

## UTJECAJ IZBORA TIPA PRIPREME SPOJA NA UKUPNO VRIJEME ZAVARIVANJA

### *INFLUENCE OF JOINT DESIGN PREPARATION CHOICE ON TOTAL WELDING TIME*

Juraj Barukčić<sup>1</sup>, Tihomir Marsenić<sup>1</sup>, Marijan Bošnjak<sup>1</sup>, Mijat Samardžić<sup>1</sup>, Božo Despotović<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ĐĐTEP, Slavonski Brod, R.Hrvatska, e-mail: juraj.barukcic@ddtep.hr, tihomir.marsenic@ddtep.hr, marija.bosnjak@ddtep.hr, mijat.samardzic@ddtep.hr

<sup>2</sup>Društvo za Tehniku zavarivanja, Slavonski Brod, e-mail: bozo.despotovic@gmail.com

**Ključne riječi:** tip spoja, zavarivanje spoja cijev (harfa)-komora, kompozitni spoj, vrijeme zavarivanja

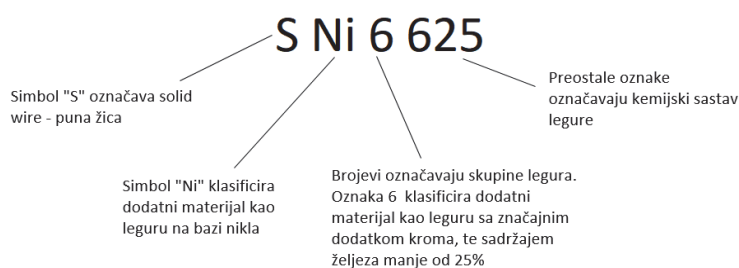
**Key words:** joint design, welding of tube (harp) - header, composite joint, welding time

**Sažetak:** U radu se opisuje utjecaj izbora tipa pripreme spoja na ukupno vrijeme zavarivanja. Riječ je o spoju priključka cijevi (harfa)-komore, gdje su cijev i komora navarene Ni legurom tako da je riječ o kompozitnom spoju. Izbor optimalnog tipa pripreme spoja je od velike važnosti sa stajališta zavarivanja jer utječe na ukupno vrijeme zavarivanja te na potrošnju dodatnog materijala za zavarivanje. Opisuju se iskustva Đuro Đaković Termoenergetska postrojenja d.o.o pri odabiru optimalnog tipa pripreme spoja.

**Abstract:** The paper describes the influence of joint desing preparation choice on the total welding time. It is a joint of tube (harp) - header, branch connection. Tube and header are overlaid by welding with Ni alloy, so it is composite joint. The choice of the optimal joint desing preparation is of fundamental importance from the point of welding because it affects on total welding time and on consumption of filler welding metal. The experiences of Đuro Đaković Termoenergetska postrojenja d.o.o in selecting of the optimal joint design preparation are described.

