



## IZBOR POSTUPAKA ZAVARIVANJA PRIKLJUČAKA NA SABIRNICE SELECTION OF PROCESSES FOR NOZZLES ON HEADERS WELDING

Tihomir MARSENIĆ <sup>1)</sup>, Božo DESPOTOVIĆ <sup>1)</sup>, Branimir BRECHELMACHER <sup>1)</sup>,  
Dalibor BIRAČ <sup>1)</sup>

**Ključne riječi:** zavarivanje priključaka sa sabirnicama, kombinacija ručnih postupaka zavarivanja TIG i REL, kombinacija automatskih postupaka zavarivanja TIG i EPP

**Key words:** nozzles on headers welding, combination of the manual TIG and REL welding processes, combination of the automatic TIG and EPP welding processes

**Sažetak:** U radu se navode i opisuju postupci zavarivanja koji se upotrebljavaju za zavarivanje priključaka sa sabirnicama u kotlogradnji. Također su navedene mogućnosti primjene istih, te prednosti i nedostatci. Prezentirani su neki od oblika spojeva koji se upotrebljavaju kod zavarivanja priključaka na komore i parametri zavarivanja za određene slučajeve.

**Abstract:** This paper provides and describes welding processes that are used for welding nozzles with headers in manufacturing of boiler. Possibilities of using welding processes, advantages and disadvantages of used welding processes at welding nozzles with headers are also given. Some forms of joints that use for welding nozzles with headers and welding parameters for some joints are also presented.

---

<sup>1)</sup> Austrian Energy & Environment, Đuro Đaković, Termoelektrična postrojenja d.o.o., Slavonski Brod



## 1. UVOD

Parni kotao predstavlja objekt u kojemu se toplinska energija dobivena izgaranjem goriva, posredstvom zagrijavanih površina prenosi na radni medij koji u njemu isparava i čija se para pregrijava do određene temperature. Naziv parni kotao potiče od James Wata iz vremena kada se vodena para počela koristiti za proizvodnju mehaničke energije [1]. S vremenom je parni kotao postajao sve složeniji, kako bi udovoljio stalnim nastojanjima za što većim stupnjem korisnosti. Zbog toga je parni kotao opremljen sve većim brojem pomoćnih uređaja. Tako složen sklop različitih uređaja priključenih uz klasično ložište i izmjenjivač topline često se naziva kotlovsko postrojenje.

Komore, odnosno sabirnice su sastavni dijelovi kotlovskih postrojenja. Prema EN 12952-3, sabirnice se definiraju kao dijelovi u obliku cijevi, čiji je nominalni promjer veći od 76,2 mm i koje imaju tri ili više ne aksijalnih priključaka. Na sabirnice se uz priključke postavljaju i ostali dijelovi danca-podnice, revizioni otvori, ojačanja, zavješnja itd. Osnovna zadaća cijevnih sabirnica je sakupljanje i raspodjela medija.

U eksploataciji sabirnice su izložene povišenim i visokim temperaturama, pa prilikom dimenzioniranja sabirnica treba uzeti u obzir slijedeća naprezanja [2]:

- naprezanja zbog savijanja komore kao nosača pod vlastitom težinom, odnosno radnom težinom;
- naprezanja zbog oslanjanja komore;
- naprezanja zbog termički induciranih sila i momenta, koje su prisutne unutar integralnih sustava cjevovoda;
- naprezanja zbog lokalnog opterećenja cijevi uslijed težine ugrađenih dijelova;
- naprezanja zbog brzih i učestalih promjena tlaka i temperature.

Debljine stjenke sa zahtijevanim dodacima za sabirnice izračunava se prema formuli [2]:

$$e_s = e_{cs} + c_1 + c_2 \quad \text{mm}$$

Gdje su:

$e_s$  – potrebna debljina stjenke s dodacima, mm

$e_{cs}$  – potrebna debljina stjenke bez dodataka, mm

$c_1$  – dodatak obzirom na smanjenje debljine stjenke (negativna tolerancija debljine stjenke), mm

$c_2$  – dodatak na koroziju i trošenje materijala, mm.

