiv?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Kada jeste? Kada nije? - Zavarivanje raznorodnih materijala; <p>❖ Deformacije - Krivljenje i skupljanje?</p> <ul style="list-style-type: none"> - Krutost konstrukcije; - Ometanje deformacije u procesu zavarivanja; <p>❖ Standardi i propisi;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Industrijski standardi; - Specifikacije naručioca; - Primenljivi propisi za zavarivanje; <p>❖ Priprema dela (sa greškom ili pohabanog dela) za reparat.zavarivanje;</p> <ul style="list-style-type: none"> - Da li je područje dostupno zavarivaču? - Metode skidanja materijala? - Čistoća i sigurnost radnog okruženja.

PROJEKтни ZADATAK

Izraditi tehnologiju zavarivanja za sanaciju prslina na dijafragmi 1D.

Prilikom izrade tehnologije zavarivanja koristiti odgovarajuće pravilnike i standarde koji definišu ovu oblast.

1. UVOD

Tehnologija zavarivanja za sanaciju prslina urađena je na osnovu Izveštaja "Programa ispitivanja i analize rezultata ispitivanja".

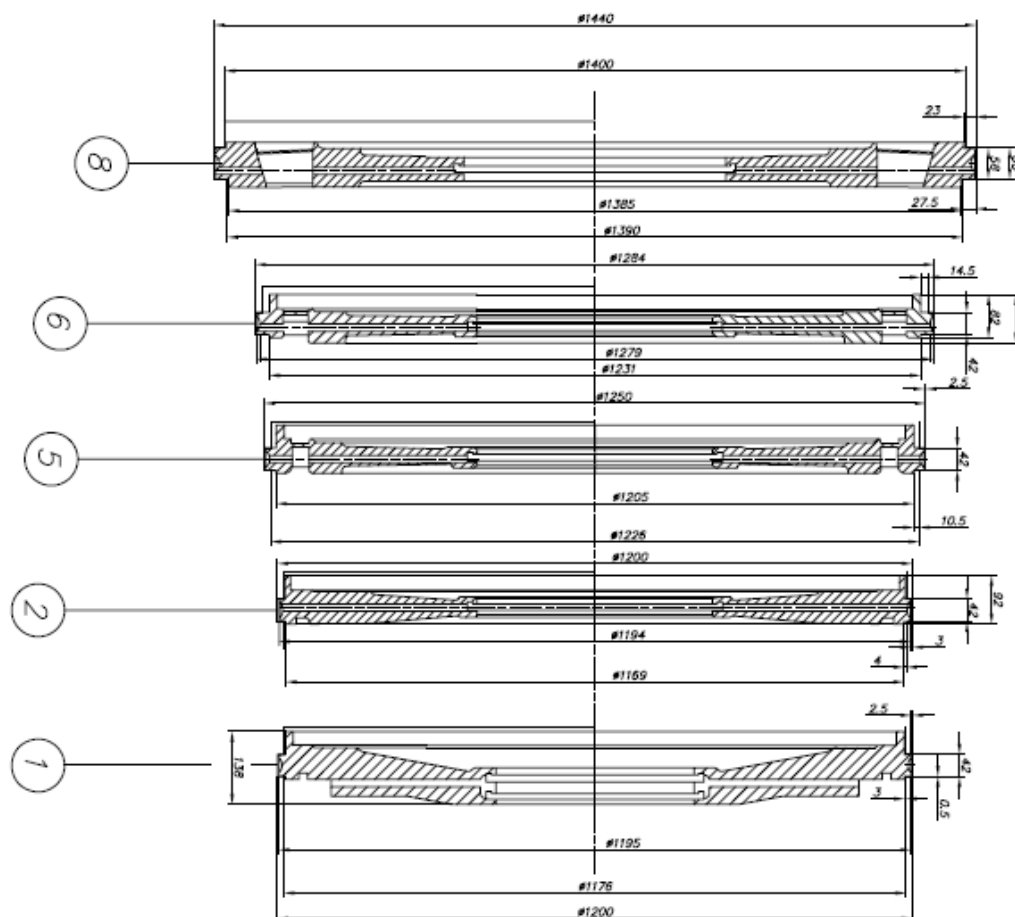
Postojanje prslina utvrđeno je metodam bez razaranja. Otkrivene prsline su locirane u Izveštaju. Dijafragma obeležena kao 1D je izradjena od čeličnog liva sa 0,56%C.

2. SANACIJA PRSLINA NA DIJAFRAGMI br.1D

Prsline locirane na dijafragmi br.1D date su u Izveštaju o ispitivanju 378.

Polazne osnove

Na dijafragmama turboduvaljke (nosači statoskih lopatica), su tokom redovnih ispitivanja konstatovana oštećenja tipa prslina, koja su zahtevala sanaciju, Slika 1.



Slika 1: Oštećene dijafragme turboduvaljke

Podaci koji su stavljeni na raspolaganje su bili sledeći:

- Turboduvaljka je ruske proizvodnje i u radu je provela 11 godina.
- Turbina turboduvaljke je snage 12MW, pritisak na ulazu u turbinu iznosi 35bar, a temperatura pare 430°C.
- Dijafragme br. 1-6 su izrađene od čeličnog liva, čiji je nepotpun hemijski sastav: čelični liv sa: 0,56%C, 0,65%Mn, 0,21%Cr i 0,067%Ni.
- Crteži pojedinačnih dijafragmi sa dimenzijama, Prilog A.

Svi ostali podaci (tehnička dokumentacija, sati rada, parametri rada, broj hladnih i toplih startova), prema podacima Naručioca posla, ne postoje.

Tokom redovnog remonta postrojenja, metodama ispitivanjima bez razaranja (magnetnim česticama i ultrazvukom) su nađena oštećenja tipa prslina, na dijafragmi 1D.

Program ispitivanja i analiza rezultata ispitivanja

- Ispitivanja dijafragmi metodama bez razaranja pre sanacije
- Analiza dobijenih rezultata i mišljenje o mogućnosti reparacije oštećenih dijafragmi

Program ispitivanja dijafragme obuhvatio je sledeće:

- **ispitivanje magnetnim česticama/tečnim penetrantima** svih lokacija na kojima su tokom remonta otkrivene nedozvoljene površinske indikacije (Izveštaj o defektaži Naručioca iz remonta). Potrebno je proceniti njihovu veličinu/dužinu i izvršiti makro snimanje;
- **merenje debljine dijafragme** na mestu oštećenja/indikacija (ukoliko to profil dijafragmi omogućava);
- **merenje tvrdoće** materijala dijafragmi (po tri merenja, u zoni oštećenja);
- **replikaciju mikrostrukture** na mestu oštećenja sa po jednom replikom; ukoliko je broj oštećenja na jednoj polovini dijafragme veći, broj replika će se na licu mesta prilagoditi nalazu koji je dobijen ispitivanjem magnetnim česticama.

Rezultati ispitivanja dijafragme (pre izvođenja sanacije; Izveštaj 378)

Rezultati ispitivanja magnetnim česticama. Na donjoj polovini dijafragme 1D **konstatovano je prisustvo dve površinske indikacije dužina ~5 mm** u zoni ivice žleba za lopatice, slika 2.



