REPARACIJA MAŠINSKIH DELOVA I KONSTRUKCIJA

Lab.vežba: Tehnologija raparaturnog zavarivanja

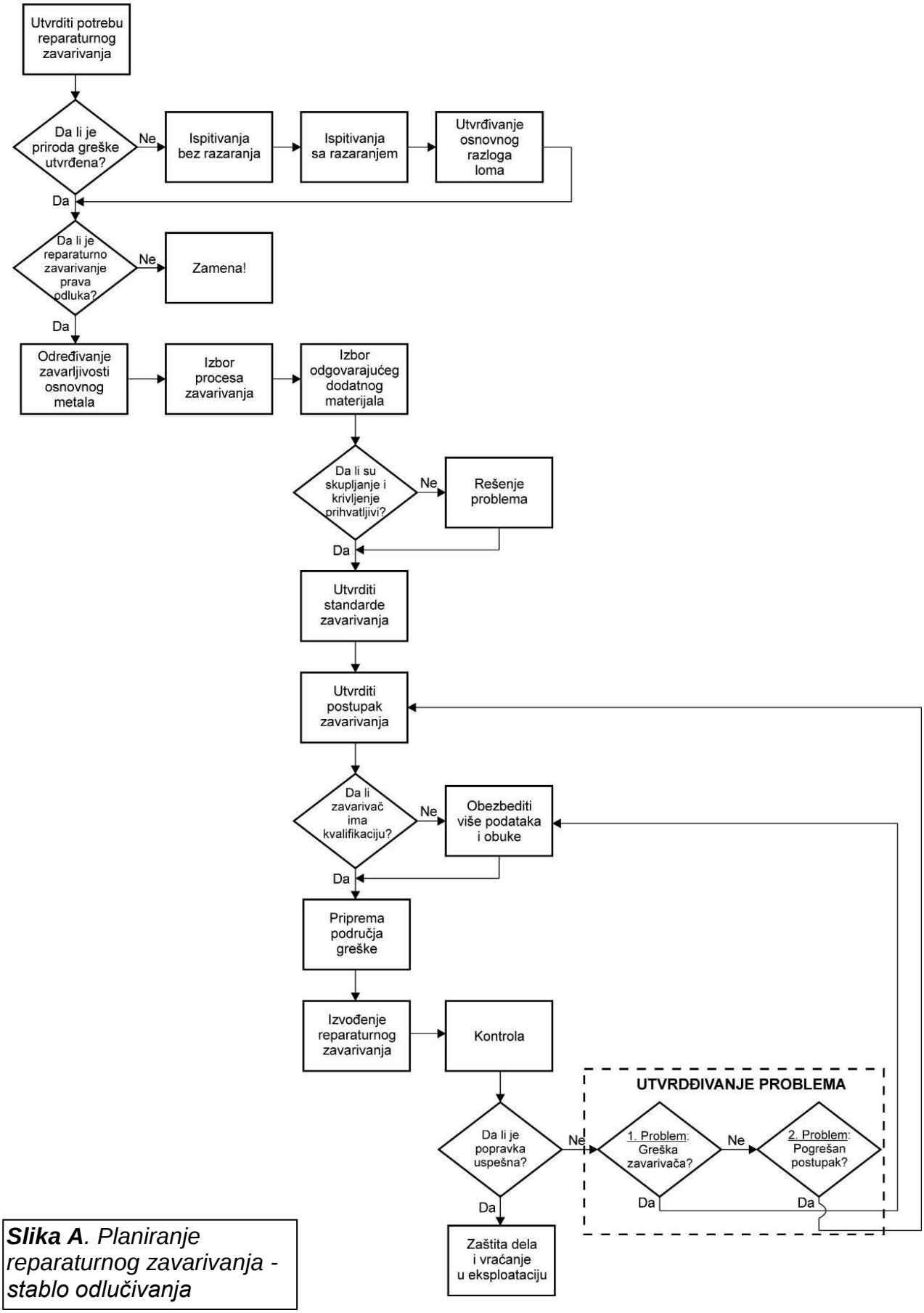
Sanacija prslina na segmentima dijafragmi

Autori:
Dr Miloš Đukić, van.prof.
Dr Gordana Bakić, van.prof.
Bratislav Rajičić, asistent

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

Beograd, 2019. god.

ALGORITAM ODLUKE O PRIMENI REPARATURNOG ZAVARIVANJA



***Slika A**. Planiranje reparaturnog zavarivanja - stablo odlučivanja*

PLANIRANJE REPARATURNOG ZAVARIVANJA

Tabela A. *Sistematska lista provere pri planiranju reparaturnog zavarivanja*

Analiza opreme ili komponente

❖ ***Da li je oprema ili komponenta izrađena zavarivanjem?***

❖ ***Vrsta i mesto greške.***
- Vizuelni pregled;
- Ispitivanja bez razaranja;
- Ispitivanja sa razaranjem;

❖ ***Popravka greške i radni uslovi.***
- Treba li je popraviti?
- Vrsta i priroda greške;
- Istorija eksploatacije;
- Treba li deo zameniti ili reparirati?
- Mogućnost ponovne pojave grešaka;
- Cena u poređenju sa zamenom;
- Konstrukcijske prsline;

❖ ***Koji je osnovni materijal?***
- Podaci o osnovnom materijalu;
- Uputstva za rad i održavanje;
- Podaci o termičkoj obradi osnovnog materijala;

❖ ***Da li je osnovni materijal zavarljiv?***
- Kada jeste a kada nije zavarljiv?
- Zavarivanje raznorodnih materijala;

❖ ***Deformacije - Krivljenje i skupljanje?***
- Krutost konstrukcije;
- Ometanje deformacije u procesu zavarivanja;

❖ ***Standardi i propisi;***
- Industrijski standardi;
- Specifikacije naručioca;
- Primenljivi propisi za zavarivanje;

❖ ***Priprema dela (sa greškom ili pohabanog dela) za reparat.zavarivanje;***
- Da li je područje dostupno zavarivaču?
- Metode skidanja materijala?
- Čistoća i sigurnost radnog okruženja.