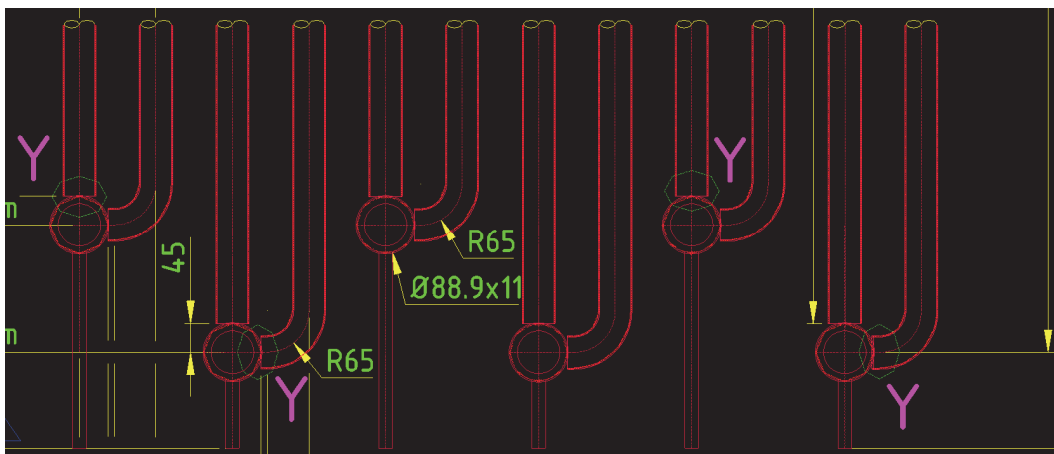
## 1 UVOD

Navarivanje je postupak nanošenja dodatnog materijala na osnovni materijal u cilju postizanja željenih svojstava. Može se primjeniti u svrhu reparature ili kod izrade novog proizvoda radi poboljšanja njegovih svojstava. Budući da se radi o kotlogradnji zahtjevi u ovom području su izrazito visoki. Proizvodi moraju biti otporni na različite tipove degradacije: trošenje (habanje), visokotemperaturnu koroziju i različita opterećenja. Čisti osnovni materijal može izdržati ove uvjete, međutim navarivanjem se osim svojstava korozijske otpornosti produžuje i vijek trajanja. Navarivanje je učinkovit i isplativ proces poboljšanja svojstava i produžavanja vijeka trajanja pojedinih komponenti. Kao dodatni materijali za navarivanje najčešće se koriste niki legure; SNi6625 i SNi6686 [5]. Norma EN ISO 18274 [4] odnosi se na klasifikaciju dodatnih materijala za zavarivanje Ni i Ni legura.



Slika 1. Primjer opisa klasifikacijske oznake prema normi

U tvornici ĐĐTEP osim kotlova na fosilna goriva i bio masu, proizvode se kotlovi koji kao gorivo koriste nerazgradivi otpad. Jedan od složenijih dijelova takvog kotla je Pregrijač III, slika 2, jer su komore i priključci (harfe) navareni dodatnim materijalom SNi6625. Zahtjevi za izradu definirani u naručiteljevoj specifikaciji utjecali su na način navarivanja komponenti, maksimalna dozvoljena debljina ručnog navarivanja je ograničena na 6 mm, a maksimalno dopušteni sadržaj željeza ručnog navarivanja iznosi 6% [5].



Slika 2. Prikaz rasporeda donjih komora pregrijača

## 2 REDOSLIJED IZRADA PREGRIJAČA III SA STAJALIŠTA POSLOVA ZAVARIVANJA

Redoslijed izrade Pregrijača III sastojao se od:

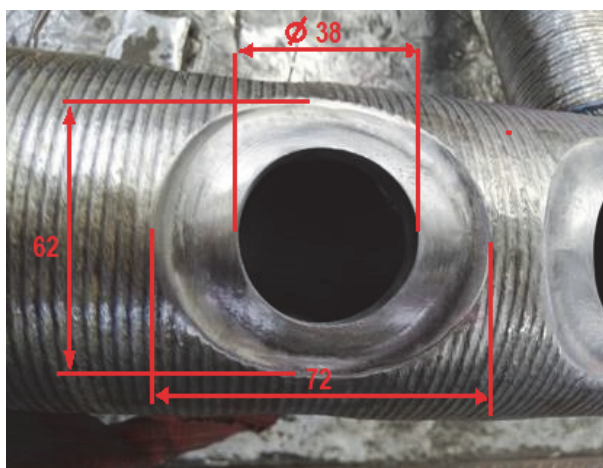
- strojnog navarivanja Pregrijača SNI6625 legurom,
- bušenja navarenih komora i obrada krajeva navarenih priključaka,
- savijanja priključaka (harfi),
- pripajanja ravnih i savijenih priključaka,
- zavarivanja priključaka na komore.

## 3 ZAVARIVANJE ISPITNOG UZORKA

Prije početka proizvodnje ĐĐTEP je proveo zavarivanje ispitnih uzoraka, zavarivanje navarenog priključka na navarenu komoru, kako bi se definirao optimalni tip pripreme spoja i redoslijed zavarivanja priključaka na komoru. Izbor optimalnog tipa pripreme spoja od velike je važnosti jer utječe na ukupno vrijeme izrade uključujući zavarivanje, na potrošnju dodatnog materijala za zavarivanje i na deformacije komore i čitavog sklopa. Također zavarivanjem ispitnog uzorka utvrdile su se bitne varijable zavarivanja koje su se koristile u proizvodnji. Sve upute za zavarivanje prije početka zavarivanja ispitnog uzorka bile su odobrene od angažirane inspeksijske agencije i kupca. Ispitni uzorak imao je jednake dimenzije komore i priključaka kao Pregrijač III; dimenzije komore su  $\text{Ø}88,9 \times 11$  mm, a dimenzije priključka  $\text{Ø}48,3 \times 5$  mm. Komore i priključci pregrijača izrađeni su od niskolegiriranog čelika, 16Mo3 (W.Nr. 1.5415) [5].