Debljina stjenke sabirnica bez zahtijevanih dodataka izračunava se prema [2]:

$$e_{cs} = \frac{p_c \cdot d_{is}}{(2f_s - p_c) \cdot v} \quad \text{ako je zadan } d_{is}, \text{ unutrašnji promjer osnovnog tijela,}$$

$$e_{cs} = \frac{p_c \cdot d_{os}}{(2f_s - p_c) \cdot v + 2p_c} \quad \text{ako je zadan } d_{os}, \text{ vanjski promjer osnovnog tijela.}$$

Gdje su:

$p_c$  – proračunski tlak, N/mm<sup>2</sup>

$d_{is}$  – unutrašnji promjer osnovnog tijela, mm

$d_{os}$  – vanjski promjer osnovnog tijela, mm

$f_s$  – dozvoljeno naprezanje za materijal osnovnog tijela, N/mm<sup>2</sup>

$v$  – minimalni koeficijent oslabljenja

Za izradu komora najčešće se koriste niskolegirani i visokolegirani martenzitni čelici. Temperaturno područje primjene niskolegiranih Mo i Cr-Mo čelika je od 450 o 550 °C [3]. Od niskolegiranih Mo i Cr-Mo čelika, za izradu komora najčešće se koriste:

- 16Mo3 (Č7100) je normaliziran, a primjenjuje se izradu komora, oplata kotlova, zagrijača vode i pregrijača
- 13CrMo4-5(Č7400) je poboljššan na zraku. Primjenjuje se za izradu sabirnica pare, kotlovskih cijevi pregrijača, zagrijača
- 10CrMo910 (Č7400) je poboljššan na zraku, a primjenjuje se slično kao i 13CrMo4-5 na povišenim temperaturama
- 15NiCuMoNb 5-6-4 je poboljššan na zraku, a upotrebljava se za izradu sabirnica

Visokolegirani martenzitni čelici primjenjuje se za dugotrajni rad na temperaturama između 550 i 600 °C [3]. Danas najčešće korišteni predstavnici ove skupine materijala su X10CrWMoVNb9-1P(91), X10 CrWMoVNb 9-2 (P92) i X20CrMoWV 121. Čelici sadržavaju oko 1% molidbena i do 12 % kroma. Sadržaj kroma od 12 % Cr ne smije se prekoračiti da bi se zadržala monofazna martenzitna struktura.

Spojevi priključaka na cijevne sabirnice su nakon sučeljenih spojeva cijevnih sistema najčešće zastupljeni u kotlogradnji. Spajanje cijevnih priključaka s komorama izvodi se zavarivanjem. Zavarivanje cijevnih priključaka na sabirnice izvodi se zbog:

- postizanja kvalitetnijih zavarenih spojeva, lakše kontrole i dorade istih,
- lakšeg postavljanja i montaže ostalih dijelova koji se vežu na sabirnice, membranski zidovi, cijevi pregrijača i isparivača,
- izbjegavanja toplinske obrade cijele sabirnice na terenu prilikom postavljanja i vezivanja sabirnice sa ostalim kotlovskim dijelovima.

Zavarivanje priključaka na cijevne sabirnice izvodi se :

- kombinacijom ručnih postupaka zavarivanja TIG i REL,
- automatskim postupcima zavarivanja TIG i EPP,
- kombinacijom automatskog i ručnog postupka zavarivanja TIG aut. i REL.

Na slici 1 može se vidjeti izgled ručno zavarenih priključaka sa sabirnicom.



Slika 1 Sabirnica s ručno zavarenim priključcima

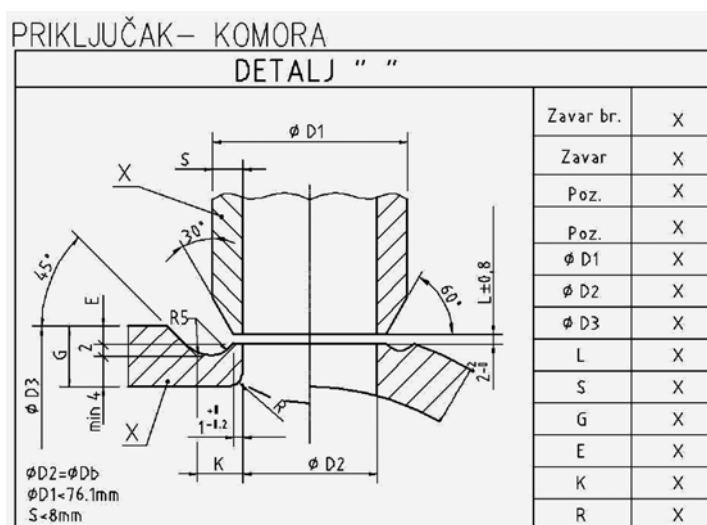
## 2. ZAVARIVANJE PRIKLJUČAKA NA SABIRNICE KOMBINACIJOM RUČNIH POSTUPAKA TIG I REL