Slika 2. Dijafragma 1D – donja polovina, ulazna strana; Površinske indikacije tipa šupljina i prslina;

Rezultati mikrostrukturnih ispitivanja.

Sa donje polovine dijafragme 1D uzeta je jedna replika, čija je pozicija data na slici 2. Već pri nagrizanju mikrostrukture **uočeno je prisustvo ranije reparature**, pa je replika tako uzeta da obuhvati deo osnovnog materijala (OM) u neposrednoj okolini reparature, deo zone uticaja toplote (ZUT) i deo metal šava (MŠ) same reparature.

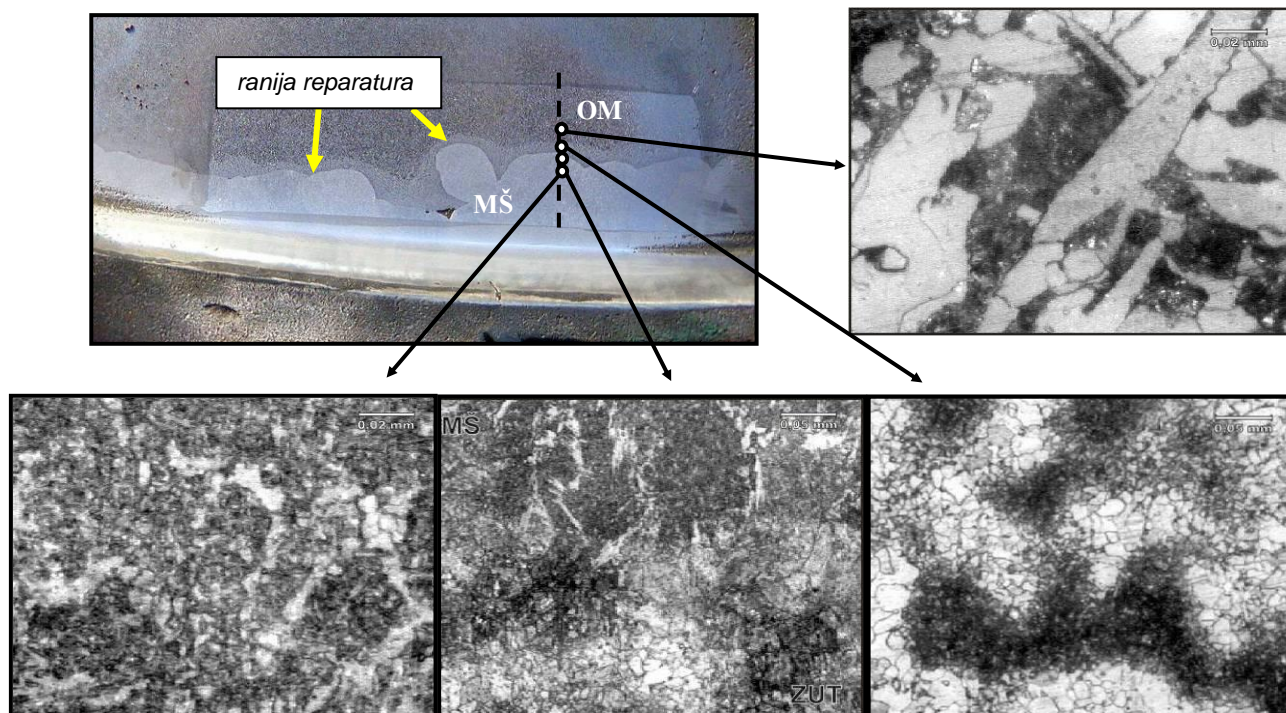
Metalografskom analizom replike na ispitivanoj poziciji nije konstatovano prisustvo mikroprrslina, kao ni ostataka indikacije koja je konstatovana prilikom ispitivanja magnetnim česticama, slika 3. Ovakav nalaz ukazuje na to da je na ovoj poziciji registrovana indikacija bila dosta plitka i da je očigledno uklonjena metalografskom pripremom površine (brušenjem i poliranjem) za uzimanje replika.

Rezultati merenja tvrdoće

Tvrdoća materijala dijafragmi je ispitivana na mestu uzimanja replika, a vrednosti su date u tabeli 1.

Tabela 1: Rezultati merenja tvrdoće (HB) dijafragme na mestu replike

Pozicija merenja	OM	MŠ
Br. merenja	Tvrdoća, HB	
I merenje	143	170
II merenje	140	165
III merenje	146	175



Slika 3. Mikrostrukture uočene na replici R1, na dijafragmi 1D (ranija reparatura)

Mišljenje:

Na osnovu rezultata ispitivanja dijafragme sa oštećenjima i analize tih rezultata, **zaključeno je da dijafragma 1D može da se reparira propisanom tehnologijom zavarivanja od strane ovlašćenog tehnologa za zavarivanje, kojom će biti stavljena u funkciju.**

3. IZBOR POSTUPKA ZAVARIVANJA

Pri izboru postupka zavarivanja vodilo se računa o sledećem:

- kvalitetu materijala (osnovnom materijalu)
- dimenzijama dijafragme na mestu sanacije
- operativnim mogućnostima izvršilaca (zavarivača)
- potrebnim merama koje treba preduzeti u cilju postizanja višeg kvaliteta zavarenog spoja (predgrevanje)
- kontroli radova u fazi pripreme i izvođenja zavarivanja
- zadatom kvalitetu zavarenog spoja

Analizom navedenih faktora za izvođenje reparaturnih radova treba primeniti postupak:

111 - elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom.

Izbor postupka

Za navarivanje se najviše koriste E, MIG i TIG postupci. Kada je potrebno naneti sloj na što veću površinu primenjuje se EPP ili eksplozivni postupak. Što se tiče oblika dodatnog materijala, za navarivanje se koriste žica, šipka, prah, elektroda ili traka, tabela 2.

Bitan parametar navarivanja je debljina nanetog sloja, koja je zajedno sa podacima o **brzini nanošenja materijala (kg/h)**, data u tabeli 2. Ovaj podatak je od koristi za:

- proračun potrebne količine dodatnog materijala,
- planiranje izvođenja procesa navarivanja i
- izračunavanje cene navarivanja.