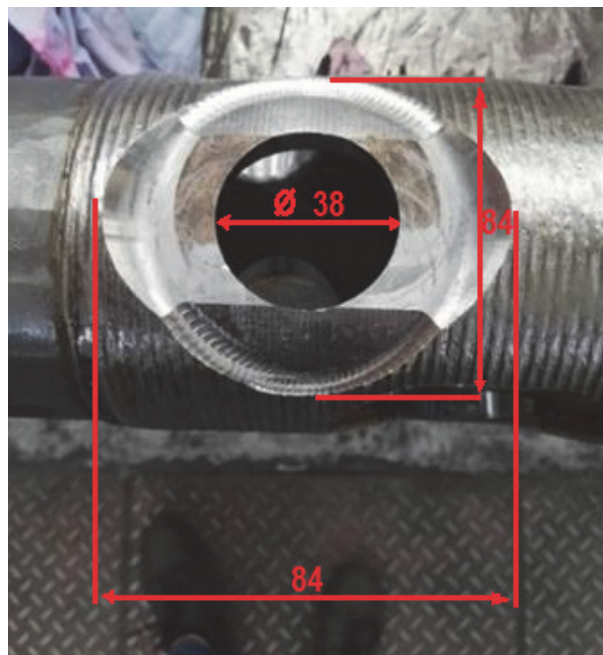
Tijekom optimalizacije tipa pripreme spoja komora – priključak, (branch connection) nekoliko je tipova spojeva pripremljeno. U radu su opisana dva tipa na temelju kojih se utvrđivala usporedba ukupnog vremena zavarivanja:

- Holker priprema - širina skinutog dijela navara 62 mm, duljina skinutog dijela 72 mm, slika 3. S aspekta strojne obrade ovakva priprema je vrlo zahtjevna zbog 3D obrade komore i detalja spoja na priključku.



Slika 3. Holker priprema na komori

- Ravna priprema s ukopavanjem min. 6 mm i dodatnim bočnim uklanjanjem navara, slika 4. Kod ove pripreme veći je broj operacija na komori, dok je na priključku 2D ravna priprema.



Slika 4. Ravna priprema na komori

Nakon strojne obrade i pripajanja zavareni su ispitni uzorci RP1 (Holker priprema) i RP2 (Ravna priprema).

### 3.1 Zavarivanje ispitnog uzorka RP1

Osnovne karakteristike tipa pripreme spoja RP1, slika 3.:

- Spoj harfa-komora (navareno)-kompozitni spoj,
- Dimenzije harfe:  $\text{Ø}48,3 \times 5$  mm; materijal 16Mo3+navareni sloj SNI6625,
- Dimenzije komore:  $\text{Ø}88,9 \times 11$  mm; materijal 16Mo3+navareni sloj SNI6625,
- Promjer provrta  $\text{Ø}38$  mm,
- Dubina uklonjenog navara min. 3mm, minimalno je smanjena debljina stijenke na komori, 1 mm
- Duljina uklonjenog navara 72 mm.

1. Nakon bušenja provrta na komorama proveden je test modrom galicom kako bi se potvrdilo potpuno uklanjanje navarenog sloja,

2. Zavarivanje ispitnih uzoraka izvedeno je TIG postupkom zavarivanja u dva položaja, PC i PH položaju, simulacija položaja zavarivanja s projekta. Na slici 5. prikazan je redoslijed zavarivanja prolaza spoja priključak – komora ispitnog uzorka RP1.