PROJEKTNI ZADATAK

- Izraditi tehnologiju zavarivanja za sanaciju prslina na dijafragmi 1D.
- Prilikom izrade tehnologije zavarivanja koristiti odgovarajuće pravilnike i standarde koji definišu ovu oblast.

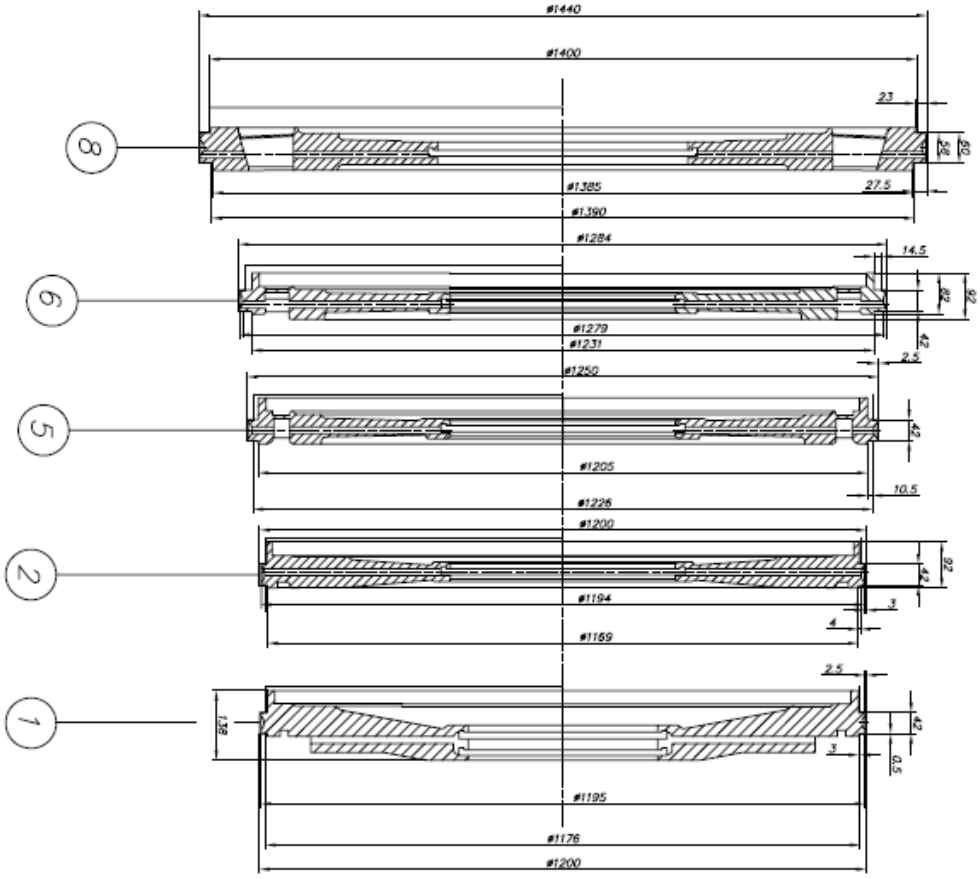
Napomena: Tekst označen ***plavom bojom*** predstavlja „komentare“ koji bliže opisuju predloženu tehnologiju reparaturnog zavarivanja.

1. UVOD

Tehnologija zavarivanja za sanaciju prslina urađena je na osnovu Izveštaja ″Programa ispitivanja i analize rezultata ispitivanja″.
Postojanje prslina utvrdjeno je metodama bez razaranja i iste su navedene u Izveštaju o ispitivanju.
Dijafragma obelezena 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 br.378“* (interni Izveštaj).
Komentari: POLAZNE OSNOVE
Na dijafragmama turboduvaljke (nosači statorskih lopatica), su tokom redovnih ispitivanja konstatovana oštećenja tipa prslina, koja su zahtevala sanaciju, Slika 1.



Slika 1: Oštećene dijafragme turboduvaljke

Podaci koji su bili na raspolaganju *su 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, nepotpunog hemijskog sastava: 0,56%C; 0,65%Mn; 0,21%Cr; 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.