Tabela 2: Karakteristike najčešćih postupaka navarivanja

POSTUPAK	Karakteristike postupka				
	debljina sloja (mm)	oblik materijala za nanošenje	primena uređaja na terenu	brzina nanošenja materijala (kg/h)	Stepen mešanja (%)
gasno	1 / 0,5÷3	žica (šipka) / prah	da	1 / 0,5	2÷20
E	1÷6	obložena ili punjena elektroda	raznovrsna	1÷7	20÷35
MIG / MAG	3	žica	da, prenosiv	1÷10	10÷35
TIG	2÷4	žica ili šipka	ne uvek	2	2÷20
plazma	1,5 / 3÷7	prah (PTA) ili žica (PHA)	ne uvek	prah 3,5 žica 35	3÷15 5÷70
Za velike debljine slojeva					
EPP	4	žica ili traka	ne	30	30÷50
eksplozivno	-	traka ili tabla	da	površina do 30 m ²	

Tabela 3: Karakteristike postupaka navarivanja

	Postupak	Način izvođ.*	Oblik legure za tvrdo navarivanje	Razblaž. osnove metalom	Brzina deponovanja [kg/h]	Min. debljina stapanja [mm]	Preporučene legure za navarivanje
1	Gasno	R R A	livene šipke, punjene šipke prašak veoma duge livene šipke, punjena žica	1÷10 1÷10 1÷10	0.45÷2.7 0.45÷6.8 0.45÷2.7	0.8 0.8 0.8	legure na bazi: Fe, Ni, Co; Kompozitne karbide W
2	E	R	obložene livene šipke, obložene punjene šipke	15÷25	0.45÷2.7	3.2	kao pod 1
3	MIG / MAG	½ A A	legurama punjene žice, legurama punjene žice	15÷25	2.27÷11.35 2.27÷11.35	3.2 3.2	na bazi Fe na bazi Fe
4	TIG	R A	livene šipke, punjene šipke punjene žice, duge livene šipke (300mm), karbid W u livenoj šipki ili punjenoj žici	10÷20 10÷20	0.45÷3.6 0.45÷3.6	2.4 2.4	kao pod 1
5	EPP	½ A A1 AV	gole punjene žice, gole punjene žice, gole punjene žice,	20÷60 30÷60 15÷25	4.5÷9 4.5÷11.3 11.3÷27	3.2 3.2 4.8	na bazi Fe na bazi Fe na bazi Fe
6	Plazma	A	prašak sa ili bez granula karbida W	5÷30	0.45÷6.8	0.8	kao pod 1

* / R-ručno; A-automatski; 1/2A-poluautomatski; A1-automatski, jedna žica; AV-automatski, više žica;

4. DODATNI MATERIJAL

Za postizanje kvaliteta zavarenog spoja, na osnovu OM i vrste zavarivanja odabira se za:
Elektrolučno ručno zavarivanje (111): - elektroda sa bazičnom oblogom

EVB 60 (Elektrode Jesenice)
FOX EV 63 (Böhler)
EL E83 B (Domaći proizvođač)
DIN: ESY 50 53 Mn B

Osobine elektrode EVB 60

Hemijski sastav čistog metala šava, %

C	Si	Mn	Mo
0.1	0.40	1.30	0,35

Mehaničke osobine čistog metala šava

Napon tečenja R _{eh} , (N/mm ²)	Zatezna čvrstoća R _m (N/mm ²)	Izduženje A ₅ , %	Žilavost -40°C, J
min 520	620-720	min 22	min 47 J

Elektrodu EVB 60 pre upotrebe obavezno sušiti na 400°C/1h, a zatim do upotrebe držati u prenosnom tobolcu na temperaturi ~200 °C. U toku jednog dana treba da bude osušeno elektroda koliko se može utrošiti. Neutrošenu količinu elektroda treba ponovo sušiti.

Izbor elektrode



EVb 60

Klasifikacija:

EN 499: E 50 2 Mo B 42
DIN 8529: EY 50 75 Mn1 MoB
AWS A-5.5: E 8018-G
ISO 2560:
JUS C.H3.011:

Osobine i primena:

Manganom i molibdenom legirana bazična elektroda za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika i čeličnih livova čvrstoće do 735 N/mm² i za zavarivanje sitnozrnih čelika sa naponom tečenja do 550 N/mm². Zavari su žilavi i pri niskim temperaturama.

Osnovni materijali:

Nelegirani čelici	DIN: St 44.2 do St 70.2	W.Nr.: 1.0035 do 1.0070
Sitnizirni čelici	StE 255 do StE 500	1.0461 do 1.8907
	WStE 255 do WStE 500	1.0462 do 1.8937
Kotlovski limovi	HI, HII, 17 Mn4, 19Mn5	1.0345, 1.0425, 1.0481, 1.0482
Čelici otporni na starenje	St 41, ASt 45, ASt 52	1.0426, 1.0436, 1.0577
Čelici za cevi	St 35 do St 52.4	1.0308 do 1.0581
Limovi za brodogradnju	A do E, AH 32 do EH 36	1.0440 do 1.0476
Čelični livovi	GS-38 do GS-60	1.0416 do 1.0553

Tip obloge:

bazični

Vrsta struje:

DC +

Položaji zavarivanja:



Sušenje pred upotrebom:
400°C / 1 h

Tipične osobine čistog metala šava:

Hemijski sastav, ut %:

C	Si	Mn	Mo
0.10	0.40	1.30	0.35

Sadržaj vodonika: < 5 ml na 100 gr metala šava

Mehaničke osobine:

Napon tečenja	R _{p0.2} :	> 520 N/mm ²
Zatezna čvrstoća	R _m :	620 – 720 N/mm ²
Izduženje	A ₅ :	> 22 %
Žilavost	A _v :	> 47 J (na - 40°C)

Osnovni podaci (dimenzije, jačina struje, pakovanje):

Parametri zavarivanja			Pakovanje		
φ	Dužina	Struja zavarivanja A	Težina kutije kg	Težina paketa kg	Težina 1000 elektroda kg *
mm	mm				
2.5	300	65 – 90	3.4	17	19.8
3.25	350	110 – 140	4	20	36.4
4	450	140 – 180	5.4	27	66.7
5	450	180 – 230	5.4	27	101.9
6	450	240 – 290	5.4	27	150

* podatak je približan

Odobrenja:

CR: 3YHH
ABS 3YHH
BV: 3,3YH
GL: 3YH15
LR: 3/3YH
DNV: 3Y40H15
RS: 3Y50H
SŽ
UDT
SZU
PRS: 4YH15

5. PREDGREVANJE

Sagledavanjem faktora kao što su:

- hemijski sastav čelika,
- debljina materijala,
- uslovi u kojima se vrši zavarivanje i
- način odvođenja toplote

ukazuje se potreba za predgrevanjem osnovnog materijala pre zavarivanja, u cilju sprečavanja nastanka pukotina u zoni zavarenog spoja. Predgrevanjem se snižavaju temperaturne razlike u zoni zavarivanja. Omogućavanjem sporijeg hlađenja (usporavanje odvođenja toplote iz zone zavarivanja) sprečavamo formiranje nepovoljnih struktura i pojavu prslina.

Osim toga, predgrevanjem se utiče na difuziju vodonika i ostalih gasova u zavarenom šavu i donekle, uz ostale primenjene mere, sprečava njegova poroznost.

Preporučena temperatura predgrevanja, sagledavanjem svih faktora, u ovom slučaju je:

$$T_p = 250-300^{\circ}\text{C}$$

Za predgrevanje koristiti električne grejače, čime će se postići ravnomerno zagrevanje, a temperatura će biti registovana pisačem. Za kontrolu temperature koristiti digitalni kontrolni termometar.

Na početku predgrevanja temperaturu kontrolisati sa suprotne strane, a dalje u zoni ~200 mm levo i desno od mesta zavarivanja.

Dijafragmu omotati izolacionim materijalom da bi se omogućilo usporenije hlađenje i zaštita zavarivača.