Zavarivanje priključaka sa sabirnicama, odnosno svih tlačnih dijelova izvodi se u većini slučajeva s potpunom penetracijom. To znači da debljina zavarenog spoja mora biti jednaka ili veća od debljine stijenke osnovnog materijala, odnosno da zavareni spoj treba biti po cijelom poprečnom presjeku dijelova koji se zavaruju bez nedozvoljenih grešaka. Da bi se omogućilo zavarivanje tih spojeva s potpunom penetracijom, izrađuje se odgovarajući oblik žlijeba kutnog spoja. Tako je oblik spoja priključka s komorom kombinacija kutnog spoja sa žlijebom. Treba imati na umu da na oblik žlijeba utječe i postupak zavarivanja. Postoji nekoliko vrsta oblika žljebova koji se koriste pri ručnom zavarivanju priključaka s komorom. Koji će se oblik žlijeba spoja primijeniti ovisi o dimenzijama priključaka i komore. Najčešće primjenjivani oblici spojeva za ručno zavarivanje priključaka na sabirnice prikazani su na slikama 2 i 3.

Osnovne dimenzije žlijeba spoja priključak sabirnica su:

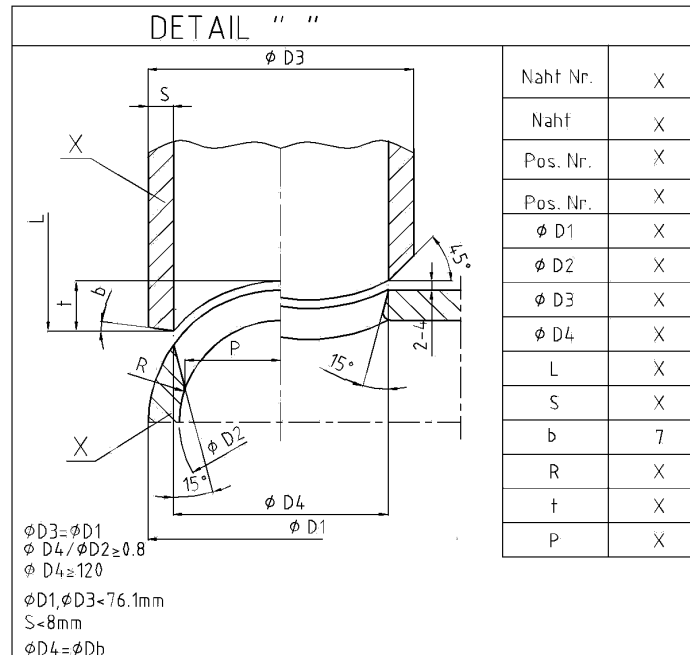
- Dimenzija nosa u grlu žlijeba. Žlijeb na sabirnici izrađuje se kako bi dimenzija nosa u grlu žlijeba bila jednaka na sabirnici i priključku. Jednaka veličina nosa u grlu žlijeba na sabirnici i priključku omogućava približno jednako zagrijavanje i taljenje nosa tijekom zavarivanja. Na taj način olakšava se proces zavarivanja i omogućuje se kvalitetna izrada korijena zavara.
- Razmak u grlu žlijeba je važan jer omogućuje zavarivaču kontrolu procesa izrade korijena zavara, lakše taljenje nosa u grlu žlijeba, a samim tim i kvalitetno zavarivanje korijena zavara.
- Kut otvora žlijeba je također važan jer omogućuje pristup u grlo žlijeba. Zatim, veličina tog kuta treba biti optimalna, kako bi se omogućilo kvalitetno zavarivanje popune zavara. Kod malih vrijednosti tog kuta moguće su greške zarobljavanja troske i greške vezivanja koje se pojavljuju uz površinu žlijeba priključka.