Položaj zavarivanja / Welding position:		PC									
Zapis za vrijeme izvođenja zavarivanja / Record for welding time											
Prolaz br. Pass No.	Postupak Process	Dodatni materijal / Filler Metal			(A) / pol.	(V)	Brzina Travel Speed [cm/min]	Zašti. plin Gas [l/min]	Tp [°C]	T <sub>međuslojna</sub> T <sub>interpass</sub> [°C]	Unos topline Heat input [kJ/mm]
		Tip / Type	Ø (mm)	Šarža / Charge No.							
1	141	W MoSi	2,4	-	-	-	2:50 min	11	25	-	
2	141	W MoSi	2,0	-	-	-	2:38 min	11	-	79	
3	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	3:18 min	11	-	35-49-51-73	
4	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	3:12 min	11	-	30-56-49-78	
5	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	2:40 min	11	-	32-53-45-80	
6	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	3:27 min	11	-	33-69-32-73	
7	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	3:33 min	11	-	37-68-38-70	
8	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	3:17 min	11	-	33-65-39-60	

Slika 5. Zapis za vrijeme izvođenja zavarivanja RP1

3. Zavarivanje korijenskog prolaza i prve popune izvedeno je s W MoSi žicom za zavarivanje. Nakon zavarivanja ovih prolaza provedena su ispitivanja koja su bila prihvatljiva. Također provedena je vizualna kontrola korijena zavara, kontrola korijena se izvodila pomoću ogledala i dodatnog osvjetljenja lampom. Svaka moguća nepravilnost u korijenu zavara uklonjena je brušenjem ili ponovnim zavarivanjem.

4. Zavarivanje popuna i završnog prolaza izvedeno je SNI6625 žicom za zavarivanje. Prolazi od 3. do 8. zavarivani su na način kako bi se izbjegle previsoke međuprolazne temperature. Prema WPS-u maksimalno dopuštena međuprolazna temperatura je 100°C. Cilj ovakog zavarivanja je osigurati prihvatljiv sadržaj željeza (maksimalno dopušteni sadržaj željeza je 6%).

5. Zavarivanje SNI6625 žicom provedeno je u 3 sloja. Na taj način osiguran je prihvatljiv sadržaj željeza.

Slika 5. prikazuje i vremena zavarivanja po pojedinom prolazu. Potrebno je ukupno 8 prolaza za zavarivanje ispitnog uzorka RP1 spoja priključka i komore u PC položaju. Ukupno efektivno vrijeme zavarivanja tj. ukupno vrijeme gorenja električnog luka za ispitni uzorak RP1 bilo je 24 minute i 05 sekundi. Prosječno vrijeme gorenja električnog luka po prolazu iznosi nešto više od 3 minute.

### 3.2 Zavarivanje ispitnog uzorka RP2

Osnovne karakteristike tipa pripreme spoja RP2, slika 4.:

- Spoj harfa-komora (navareno) – kompozitni spoj,
- Dimenzije harfe: Ø48,3×5 mm; materijal 16Mo3+navareni sloj SNI6625,
- Dimenzije komore: Ø88,9×11 mm; materijal 16Mo3+navareni sloj SNI6625,
- Promjer provrta Ø38 mm,
- Dubina uklonjenog navara min. 6mm,
- Duljina uklonjenog navara 84 mm.

1. Nakon bušenja provrta na komorama provedeno je ispitivanje modrom galicom kako bi se potvrdilo potpuno uklanjanje navarenog sloja.

2. Zavarivanje ispitnih uzoraka izvedeno je TIG postupkom zavarivanja u dva položaja, PC i PH položaju, simulacija položaja zavarivanja s projekta. Na slici 6. prikazan je redosljed zavarivanja prolaza spoja priključak – komora ispitnog uzorka RP2.

3. Zavarivanje korijenskog prolaza i prve popune izvedeno je W MoSi žicom za zavarivanje. Nakon zavarivanja korijenskog prolaza i prolaza prve popune provedena su ispitivanja koja su bila prihvatljiva. Također provedena je vizualna kontrola korijena zavara. Svaka moguća nepravilnost u korijenu zavara uklonjena je brušenjem ili ponovnim zavarivanjem.

4. Zavarivanje popuna i završnog prolaza, prolazi 3. do 14. izvedeni su sa SNI6625 žicom za zavarivanje. Prolazi su izvedeni na način kako bi se izbjegle previsoke međuprolazne temperature. Cilj ovakvog zavarivanja je osigurati prihvatljiv sadržaj željeza, maksimalno dopušteni sadržaj željeza je 6%.