Po završenim zavarivačkim radovima nastaviti sa grejanjem na zadatu temperaturu jos 2h, i ostaviti u izolaciji da se lagano hladi do sobne temperature.

Temperatura predgrevanja

Kod ugljeničnih čelika sa sadržajem: min 0,25%C, min 0,4%Mn i min 0,3%Si zavarljivost se ocenjuje prema ekvivalentu ugljenika po obrazcu:

$$CE = C + \frac{Si}{4} + \frac{Mn}{4}$$

Ukoliko je materijal uslovno zavarljiv ($CE > 0,5\%$) neophodno je izvršiti predgrevanje. Temperatura predgrevanja se određuje iz izraza po Seferijanu:

$$T_p = 350\sqrt{(CE_u - 0,25)}$$

CE_u se određuje iz izraza:

$$CE_u = CE(1 + 0,005s)$$

gde je s (mm) – debljina osnovnog metala.

6. OBLIK I DIMENZIJE ŽLEBOVA

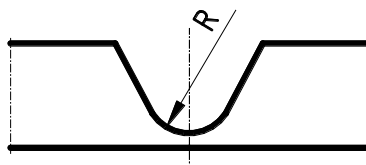
Formiranje žleba za zavarivanje podrazumeva pripremne aktivnosti.

Po podacima iz "Programa ispitivanja i analize rezultata ispitivanja" prsline su otkrivene metodom magnetnih čestica.

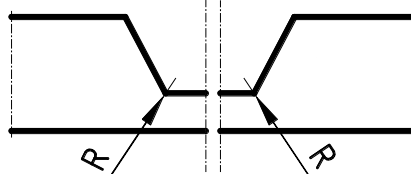
Zbog nemogućnosti primene ultrazvučne kontrole u cilju utvrđivanja dubina prslina, tek njihovim uklanjanjem je moguće utvrditi pravo stanje.

Prema tipu prslina potrebno je izvršiti pripremu žleba za zavarivanje:

- Linijske-pojedinačne - izžlebiti prema Slici a.



Slika a. Priprema žleba kada su prsline pojedinačne



Slika b. Priprema žleba kada su prsline grupisane

Pre pripreme žleba:

- Na svakom slobodnom kraju pojedinačnih prslina izvršiti "zabušivanje" burgijom prečnika 6, odnosno 8 mm.
- U slučaju prisustva grupisanih prslina izvršiti polaganje nekoliko zavara po obimu (nakon čišćenja površine), na udaljenosti od $\approx 20\text{mm}$ od krajnje tačke prsline.
- Prsline izžlebiti mehaničkim putem brzoreznom brusilicom, uz kontrolisan unos toplote.
- Na mesta na kojima je prethodno vršena sanacija, postojeći navar i njegov ZUT potpuno ukloniti, a kod više prslina obuhvatiti ih u jedan isti žleb.
- Pripremljena površina žleba za zavarivanje mora biti obrušena, glatka, čista, sa iskošenim stranama i zaobljenjem u korenu (min. $R=7\text{ mm}$).

Izvršiti kontrolu pripremljenih žlebova:

- vizuelnu kontrolu (VK) u obimu 100%
- kontrolu obojenim penetrantima (PK) u obimu 100%

Kontrolom obuhvatiti širu zonu (20-50 mm) oko žlebova pripremljenih za zavarivanje.

Pripremljeni žlebovi zadovoljavaju kriterijume prihvatljivosti samo ako se pregledom ustanovi da su postojeće prsline potpuno odstranjene.

Tada izvršiti merenje tvrdoće na pripremljenim površinama, počevši od najniže tačke u žlebu do šire zone ($\sim 5\text{ mm}$) oko žleba.

Ako je tvrdoća veća od dozvoljene, izvršiti ponovno brušenje do potpunog uklanjanja ZUT-a (na mestu već vršene sanacije). Opseg prihvatljivosti rezultata merenja tvrdoće će biti definisan tokom tog ispitivanja.

Rezultati ispitivanja u toku izvođenja sanacije (Izveštaj 378)

Ispitivanja metodama bez razaranja u toku i posle sanacije je izvršeno korišćenjem sledećih metoda ispitivanja bez razaranja:

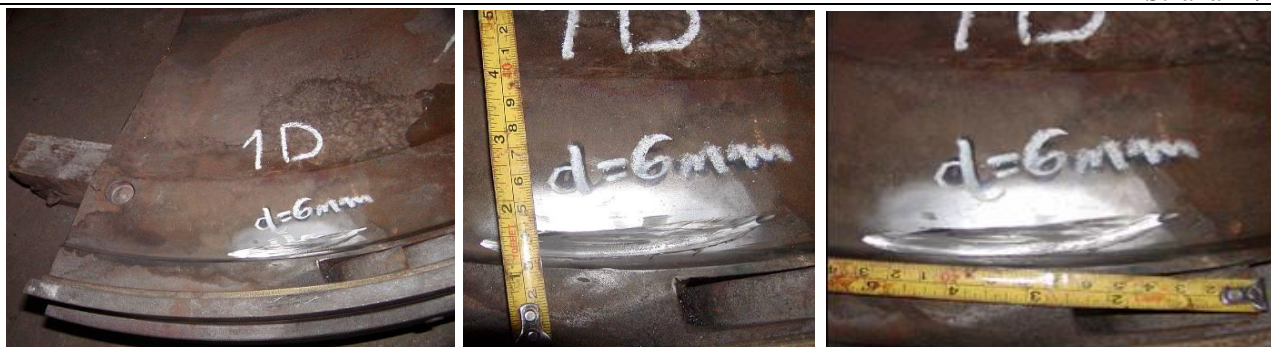
- Ispitivanje magnetskim česticama ili tečnim penetrantima,
- Metalografsko ispitivanje metodom uzimanja otisaka mikrostrukture – replika i
- Merenje tvrdoće materijala na mestima replika.

Obim ispitivanja je za samo izvođenje sanacije sadržan u propisanoj Tehnologiji zavarivanja i odnosio se na to da ispitivanja magnetnim česticama/tečnim penetrantima treba vršiti samo na mestima sanacije:

- u toku uklanjanja prslina brušenjem, odnosno
- nakon završenog žljebljenja.