Oblici žljebova slike 2 i 3 izrađuju se strojnom obradom. Priključci se obrađuju tokarenjem na CNC tokarilici, a provrt sa žlijebom na sabirnici obrađuje se na velikim konzolnim ili stupnim bušilicama. Kvaliteta površinske obrade treba biti takva da prosječno odstupanje profila iznosi  $R_a = 25 \div 50 \mu\text{m}$ .



Slika 2 Detalj spoja za zavarivanje priključaka na komore, debljine stijenke priključka  $s < 8 \text{ mm}$ , i vanjskog promjera priključka  $D1 < 76,1 \text{ mm}$

PRIKLJUČAK – KOMORA



Slika 3 Detalj spoja za zavarivanje priključaka na komore vanjskog promjera priključka  $D3 \geq 76,1 \text{ mm}$

Zavarivanje priključaka na komore izvodi se prema kvalificiranoj uputi za zavarivanje. Izvodi se elektrodučnim postupcima zavarivanja TIG i REL. TIG postupak se koristi za pripajanje priključaka na sabirnice i zavarivanje korijena zava, a REL postupak za zavarivanje popune žlijeba. Priključci manjeg promjera do 76,1 mm promjera postavljaju se na komoru pomoću posebno izrađene naprave koja se postavlja u provrt komore, slika 4.



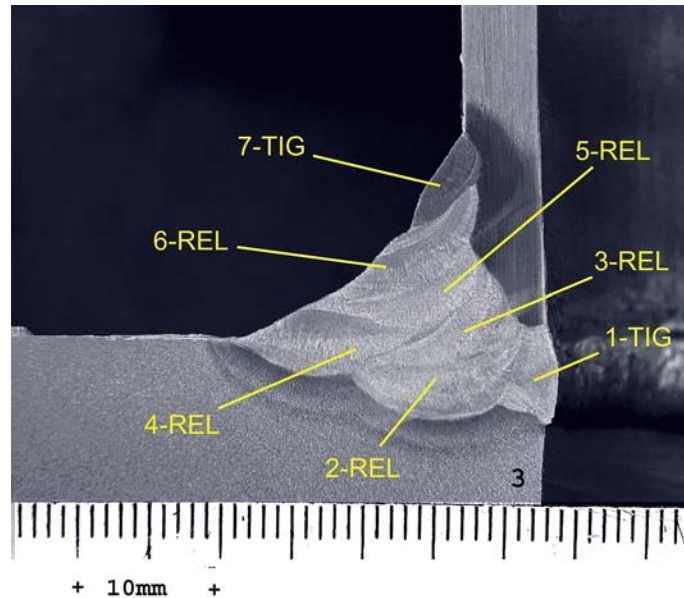
Slika 4 Postavljanje priključaka uz korištenje naprave



Naprava se koristi za centriranje unutrašnjeg promjera priključka prema promjeru provrta na komori i za ostvarivanje potrebnog razmaka u grlu žlijeba. Na takvu napravu postavlja se priključak, koji se nakon korektnog postavljanja pripaja. Prvo se zavare dva pripoja na sve priključke koji se nalaze u istom redu sabirnice. Nakon toga se kontrolira ravnost cijelog reda priključaka i po potrebi dotjeruje. Potom se zavaruje treći pripoj i još jednom kontrolira položaj priključaka u odnosu na sabirnicu. Svrha pripoja je da zadrži priključke u ispravnom položaju u odnosu na komoru tokom zavarivanja i da održava definirani razmak u grlu žlijeba, kako bi se omogućilo kvalitetno zavarivanje korijena zavara. Pripoji su zavareni za 90 ° jedan u odnosu na drugog. Pripajanje se izvodi TIG postupkom. Pripojena mjesta ostaju sastavni dijelovi korijenog zavara, a izvodi ih kvalificirani zavarivač prema uputi za zavarivanje. Priključci većeg promjera imaju veću masu pa se prilikom postavljanja na komoru pripajaju s četiri pripoja, svakih 90 °, da bi se izbjegle deformacije zbog mase priključka. Zbog većeg unutrašnjeg promjera lakše se centriraju u odnosu na provrt komore, pa se zbog toga ne koriste naprave za centriranje. Nadalje naprave bi bile nepraktične zbog velikih dimenzija, i nerentabilne zbog malog broja velikih priključaka, koji su različitih dimenzija. Za centriranje i pripajanje velikih priključaka koristi se samo žica promjera 4 mm, koja služi za održavanje zazora u grlu žlijeba spoja priključak komora.