Položaj zavarivanja / Welding position:		PC									
Skica / Sketch:											
Zapis za vrijeme izvođenja zavarivanja / Record for welding time											
Prolaz br. / Pass No.	Postupak / Process	Dodatni materijal / Filler Metal			Struja / tip / polaritet / Current / type / polarity	Napon / Voltage [V]	Brzina / Travel Speed [cm/min]	Zaš. plin / Gas [l/min]	Tp [°C]	Tmedialojna / Tinterpass [°C]	Unos topline / Heat input [kJ/mm]
		Tip / Type	Ø [mm]	Sarža / Charge No.							
1	141	W MoSi	2,4	-	-	-	3,32 min	11	RT(23)	-	
2	141	W MoSi	2,4	-	-	-	2,54 min	11	-	57	
3	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	2,58 min	11		36-65-70-58	
4	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	2,42 min	11		41-69-72-53	
5	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	2,58 min	11		39-61-79-48	
6	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	2,51 min	11		31-68-46-67	
7	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	3,05 min	11		43-51-62-67	
8	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	3,12 min	11		37-45-67-58	
9	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	3,23 min	11		33-62-65-51	
10	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	3,35 min	11		45-63-67-48	
11	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	3,02 min	11		38-62-67-50	
12	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	3,37 min	11		39-68-66-53	
13	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	3,17 min	11		32-49-63-67	
14	141	SNI 6625	2,0	-	-	-	3,15 min	11		45-61-69-54	

Slika 6. Zapis za vrijeme izvođenja zavarivanja RP2

5. Zavarivanje SNI6625 žicom provedeno je u 4 sloja zbog tipa pripreme spoja. Na taj način se popunio žljeb spoja i osigurao prihvatljiv sadržaj željeza, no debljine navarenog sloja su povećane.

Slika 6. prikazuje i vremena zavarivanja po pojedinom prolazu. Potrebno je ukupno 14 prolaza za zavarivanje ispitnog uzorka RP2 spoja priključka i komore. Ukupno efektivno vrijeme zavarivanja tj. ukupno vrijeme gorenja električnog luka za ispitni uzorak RP2 bilo je 44 minute i 21 sekunda. Prosječno vrijeme gorenja električnog luka po prolazu iznosi 3 minute i 15 sekundi.

#### 4 REZULTATI ISPITIVANJA

Za vrijeme zavarivanja provedena su vizualna ispitivanja i ispitivanje penetrantima. Rezultati ispitivanja oba ispitna uzorka su prihvatljiva.

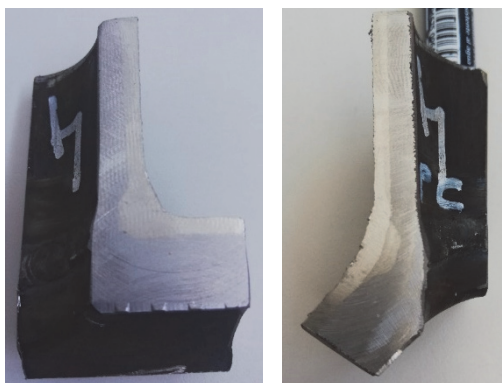
Ispitivanje sadržaja željeza provedeno je uređajem Olympus Delta DS-2000CC (ID: ST-101A). Ispitni uzorci RP1 i RP2 zadovoljavaju postavljene uvjete za maksimalno dozvoljen sadržaj željeza. Prema zahtjevu kupca maksimalno dozvoljen sadržaj željeza iznosi 6%. Tablica 1. prikazuje rezultate ispitivanja sadržaja željeza na zavarima i debljine navarenog sloja za ispitne uzorke RP1 i RP2.