		ISPITIVANJE MAGNETSKIM ČESTICAMA - IZVEŠTAJ - Magnetic Particle Test - Report				Izveštaj br. 46-1/07 Report No. MT-01 Strana br. 1 od 5 Sheet No. 1 of 5	
Zahtev br. Order No.	Usmeni	Objekat: Project:			Investitor: Client:		
Deo koji se ispituje: Component:		Praćenje uklanjanja prslina na pojedinim dijafragmama turbodualjke TD-3					
Specifikacija: Specification:	Spec. procesa: Process Spec.		Procedura ispitivanja: Examination Procedure:		SRPS ISO 4986		
Crtež br.: Drawing Nr.:	Materijal: Material:		Vreme eksploatacije: Time of exploitation:				
Vrsta zavarivanja: Welding Process:	Ispitivanje pre/posle termičke obrade Examination before/after heat treatment		Pozicija: Position:		Date u izveštaju		
USLOVI ISPITIVANJA MAGNETSKIM ČESTICAMA / Condition of Magnetic Particle Test							
Struja magnetizacije: Magnetization current:	Naizmenična	Uređaj: Examination equipment:	HELLING UM 220		Magnetizacija: Magnetization:	Elektromagnetni jaram	
Jačina polja: Field strength:		Jačina struje (A): Amperage:	> 2 kA		Rastojanje polova (mm): Pole distance (mm):	175 mm	
Priprema površine: Surface preparation:	Brušenjem	Sredstvo za ispitivanje: Exam. means:	MR 158 Chemie GmbH - Nemačka		Postupak: Method:	UV, mokri	
POZICIJE I REZULTATI ISPITIVANJA / Positions and results							
<p>Magnetskim česticama izvršeno je praćenje uklanjanja prslina na polovinama dijafragmi turbo dualjke TD-3 konstatovanih u Izveštaju 1 br. 46/07 MT-01.</p> <p>Prsline su uklanjane na sledećim polovinama dijafragmi:</p> <p>1. 1. dijafragma - donja polovina (1D);</p>							
Nalazi:							
<p>Sve konstatovane prsline su uklonjene, a karakteristični žljebovi nastali posle brušenja prikazani su na fotografijama datim u prilogu izveštaja.</p>							
Mesto i datum: Place, date:	Ispitao: Examiner:	Pregledao: Exam. Supervisor:	Investitor: Client:		Overio: Notarize:		
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div> Potpis: Signature: </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> <div> </div> </div>							

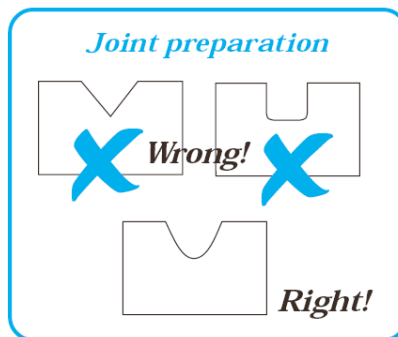
Obrazac RT.14-01 MT



Slika 4. Žleb na dijafragmi 1D

Izrada žleba:

- Ugao žleba treba da bude najmanje 30°
- Zaobljenje na dnu žleba treba da bude najmanje 1 mm veće od prečnika najveće izabrane elektrode
- U slučaju da se žlebljenje vrši na mestu već postojećeg zavarenog spoja, žlebljenje treba da se vrši do čistog metala.
- Reparaturno zavarivanje treba započeti odmah nakon izrade žleba da se ne bi nečistoće i vlaga dospele u žleb.



Slika 5. Neispravni i ispravan oblik žleba

7. STRUČNA OSPOSOBLJENOST ZAVARIVAČA

Zavarivač koji izvodi radove mora da poseduje uverenje o proveru stručne sposobnosti prema važećim zahtevima:

- SRPS EN 287-1
- Pre početka rada vrši se provera stručne osposobljenosti zavarivača za zavarivanje iste grupe kvaliteta materijala i debljine sa odgovarajućim dodatnim materijalom, a za one položaje i postupke koji se javljaju u konstrukciji.
- Provera se obavlja prema standardu SRPS EN 287-1.

8. PRIPREMA ZAVARIVANJA I IZVOĐENJE ZAVARIVANJA

Da bi se pristupilo zavarivanju neophodno je obezbediti potrebne uslove za početak izvođenja radova. Radove obavljati u radioničkim uslovima, uz obezbeđenje potrebnih pomoćnih sredstva za rad i zaštitu na radu.

Zavarivačke radove obustaviti ukoliko je temperatura okoline niža od + 5°C.

Površine koje se zavaruju očistiti od svih nečistoća (mazivo, ulje, rđa,...), čeonom brusilicom, u zoni ~ 50 mm kod pojedinačnih prslina sa obe strane žleba, a kod grupisanih prslina zonu koja će biti ovičena zavarom.

Izvođenje zavarivanja

Zavarivanje se vrši ručnim elektrolučnim postupkom (111) sa baznom oblogom elektrode pridržavajući se propisanih parametara.

Pri zavarivanju uspostavljanje električnog luka ne sme se izvršiti po površini osnovnog materijala izvan mesta zavarivanja, već na delu žleba koji će kasnije biti zavaren.

Pre polaganja drugog zavara, prvi treba očistiti od šljake zavarivačkim čekićem i pregledati vizuelno. Ako se uoče greške, iste odstraniti brušenjem.

Dolaskom na kraj zadate dužine zavara, pre ponovnog uspostavljanja električnog luka šljaku na zavaru očistiti zavarivačkim čekićem i zabrusiti brusilicom. Dva zavara moraju biti tako spojena da čine kontinuirani spoj. Njihovo preklapanje po dužini je ~1,5mm.

Prekidanje zavarivanja vršiti prelaženjem luka unazad.

Dužina električnog luka treba da je ~ 1,8 mm.

Polaganje zavara vršiti od sredine prema krajevima žleba, ako se zavaruje pojedinačna prslina (slika a)

Polaganje zavara u širokom zlebu (slika b) vršiti od jednog do drugog kraja žleba.

Zavarivanje započeti od najniže tacke u žlebu, elektrodom prečnika 2,5mm, ($I=65-90A$, struja jednosmerna, + pol).

Posle nanošenja prvog i drugog sloja zavarivanje nastaviti elektrodom prečnika 3,25mm, ($I=110-140A$, struja jednosmerna, + pol).

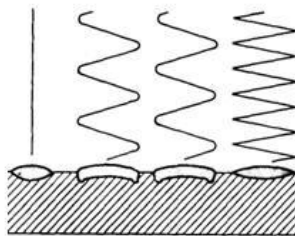
Zavarivanje žleba vrši se tehnikom „pola gusenice“.

Izbor parametara navarivanja

Osnovni kriterijum pri izboru parametara zavarivanja je njihov uticaj na stepen mešanja.

Na povećanje stepena mešanja utiču sledeći parametri:

- Povećanje jačine i/ili gustine struje
- Jednosmerna struja direktne polarnosti (sem kod TIG postupka!)
- Veći prečnik elektrode
- Smanjenje slobodne dužine žice (MIG/MAG)
- Manje preklapanje između zavara
- Manje njihanje elektrode (pravolinijsko zavarivanje daje max. stepen mešanja), slika 6



Slika 6. Uticaj njihanja na oblik navara

- Povećanje brzine navarivanja, (širina šava je obrnuto proporcionalna brzini navarivanja).
- Položaj zavarivanja (max. stepen mešanja kod vertikalnog nagore, zatim horizontalnog, horizontalnog nagore, i horizontalnog nadole).
- Zaštitni gas (max mešanje He; CO_2 , minimalno mešanja Ar); Prašak (mešanje je veće kod praška bez legirajućih elemenata)

Polaganje slojeva u šavu vrši se u pet faza:

Faza I.

Kosine žleba uključujući i rubne zone zavariti polaganjem **prvog sloja**, sa više zavara (kratki zavari), po celoj površini, elektrodom prečnika 2,5 mm. (prilog 2 i 3-sl.1)

Svaki naredni zavar polagati tako da preklopi prethodni do trećine širine.