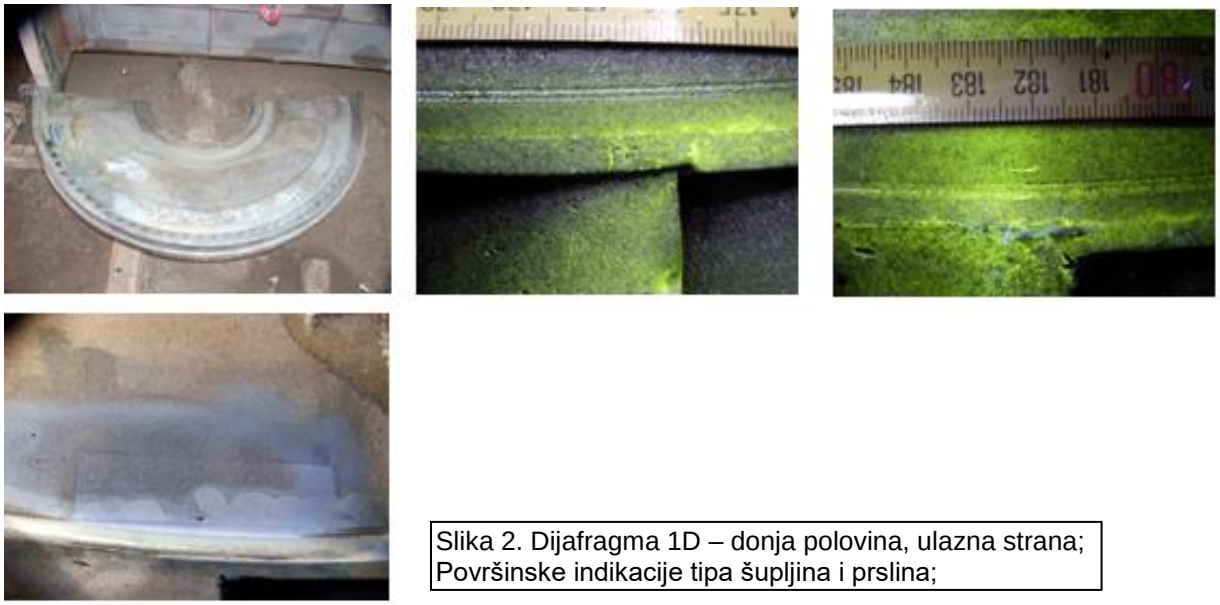
Tokom redovnog remonta postrojenja, metodama ispitivanjima bez razaranja (IBR) i to penetrantima (PT), magnetnim česticama (MT) i ultrazvukom (UT) na dijafragmi 1D su nađena oštećenja tipa prslina.

Program ispitivanja i analiza rezultata ispitivanja:
- Ispitivanja dijafragmi metodama IBR pre sanacije.
- Analiza dobijenih rezultata i mišljenje o mogućnosti reparacije oštećenih dijafragmi.

***Program ispitivanja dijafragme** obuhvatio je sledeće:*

- ***ispitivanje MT/PT** 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 MT:** Na donjoj polovini dijafragme 1D, u zoni ivice žleba za lopatice, **konstatovano je prisustvo dve površinske indikacije dužina ~5 mm**, slika 2.*



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

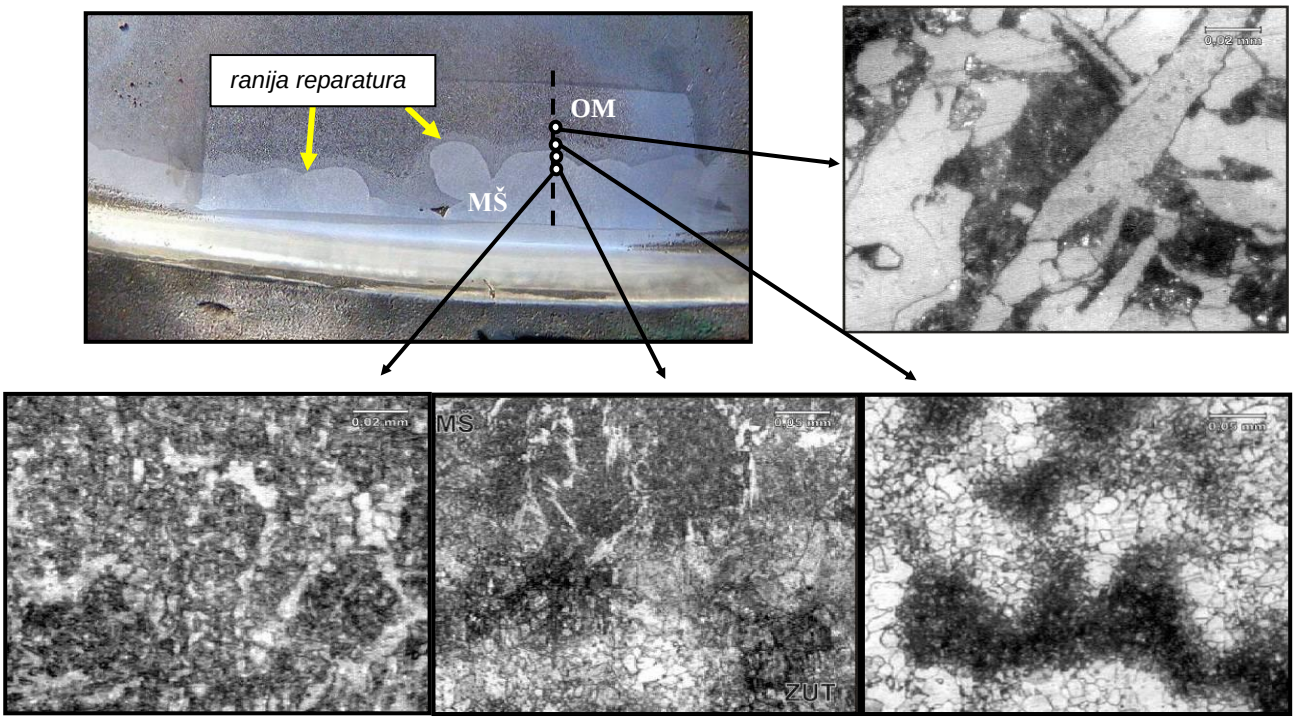
Rezultati mikrostrukturnih ispitivanja
*Sa donje polovine dijafragme 1D uzeta je jedna replika, čija je pozicija data na slici 2. Već pri nagrizanju mikrostrukture **uočeno je prisustvo ranije reparature**, pa je replika tako uzeta da obuhvati deo osnovnog materijala (OM) u neposrednoj okolini reparature,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

Metalografskom analizom replike na ispitivanoj poziciji nije konstatovano prisustvo mikroprslina, 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 izvodjenja zavarivanja,
- zadatom kvalitetu zavarenog spoja.