Nakon pripajanja priključaka na komoru pristupa se zavarivanju korijena zavara spoja priključak – sabirnica, TIG postupkom zavarivanja. TIG postupak se upotrebljava jer je električni luk kod ovog postupka miran i stabilan, a sam postupak zavarivanja je sporiji u odnosu na druge postupke. Zbog toga je omogućena potpuna kontrola zavarivača nad rastaljenim materijalom tokom zavarivanja korijena spoja. Prije zavarivanja komora se postavlja na dva oslonca na takav način se da približno jedna polovina duljine komore nalazi između oslonaca, a druga polovina koja je raspodijeljena na dva jednaka dijela izvan oslonaca, kako bi se smanjile deformacije koje nastaju tijekom zavarivanja. Kod zavarivanja priključaka manjih promjera prvo se zavaruje dio korijena suprotno od trećeg pripoja, između prvog i drugog pripojenog mjesta, da bi se izbjegla odstupanja vezana za položaj priključka u odnosu na komoru. Nakon toga se zavaruje preostali dio korijena između prvog i trećeg pripoja i drugog i trećeg pripoja. Kada je završeno zavarivanje korijena zavara spoja priključak komora, izvodi se vizualna kontrola korijena zavara i po potrebi reparatura korijenog zavara. Zatim se zavaruje ispuna preostalog dijela žlijeba spoja priključak - sabirnica . Ispuna se izvodi REL postupkom zavarivanja. Zavarivanje ispune izvodi se od srednjeg priključka prema krajevima komore i to sloj po sloj, kako bi se smanjile deformacije sabirnice. Općenito zavarivanje gusjenica mora se izvesti na takav način da se osigura međusobno povezivanje između njih. Slaganje gusjenica se izvodi odozdo prema gore, jer se rastaljeni metal ponaša kao tekućina i teži iscuriti prema dolje. Početci i završetci zavara su najčešća mjesta grešaka. Kod zavarivanja gusjenica početci i krajevi ne smiju biti na istom mjestu. To znači da početci i završetci dviju susjednih gusjenica trebaju biti međusobno zamaknuti oko 20 mm. Preporuka je da se početak zavarene gusjenice i mjesta prekidanja električnog luka bruse kako bi se uklonile poroznosti koje se često pojavljuju na tim mjestima.

Na slici 5 prikazan je makro presjek zavarenog spoja priključak - sabirnica i redosljed zavarivanja. Osnovni materijal koji se zavaruje je kvalitete 13 CrMo 44. Promjer komore je 168,3 mm, a debljina 20mm. Promjer priključka je 51 mm, a debljina 5,6 mm. U Tablici 1 su parametri zavarivanja spomenutog spoja priključak – sabirnica.



Slika 5 Redosljed zavarivanja spoja malog priključka komore ručnim postupcima zavarivanja – makro uzorak [4]

Tablica 1. Parametri kombinacije ručnih postupaka zavarivanja TIG i REL

Prolaz br.	Postupak	Dodatni materijal		(A) / pol	(V)	Brzina zavarivanja	Zaštitni plin	T <sub>p</sub> (°C)	T <sub>meduslojna</sub> (°C)	Ostalo
		Tip / Type	Ø (mm)							
1	TIG	DCMC-IG	2,4	106 / DC-	-	-	Ar= 9 l/min	210	-	PB-Z33
2	REL	FOX DCMS Kb	3,2	113-118/DC+	-	-	-	-	223	PB-Z16
3	REL	FOX DCMS Kb	3,2	141-153/DC+	-	-	-	-	227	PB-Z16
4	REL	FOX DCMS Kb	4	141-153/DC+	-	-	-	-	216	PB-Z16
5	REL	FOX DCMS Kb	4	141-153/DC+	-	-	-	-	236	PB-Z16
6	REL	FOX DCMS Kb	3,2	141-153/DC+	-	-	-	-	241	PB-Z16
7	TIG	DCMC-IG	2,4	138 / DC-	-	-	Ar= 9 l/min	-	265	PB-Z33