Faza II

Približno polovina nanešenog sloja odstranjuje se brušenjem pre nanošenja sledećeg. Time se osigurava odžarivanje i na osnovnom materijalu (prilog 2 i 3 - sl.2)

Faza III

Nanošenje **drugog sloja** izvodi se elektrodom prečnika 2,5 mm. Drugi sloj nanosi se, takođe, po celoj površini, (prilog 2 i 3 - sl.3), što je povoljnije u pogledu zaostalih poprečnih napona i deformacija i daje potpunu sigurnost da je prethodni sloj odžaren.

Faza IV

Posle polaganja drugog sloja može se izvršiti **popunjavanje žleba** bez određenog redosleda. (prilog 2 i 3 - sl.4). Nanošenje pojedinih prolaza ispune izvodi se prema skici elektrodom prečnika 3,25 mm sve do preposlednjeg sloja koji mora biti nešto iznad linije osnovnog materijala, npr. 1 mm.

Faza V

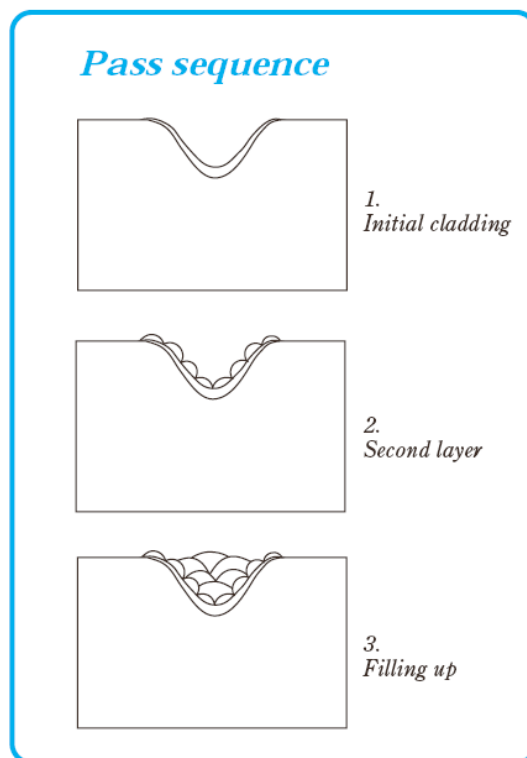
Poslednja faza sastoji se od **prolaza za odžarivanje**, odnosno otpuštanje (prilog 2 i 3 - sl.5). Zavarivanje izvesti bez prekida, a preklapanje mora biti u granicama 1-3 mm. Završni sloj potpuno prekriven, tako da je sada sa potpunom sigurnošću postignuto naponsko odžarivanje svih prethodnih prolaza.

Sloj za otpuštanje obrusiti (prilog 2 i 3 - sl.6).

Kontrolu izvršiti prema zahtevima iz tač.10.

Polaganje slojeva

- **Prvim slojem je potrebno prekriti kompletnu površinu žleba**
- **Prvi sloj se izvodi elektrodom manjeg prečnika** (prečnik je manji za oko 1 mm od prečnika elektrode za popunu; max 3,25 mm), Sl. 7 (1.-Initial cladding)
- **Drugi sloj se, takođe, nanosi elektrodom manjeg prečnika** da bi se smanjila širina zone uticaja toplote; uloga drugog sloja je da izvrši termičku obradu (otpuštanje) prvog sloja i ukloni eventualno prisustvo krtih faza u ZUT-u koji je napravio prvi prolaz, Sl. 7 (2.-Second layer)
- **Ostali prolazi (popuna) mogu da se izvode elektrodama većeg prečnika i sa većom jačinom struje** – njihova uloga je da što pre popune žleb
- **Čak i vrlo plitki žlebovi moraju da se popune u bar 2 prolaza**, pri čemu se brusi zadnji prolaz
- **Popuna se vrši sve dok se ne popuni žleb i napravi nadvišenje u zadnjem prolazu**, Sl. 7 (3.-Filling up); uloga zadnjeg prolaza je da termički obradi prethodni.
- Po završetku zavarivanja brušenjem se poravna lice šava.
- **Zavarivanjem kratkim šavovima kontroliše se unos toplote.**



Slika 7: Popunjavanje žleba

Deformacije tokom zavarivanja - Skupljanje i krivljenje

- Pitanje prevelike deformacije (skupljanje ili krivljenje) moraju da se analiziraju i reše pre početka zavarivanja.
- Skupljanje pri zavarivanju znači smanjenje zapremine kada rastopljeno kupatilo počne da očvršćava.
- Druge vrste skupljanja se javljaju u čvrstom stanju; iako su ovi uslovi neizbežni, oni mogu da se minimiziraju i u mnogo slučajeva da se međusobno poništavaju.
- Učvršćivanjem dela u stege i pripojno zavarivanje teže da smanje uticaj skupljanja.
- U nekim granicama povećanje broja prolaza metala šava u ručnom reparaturnom zavarivanju smanjiće deformacije spoja tokom zavarivanja, a time i skupljanje.
- Prvi prolaz u spoju drži delove u položaju da se smanji skupljanje pri narednim prolazima; međutim, ova ideja treba da se uravnoteži sa mogućim krivljenjem zbog povećanog broja prolaza.
- Zavarivanje u ravnom ili horizontalnom položaju, koje dopušta veću brzinu zavarivanja, teži da smanji skupljanje.
- Predgrevanje radi smanjenja temperaturnog gradijenta pri zagrevanju i hlađenju takođe smanjuje skupljanje.
- Krivljenje je stalno ili privremeno odstupanje od željenog oblika.
- Zavarivanje izaziva krivljenje zbog napona koji se javljaju u materijalu zbog lokalizovanog nesprečenog termičkog širenja i skupljanja; moguće je u izvesnim uslovima da ti naponi ostanu i u neiskrivljenom spoju.
- Da li će do krivljenja doći ili ne zavisi od veličine napona od zavarivanja, raspodele napona u spoju i čvrstoće delova izloženih tom naponu.
- Mogu biti tri tipa krivljenja, i to: ugaona distorzija (krivljenje), uzdužno povijanje i izvijanje.
 - o Ugaona distorzija je promena međusobnog položaja delova u zoni zavarivanja. Pet se mera može preduzeti da se smanji ugaona distorzija:
 1. **Koristiti minimalnu količinu metala šava za dobijanje željene čvrstoće spoja.**
 2. **Naneti metal šava u najmanjem mogućem broju prolaza.**
 3. Izbegavati profil spoja sa uskim korenem i širokim licem.
 4. Uravnotežiti količinu metala šava oko neutralne ose spoja.
 5. Postaviti delove pod uglom suprotnim od onog koji se očekuje pri zavarivanju.
 - o Uzdužna distorzija ili povijanje dugačkih elemenata je posledica napona skupljanja koji se razvijaju na nekom rastojanju od neutralne ose elementa. Kada je šav nejednake veličine mora biti postavljen na nejednakom rastojanju od neutralne ose, a šav koji se nalazi na većem rastojanju mora biti manje veličine. Povijanje elemenata u luk suprotan onom koji se očekuje pri zavarivanju je praktična mogućnost. Vruća strana postaje konačno kraća strana. Tehnika povratnog koraka može takođe pomoći smanjenju distorzije.
 - o Izvijanje. Metal u vidu traka se često izvija pri zavarivanju, dok se debele ploče ne izvijaju. Izvijanje je posledica nesposobnosti bočno nepoduprte trake metala da se suprotstavi naponu pritiska. Redosled nanošenja prolaza može smanjiti izvijanje održavanjem ovih napona minimalnim u području šava.