Analizom navedenih faktora za izvodjenje reparaturnih radova treba primeniti postupak:

111 - elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom.

Komentari: 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 odgovarajućeg kvaliteta zavarenog spoja, na osnovu OM i vrste zavarivanja, bira se:
Ručno Elektrolučno Zavarivanje (111): - elektroda sa bazičnom oblogom:

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

Osobine elektrode EVB 60 (Elektrode Jesenice)

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^{o}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.

Komentari: IZBOR ELEKTRODE

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:	

EVB 60

Osobine i primena:

Manganom i molibdenom legirana bazična elektroda za zavarivanje nelegiranih i niskolegiranih čelika i čeličnih livova čvrstoće do 735 N/mm^2 i za zavarivanje sitnozrnih čelika sa naponom tečenja do 550 N/mm^2. Zavari su žilavi i pri niskim temperaturama.

Osnovni materijali:

	DIN:	W.Nr.:
Nelegirani čelici	St 44.2 do St 70.2	1.0035 do1.0070
Sitnizrni čelici	StE 255 doStE 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 upotrebu:
400°C / 1h

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)

Odobrenja:

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

Osnovni podaci (dimenzije, jačina struje, pakovanje):

Parametri zavarivanja			Pakovanje		
ϕ mm	Dužina mm	Struja zavarivanja A	Težina kutije kg	Težina paketa kg	Težina 1000 elektroda kg *
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

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.

Sagledavanjem svih faktora, preporučena temperatura predgrevanja u ovom slučaju je:

T_p=250-300°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.

Komentari: 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.

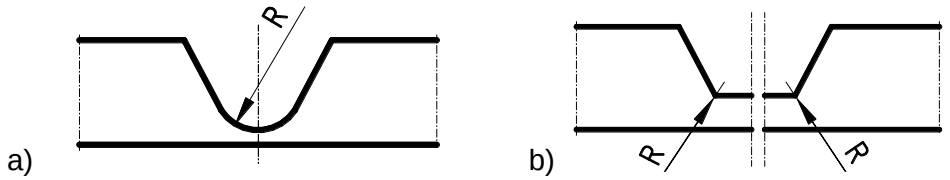
6. OBLIK I DIMENZIJE ŽLEBOVA

Formiranje žleba za zavarivanje podrazumeva pripremne aktivnosti.

Po podacima iz ″Programa ispitivanja i analize rezultata ispitivanja″ prsline su otkrivene IBR metodom MT (magnetne čestice).

Zbog nemogućnosti primene UT (ultrazvučne kontrole) u cilju utvrdjivanja dubina prslina, tek njihovim uklanjanjem je moguće utvrditi pravo stanje.

Prema tipu prslina, pojedinačne ili grupisane, potrebno je izvršiti pripremu žleba za zavarivanje kao što je prikazano na slikama 4a i 4b.



Slika 4. Priprema žleba kada su: a) prsline pojedinačne, b) 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 čišcenja površine), na udaljenosti od ≈ 20mm 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 mm).

Izvršiti kontrolu pripremljenih žlebova:

- vizuelnu kontrolu (VT) u obimu 100%,
- kontrolu obojenim penetrantima (PT) 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 (~5 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.

Komentari: REZULTATI ISPITIVANJA U TOKU IZVOĐENJA SANACIJE (IZVEŠTAJ 378)

Ispitivanja IBR metodama u toku i posle sanacije je izvršeno korišćenjem sledećih metoda:

- *Ispitivanje MT (magnetnim česticama) ili PT (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 MT/PT 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. / *Report No.*: 46-1/07 MT-01 Strana br. 1 od 5 / *Sheet No. 1 of 5*
Zahtev br. / *Order No.*: **Usmeni**	**Objekat**: *Project:*	**Investit** / *Client:*	
Deo koji se ispituje: / *Component:*	**Praćenje uklanjanja prslina na pojedinim dijafragmama turboduvaljke 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 exploatation:*	
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*			

Magnetskim česticama izvršeno je praćanje uklanjanja prslina na polovinama dijafragmi turbo duvaljke TD-3 konstatovanih u Izveštaju l ı br. 46/07 MT-01.

Prsline su uklanjane na sledećim polovinama dijafragmi:

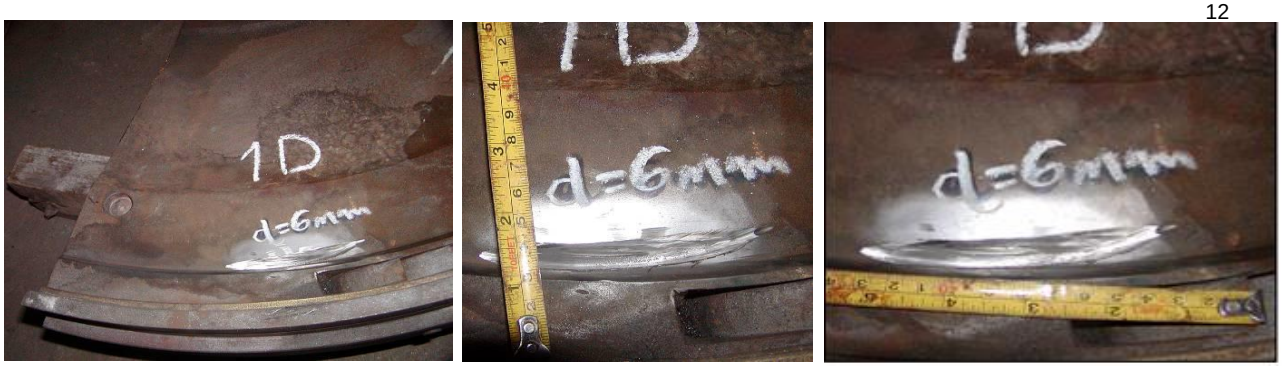
1. 1. dijafragma - donja polovina **(1D)**;

Nalazi:

Sve konstatovane prsline su uklonjene, a karakteristični žljebovi nastali posle brušenja prikazani su na fotografijama datim u prilogu izveštaja.

Mesto i datum: / *Place, date:*	**Ispitao:** / *Examiner:*	**Pregledao:** / *Exam. Supervisor:*	**Investitor:** / *Client:*	**Overio:** / *Notarize:*
Potpis: / *Signature:*				

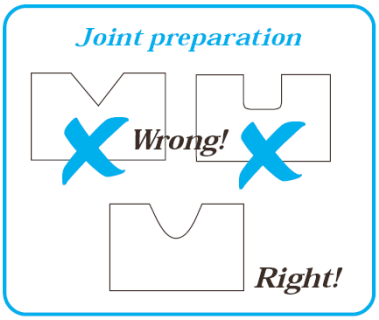
Obrazac RT.14-01 MT



Slika 4. Žljeb na dijafragmi 1D

Izrada žljeba:

- *Ugao žleba treba da bude najmanje 30^{o}.*
- *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 ne bi nečistoće i vlaga dospele u žleb.*



Slika 5. Neispravan i ispravan oblik žleba

7. STRUČNA OSPOSOBLJENOST ZAVARIVAČA

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

- SRPS EN ISO 9606-1:2017
- 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 kostrukciji.
- Provera se obavlja prema standardu SRPS EN ISO 9606-1:2017.

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^{0}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 oivičena 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 4a).

Polaganje zavara u širokom zlebu (zavarivanje grupisanih prslina, slika 4b) 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).

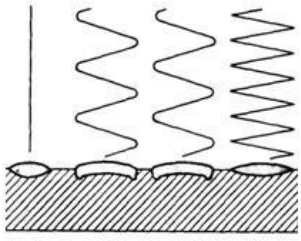
Zavarivanje žleba vrši se tehnikom „pola gusenice“.

Komentari: IZBOR PARAMETARA ZAVARIVANJA

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

Na povećanje stepena mešanje 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, slika 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 na osnovnom materijalu (Prilog 2 i 3, slika 2).

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

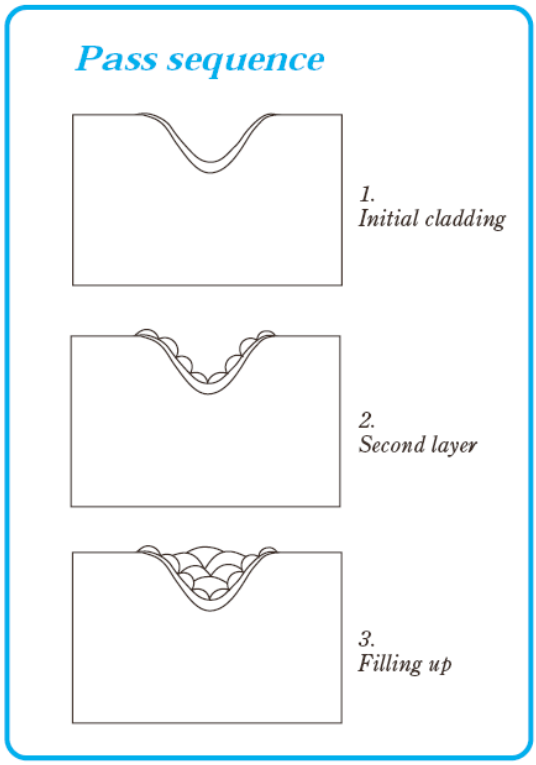
Faza IV
Posle polaganja drugog sloja može se izvršiti **popunjavanje žleba** bez određenog redosleda. (Prilog 2 i 3, slika 4). Nanošenje pojedinih prolaza ispune izvodi se prema skici elektrodom prečnika 3,25 mm sve do pretposlednjeg sloja koji mora biti nešto iznad linije osnovnog materijala (~1 mm).

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

Sloj za otpuštanje obrusiti (Prilog 2 i 3, slika 6).

Kontrolu izvršiti prema zahtevima iz tačke 10 predmetne tehnologije zavarivanja.