Tablica 1. Rezultati ispitivanja sadržaja željeza i debljina navarenog sloja

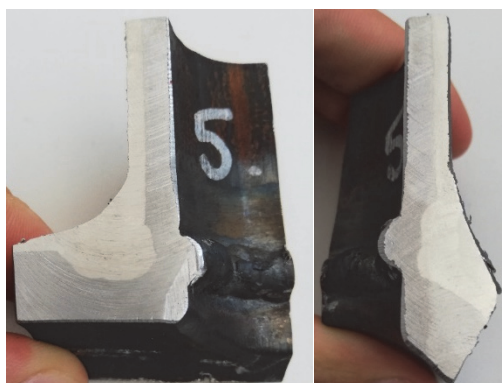
Redni broj	Žig zavarivača	Broj radne probe	Vrsta ispitivanja	Mjesto ispitivanja na cijevi			
				3h	6h	9h	12h
1.	Z261	RP1	Fe / %	3,50	2,72	2,16	1,96
			Debljina / mm	3,82	4,82	4,27	4,16
2.	Z465	RP2	Fe / %	2,71	1,83	2,47	3,14
			Debljina / mm	6,21	6,47	5,89	6,52

Ispitivanje debljine navarenog sloja provedeno je uređajem Fischer Dualscope FMP 20 (ID: DT-102A). Ispitni uzorak RP1 zadovoljava zahtjev kupca vezan uz debljinu navarenog sloja, dok ispitni uzorak RP2 prelazi postavljenu granicu. Maksimalno dozvoljena debljina navarenog sloja je 6 mm prema zahtjevu kupca.

Na slikama 7 i 8 prikazani su makro presjeci zavora ispitnih uzoraka RP1 i RP2. Usporedbom makro presjeka vidljiva je znatno manja površina zavarivanja-navarivanja ispitnog uzorka RP1. Samim time su i znatno manje debljine zavora na ispitnom uzorku RP1 (što potvrđuju slike 7). Približno 2x je manji presjek zavora na ispitnom uzorku RP1 u usporedbi s ispitnim uzorkom RP2.



Slika 7. Ispitni uzorci RP1



Slika 8. Ispitni uzorci RP2

## 5 ZAKLJUČAK

Na osnovu radnih proba zavarivanja i usporedbom dobivenih rezultata navarenog priključka na navarenu komoru izvedenih u tvornici ĐĐ TEP zaključeno je da se pri odabiru optimalnog tipa pripreme spoja može značajno utjecati na ukupno vrijeme zavarivanja. Ukupno vrijeme zavarivanja uzorka RP1 iznosi 24 minute i 05 sekundi, a ukupno vrijeme zavarivanja uzorka RP2 iznosi 44 minute i 21 sekundu. Usporedbom ukupnih vremena zavarivanja vidljiva je razlika od 20 minute i 16 sekundi, odnosno kraće je vrijeme zavarivanja uzorka RP1 za 45,6%. Samim tim smanjena je potrošnja dodatnog materijala za zavarivanje, posebno Ni legure SNi6625 koja ima visoku nabavnu cijenu. Gledajući sa stajališta prihvatljivosti kvalitete uzorci RP1 i RP2 zadovoljavaju sve zahtjeve koji se traže u proizvodnji. Uzorak RP2 ima veću debljinu navarenog sloja što je minimalno izvan specifikacije kupca. Na temelju obrazloženog odabran je tip spoja RP1 zbog značajne uštede ukupnog vremena zavarivanja uz minimalan utrošak dodatnog materijala kao i ostalih kraćih vremena izrade potrebnih za strojnu obradu i operaciju ravnjanja komponenti. U konačnici holker priprema dovodi do veće ekonomske isplativosti izrade uz postizanje zahtjevane kvalitete.

## 6 LITERATURA

- [1] EN ISO 12952-5 (2011), *Water-tube boilers and auxiliary installations. Workmanship and construction of pressure parts of the boiler.*
- [2] EN ISO 15614-1 (2017), *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials-Welding procedure test – Part 1: Arc and gas welding of steels and arc welding of nickel and nickel alloys.*
- [3] EN ISO 15614-7 (2019), *Specification and qualification of welding procedures for metallic materials.Welding procedure test- Part 7: Overlay Welding.*
- [4] EN ISO 18274 (2010), *Welding consumables-Solid wire electrodes, solid strip electrodes, solid wires and solid rods for fusion welding of nickel and nickel alloys-Classification.*
- [5] Interni tehnološki dokumenti ĐĐ TEP-a.