9. KONTROLA I ISPITIVANJE KOJI SE ODOSE NA ZAVARIVANJE

9.1 Kontrola i ispitivanje pre zavarivanja

Pre početka zavarivanja potrebno je proveriti sledeće:

- upotrebljivost i važnost uverenja o stručnoj osposobljenosti zavarivača (SRPS EN 287-1);
- upotrebljivost kvalifikacije tehnologije zavarivanja (SRPS EN 288-3);
- identitet osnovnog materijala;
- identitet potrošnih materijala i njihova priprema;
- priprema spojeva za zavarivanje (oblik, mere, ...);
- čišćenje i podešavanje radne površine;
- pogodnost radnih uslova za zavarivanje.

9.2. Međufazna kontrola

Svaki zavar posle polaganja kontrolisati:

- vizuelno u obimu 100%.

U slučaju otkrivenih grešaka, iste treba odstraniti brušenjem i ponovo izvršiti zavarivanje u potpunosti se pridržavajući propisane tehnologije.

9.3. Kontrola i ispitivanje u toku zavarivanja

U toku zavarivanja proverava se, u odgovarajućim intervalima, sledeće:

- osnovni parametri zavarivanja (struja, napon, brzina);
- čišćenje i oblik zvara i prolaza u metalu šava;
- vizuelna i propisana međufazna kontrola prolaza zvara;
- redosled zavarivanja;
- pravilna upotreba i rukovanje potrošnim materijalima.

9.4. Kontrola i ispitivanje posle zavarivanja

Posle zavarivanja (24h časa od hlađenja zavarenih spojeva do temperature okoline) izvršiti:

- vizuelnu kontrolu u obimu 100%
- penetrantsku kontrolu u obimu 100%
- po završetku predviđene mehaničke obrade šava, izvršiti kontrolu magnetnim česticama u obimu od 100%, obuhvatajući ZUT i okolnu zonu
- merenje tvrdoće u zoni sanacije (šav, ZUT, OM)

Obim i metode kontrole u svim fazama zavarivanja mogu biti proširene u skladu sa zahtevima nadležnog kontrolora i uz saglasnost investitora.

Rezultati ispitivanja reparaturnog zavarivanja (Izveštaj 399)


Obim ispitivanja nakon izvršene sanacije treba da obuhvati ispitivanja samo na mestima sanacije i to:

- Ispitivanje magnetnim česticama/tečnim penetrantima svih saniranih mesta
- Metalografsko ispitivanje metodom uzimanja replike na saniranim pozicijama tako da se obuhvati deo osnovnog metala (OM) neposredno uz sanaciju, deo zone uticaja toplote na saniranom mestu (ZUT) i deo metala šava (MŠ) sanacije.
- Ispitivanje tvrdoće treba izvršiti na mestu uzimanja replika i to po 5 merenja u zoni osnovnog materijala, ZUT-a i MŠ. Od dobijenih 5 merenja tvrdoće treba odbaciti najveću i najmanju vrednost i rezultat prikazati kao srednju vrednost 3 merenja.

Međutim, zbog konstatovanog kvaliteta materijala, na licu mesta je dogovoreno da se broj replika poveća, pa je tako uzeto – 2 replike sa dijafragme 1D.