Komentari: 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

Komentari: 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 ponište.*
- *Učvršćivanjem dela u stege i pripojno zavarivanje teži da smanji 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.*
- *Postoje tri tipa krivljenja, i to: ugaona distorzija (krivljenje), uzdužno povijanje i izvijanje.*
  - *Ugaona distorzija je promena međusobnog položaja delova u zoni zavarivanja. S tim u vezi mogu se preduzeti 5 (pet) mera da bi se smanjila ugaona distorzija:*
    1. ***Koristiti minimalnu količinu metala šava za dobijanje željene čvrstoće spoja.***
    2. ***Naneti metal šav u najmanjem mogućem broju prolaza.***
    3. *Izbegavati profil spoja sa uskim korenom 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.*
  - *Uzdužna distrozija 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 neejednakom 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 distrozije.*
  - *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 ODNOSE 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 ISO 9606-1:2017);
- upotrebljivost kvalifikacije tehnologije zavarivanja (SRPS EN ISO 15614-1:2017);
- 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 je potrebno kontrolisati:
- VT 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 zavara i prolaza u metalu šava;
- vizuelna i propisana međufazna kontrola prolaza zavara;
- 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:
- VT u obimu 100%,
- PT u obimu 100%,
- po završetku predviđene mehaničke obrade šava, izvršiti kontrolu MT 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.

Komentari: REZULTATI ISPITIVANJA REPARATURNOG ZAVARIVANJA (IZVEŠTAJ 399)

Obim ispitivanja nakon izvršene sanacije treba da obuhvati ispitivanja samo na mestima sanacije i to:
- Ispitivanje MT/PT svih saniranih mesta.
- Metalografsko ispitivanje metodom uzimanja replike na saniranim pozicijama tako da se obuhvati deo OM-a neposredno uz sanaciju, deo ZUT-a na saniranom mestu i deo MŠ-a sanacije.
- Ispitivanje tvrdoće treba izvršiti na mestu uzimanja replika i to po 5 merenja u zoni OM-a, 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 su tako uzete 2 replike sa dijafragme 1D.

Slika 8. Dijafragma 1D nakon sanacije

	ISPITIVANJE MAGNETSKIM ČESTICAMA - IZVEŠTAJ - *Magnetic Particle Test - Report*	JUAT	**Izveštaj br.** *Report No.* 46-1/07 MT-02; **Strana br.** 1 od 1 *Sheet No.* 1 of 1
Zahtev br. *Order No.* Usmeni	**Objekat:** *Project:*		**Investitu** *Client:*
Deo koji se ispituje: *Component:*	**Ispitivanje zona saniranih zavarivanjem na pojedinim dijafragmama turboduvaljke 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 exploatation:*
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:* Peskiranjem	**Sredstvo za ispitivanje:** *Exam. means:* MR 158 Chemie GmbH - Nemačka		**Postupak:** *Method:* UV, mokri
POZICIJE I REZULTATI ISPITIVANJA / *Positions and results*			

Magnetskim česticama izvršeno je ispitivanje zona saniranih zavarivanjem na pojedinim polovinama dijafragmi turbo duvaljke TD-3.

Magnetskim česticama su ispitivane sanirane zone na sledećim polovinama dijafragmi:

1. 1. dijafragma - donja polovina **(1D)**;

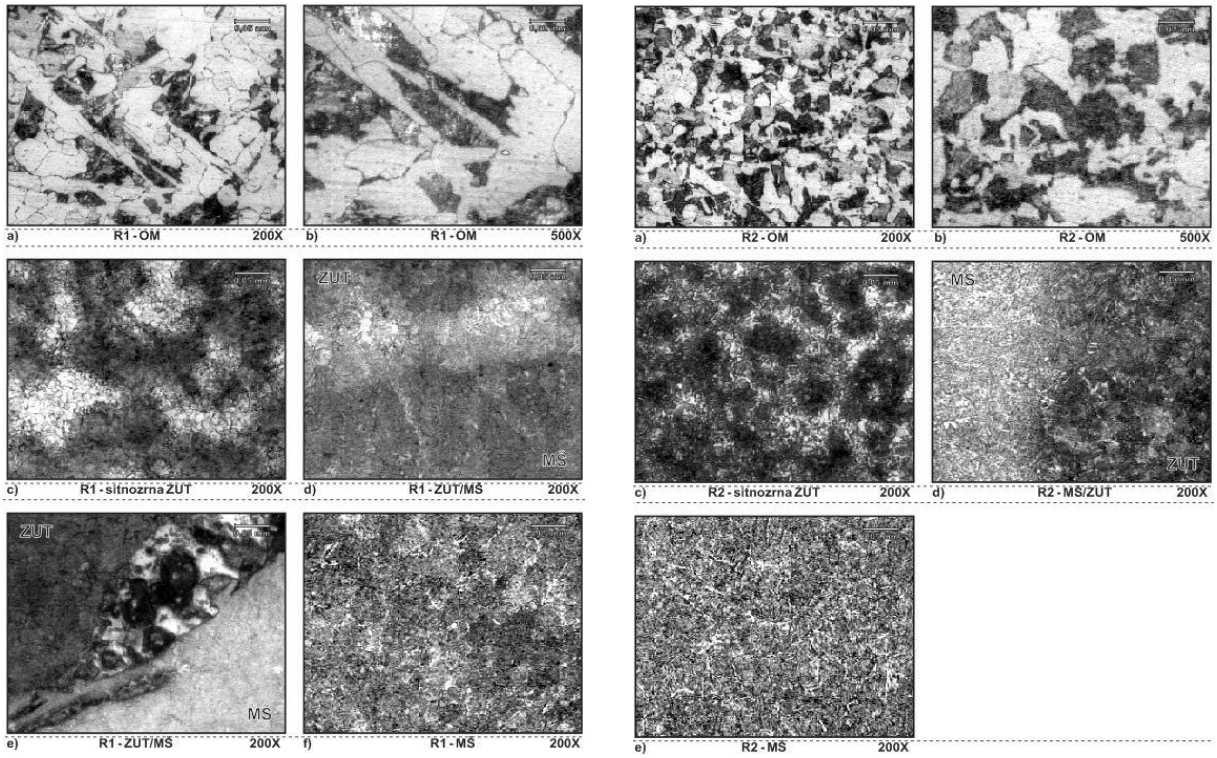
Nalazi:

Na ispitivanim zonama dijafragmi saniranih zavarivanjem nije konstatovano prisustvo površinskih indikacija za registraciju.