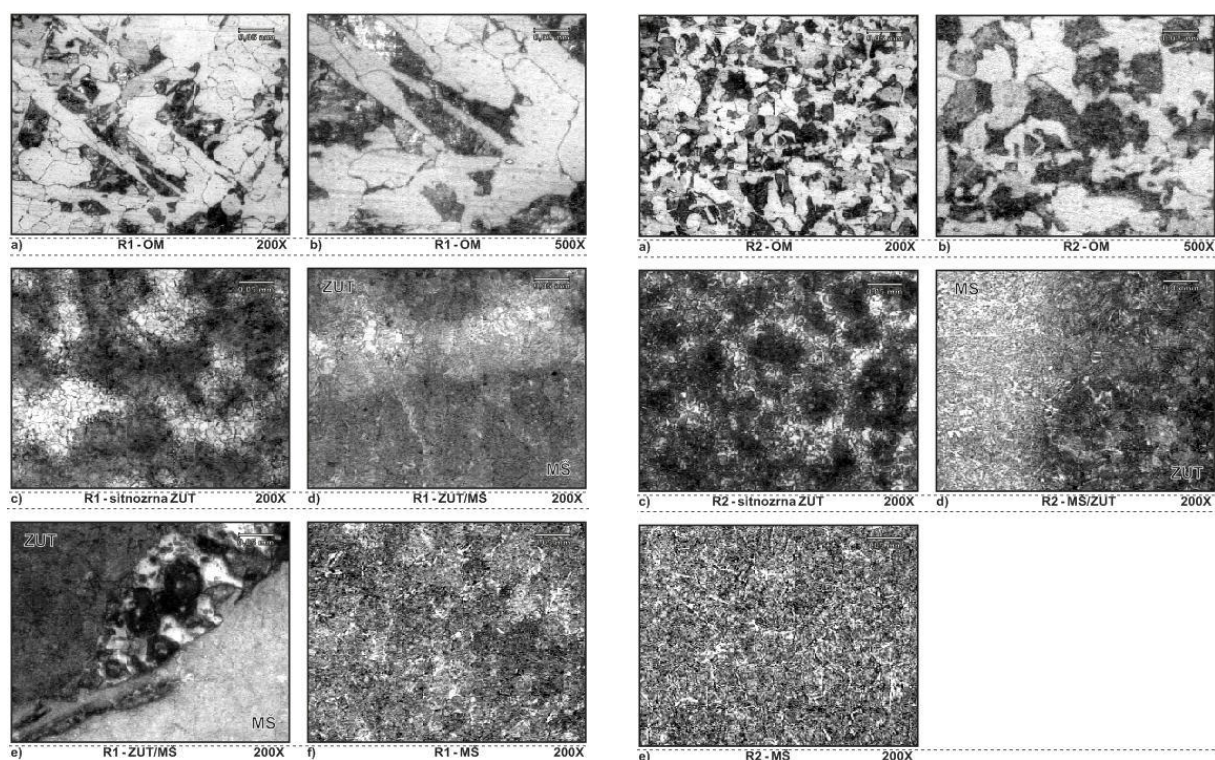


Slika 8. Dijafragma 1D nakon sanacije

		ISPITIVANJE MAGNETSKIM ČESTICAMA - IZVEŠTAJ - Magnetic Particle Test - Report		 Izveštaj br. 46-1/07 Report No. MT-02 Strana br. 1 od 1 Sheet No. 1 of 1	
Zahtev br. <i>Order No.</i>	Usmeni	Objekat: <i>Project:</i>	Investitor: <i>Client:</i>		
Deo koji se ispituje: <i>Component:</i> Ispitivanje zona saniranih zavarivanjem na pojedinim dijafragmama turboduvaljke TD-3					
Specifikacija: <i>Specification:</i>	Spec. procesa <i>Process Spec.</i>	Procedura ispitivanja: <i>Examination Procedure:</i> SRPS ISO 4986			
Crtež br.: <i>Drawing Nr.:</i>	Materijal <i>Material:</i>	Vreme eksploatacije: <i>Time of exploitation:</i>			
Vrsta zavarivanja: <i>Welding Process:</i>	Ispitivanje preposle termičke obrade <i>Examination before/after heat treatment</i>	Pozicija: <i>Position:</i> Date u izveštaju			
USLOVI ISPITIVANJA MAGNETSKIM ČESTICAMA / Condition of Magnetic Particle Test					
Struja magnetizacije: <i>Magnetization current:</i>	Naizmenična	Uređaj: <i>Examination equipment:</i> HELLING UM 220	Magnetizacija: <i>Magnetization:</i> Elektromagnetni jaram		
Jačina polja: <i>Field strength:</i>		Jačina struje (A): <i>Amperage:</i> > 2 kA	Rastojanje polova (mm): <i>Pole distance (mm):</i> 175 mm		
Priprema površine: <i>Surface preparation:</i>	Peskiranjem	Sredstvo za ispitivanje: <i>Exam. means:</i> MR 158 Chemie GmbH - Nemačka	Postupak: <i>Method:</i> UV, mokri		
POZICIJE I REZULTATI ISPITIVANJA / Positions and results					
<p>Magnetskim česticama izvršeno je ispitivanje zona saniranih zavarivanjem na pojedinim polovinama dijafragmi turbo duvaljke TD-3.</p> <p>Magnetskim česticama su ispitivane sanirane zone na sledećim polovinama dijafragmi:</p> <p>1. 1. dijafragma - donja polovina (1D);</p>					
Nalazi:					
<p>Na ispitivanim zonama dijafragmi saniranih zavarivanjem nije konstatovano prisustvo površinskih indikacija za registraciju.</p>					
Mesto i datum: <i>Place, date:</i>	Ispitao: <i>Examiner:</i>	Pregledao: <i>Exam. Supervisor:</i>	Investitor: <i>Client:</i>	Overio: <i>Notarize:</i>	
Potpis: <i>Signature:</i>					

Obrazac RT.1401 MT

Rezultati ispitivanja mikrostrukture metodom replika i njihova analiza



Slika 8. Mikrostrukture uočene na R1 i R2 na dijafragmi 1D

Sa dijafragme 1D posle sanacije uzete su dve metalografske replike (R1 i R2). Na poziciji replike R1 mikrostrukturno stanje osnovnog materijala je feritno-perlitno, relativno krupnog i nehomogenog metalnog zrna, slika 8. U ZUT i metal šavu na ovoj poziciji nije registrovano prisustvo mikrostrukturnih defekata koji bi bili od značaja. Na prelazu ZUT/MŠ uočen je jedan manji ostatak zarobljene troske (koja potiče od lošeg kvaliteta samog materijala), oko kojeg u ovom momentu **nije registrovano prisustvo mikroprslina ili drugih mikrostrukturnih defekata**. Na poziciji replike R2 mikrostrukturno stanje osnovnog materijala je takođe feritno-perlitno ali je metalno zrno i raspodela faza znatno homogenija nego na poziciji replike R1. U ZUT i MŠ **nije registrovano prisustvo mikrostrukturnih defekata koji bi bili od značaja**.

Rezultati merenja tvrdoće. Tvrdoća materijala dijafragmi je ispitivana na mestu uzimanja replika, a vrednosti date u tabeli 4 predstavljaju srednje vrednosti tri merenja tvrdoće.

Tabela 4: Rezultati merenja tvrdoće na mestima replika

Tvrdoća, HB		
dijafragma	1D	
replika	R1	R2
OM	146	141
	146	147
	143	146
NMS	245	224
	251	231
	249	230
SMS	170	175
	168	172
	171	173

*NMS - novi metal šava; SMS – stari metal šava

Komentar: Na osnovu prikazanih rezultata tvrdoće može da se konstatuje da su **tvrdoće novoobrazovanih spojeva dijafragmi izrađenih od čeličnog liva prihvatljive**.

10. POPRAVKA GREŠKE U ZAVARENOM SPOJU

Sve popravke moraju biti izvedene u skladu sa važećim standardima i propisanoj tehnologiji.

Posle popravke izvršiti kontrolu kao u 9.4.

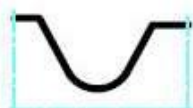
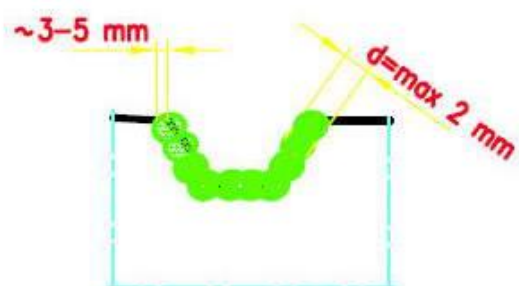
11. ZAPISI O KVALITETU

Zapisi o kvalitetu moraju da sadrže:

- izveštaj o ispitivanju koja su prethodila izvođenju popravke prslina
- atest osnovnog materijala;
- atest potrošnog materijala;
- specifikaciju tehnologije zavarivanja;
- uverenje o kvalifikaciji tehnologije zavarivanja;
- uverenje o stručnoj osposobljenosti zavarivača;
- uverenje o osposobljenosti kadrova za ispitivanje bez razaranja;
- zapis o kontroli mera;
- zapis o ispitivanju bez razaranja i sa razaranjem;
- zapis o popravkama i drugim nedostacima.

Izradio:

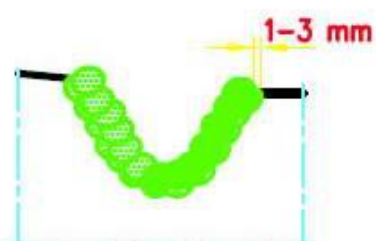
Petar Petrović, spec.zav.
Uverenje.br.xx/xx

PRILOG 2**Faza I**

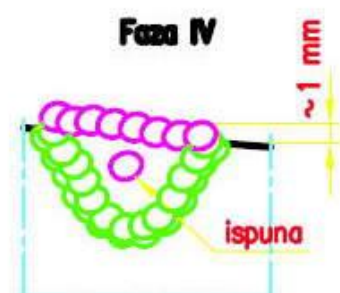
Slika 1

**Faza II**

Slika 2

Faza III

Slika 3

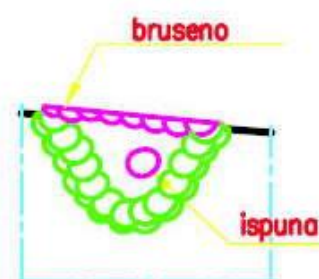
Faza IV

Slika 4

Faza V

Slika 5

- elektroda \varnothing 2.5 mm
- elektroda \varnothing 3.25 mm



Slika 6

PRILOG 3