Mesto i datum: *Place, date:*	**Ispitao:** *Examiner:*	**Pregledao:** *Exam. Supervisor:*	**Investitor:** *Client:*	**Overio:** *Notanze:*
Potpis: *Signature:*				

Obrazac RT.14-01 MT

Komentari: REZULTATI ISPITIVANJA MIKROSTRUKTURE METODOM REPLIKA i NJIHOVA ANALIZA



Slika 9. Mikrostrukture uočene na R1 i R2 na dijafragmi 1D

Sa dijafragme 1D posle sanacije, Slika 8, 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 9. U ZUT i MŠ 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* *146* *143*	*141* *147* *146*
NMŠ	*245* *251* *249*	*224* *231* *230*
SMŠ	*170* *168* *171*	*175* *172* *173*

**NMŠ - novi metal šava; SMŠ – 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 prema propisanoj tehnologiji.

Posle popravke izvršiti kontrolu kao u tački 9.4 predmetne tehnologije zavarivanja.

11. ZAPISI O KVALITETU

Zapisi o kvalitetu moraju da sadrže:

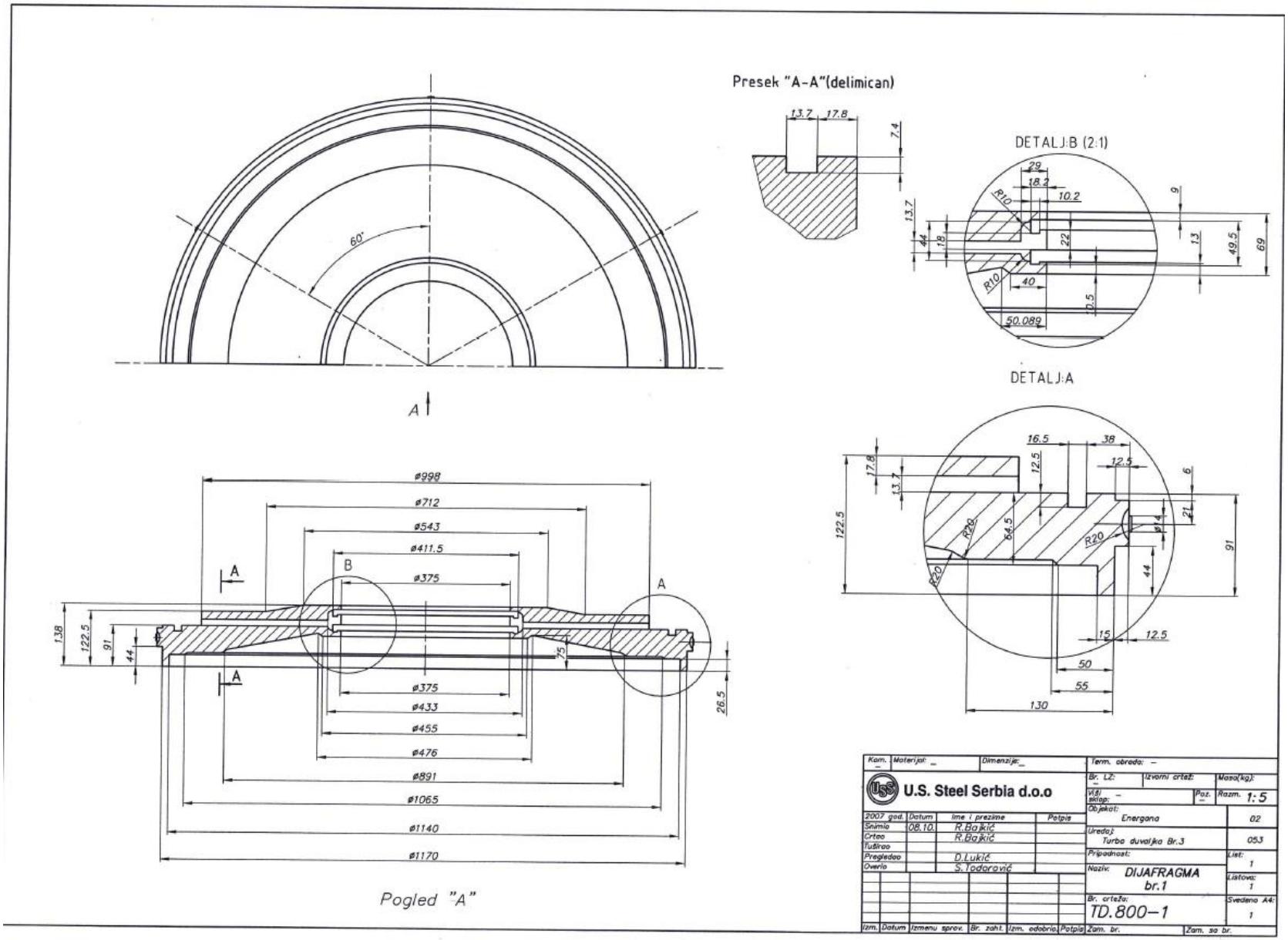
- izveštaje o ispitivanju koja su prethodila izvođenju popravke prslina;
- atest osnovnog materijala;
- atest potrošnog materijala;
- specifikaciju tehnologije zavarivanja;
- uverenje o kvalifikaciji tehnologije zavarivanja;
- uverenje o stručnoj osposobljenosti zavarivača;
- uverenje o osposobljenosti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

Izradio:

_____

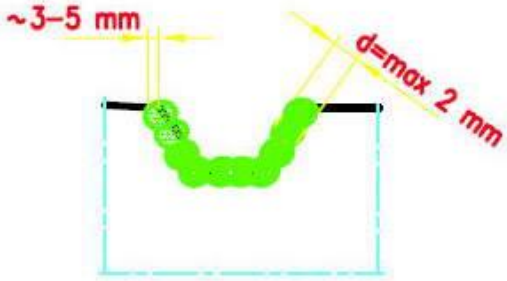
Petar Petrović, spec.zav.
Uverenje.br.xx/xx

Prilog 1


Presek "A-A"(delimican)
DETALJ:B (2:1)
DETALJ:A
60°
A
B
ø998
ø712
ø543
ø411.5
ø375
ø433
ø455
ø476
ø891
ø1065
ø1140
ø1170
Pogled "A"
U.S. Steel Serbia d.o.o
DIJAFRAGMA br.1
TD.800–1
Energana
Turbo duvaljka Br.3
1:5

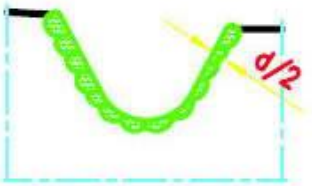
PRILOG 2

Faza I



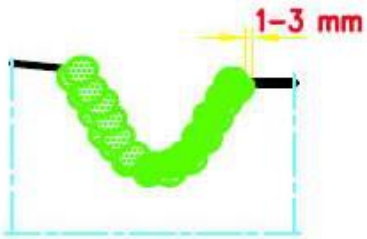
Slika 1

Faza II



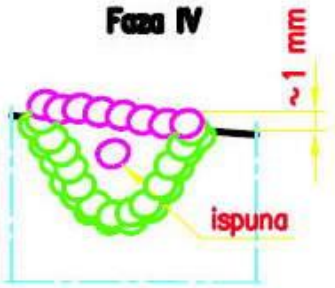
Slika 2

Faza III



Slika 3

Faza IV



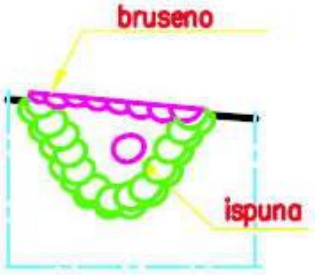
Slika 4

elektroda ø 2.5 mm

elektroda ø 3.25 mm

Faza V

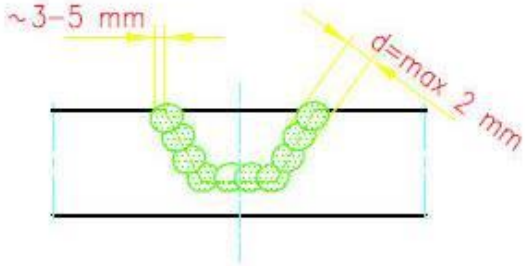
Slika 5



Slika 6

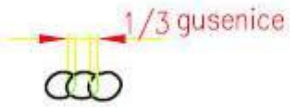
PRILOG 3

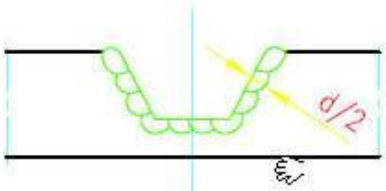
Faza I



Slika 1

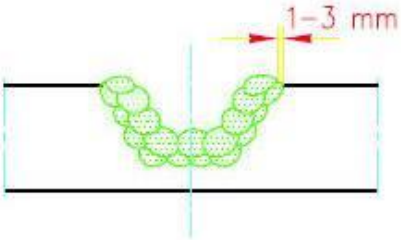
Faza II





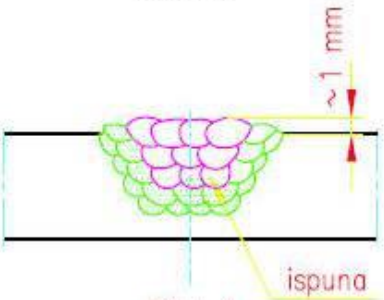
Slika 2

Faza III

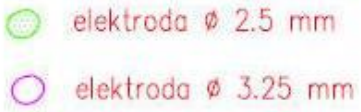


Slika 3

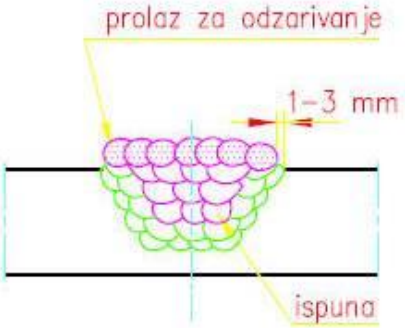
Faza IV



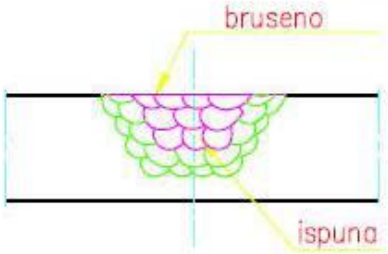
Slika 4



Faza V



Slika 5



Slika 6