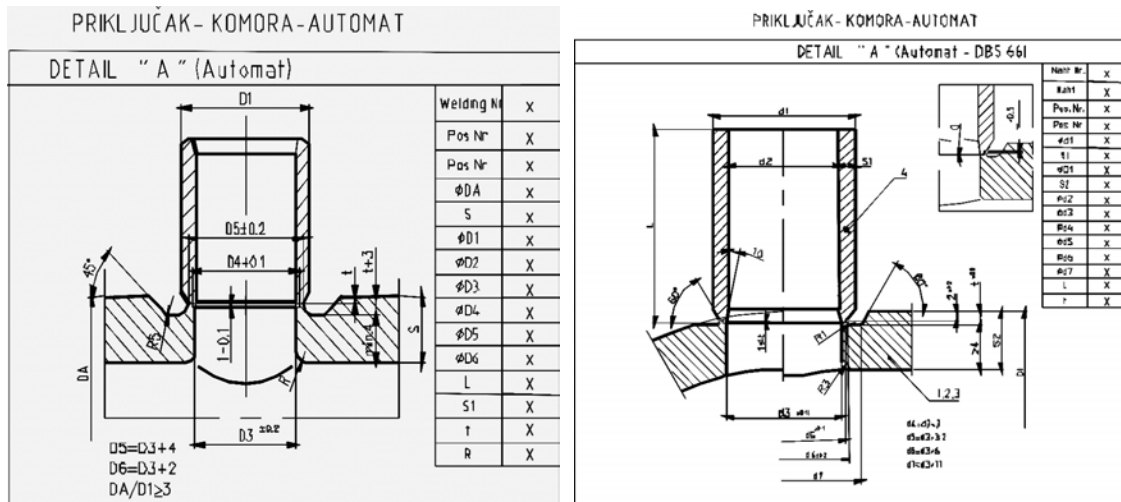
### 3. ZAVARIVANJE PRIKLJUČAKA NA SABIRNICE KOMBINACIJOM AUTOMATSKIH POSTUPAKA TIG I EPP

Za automatsko zavarivanje cijevnih priključaka na sabirnice upotrebljavaju se TIG i EPP postupci zavarivanja. TIG automatskim postupkom zavaruje se sa unutrašnje strane priključka korijeni sloj zavara. EPP automatskim postupkom s vanjske strane priključka, zavaruje se popuna žlijeba spoja priključak sabirnica. Oblik žlijeba spoja cijevni priključak sabirnica treba biti takav da se omogući izrada kvalitetnog zavarenog spoja. Oblik spoja treba biti takav da se omogući:

- jednostavno i brzo postavljanje priključaka na sabirnice,
- lagano centriranje unutrašnjeg promjera priključka sa provrtom na sabirnici,
- kvalitetno i jednostavno zavarivanje korijena zavara,
- kvalitetno i jednostavno zavarivanje popune zavarenog spoja,
- jednostavna kontrola pripreme spoja za zavarivanje,
- jednostavna kontrola zavarenog spoja, prvo korijena zavara, a zatim popune.
- jednostavna izrada žlijeba spoja priključak sabirnica,
- jednostavnost konstrukcije alata za izradu žlijeba spoja priključak sabirnica i njegova dostupnost na tržištu

- jednostavna opreme za zavarivanje i njezina dostupnost
- prihvatljiva cijena opreme za strojnu obradu i zavarivanje.

Poznato je da se kod automatiziranih postupaka zavarivanja, zahtijevaju točnost dimenzija žlijeba spoja i njihova ponovljivost kako bi se omogućila kvalitetna izrada zavarenog spoja. Dva oblika žlijeba spoja priključak – sabirnica se koriste za automatizirano zavarivanje, slika 6.



Slika 6 Oblici spojeva za automatsko zavarivanje priključaka na komore [5]

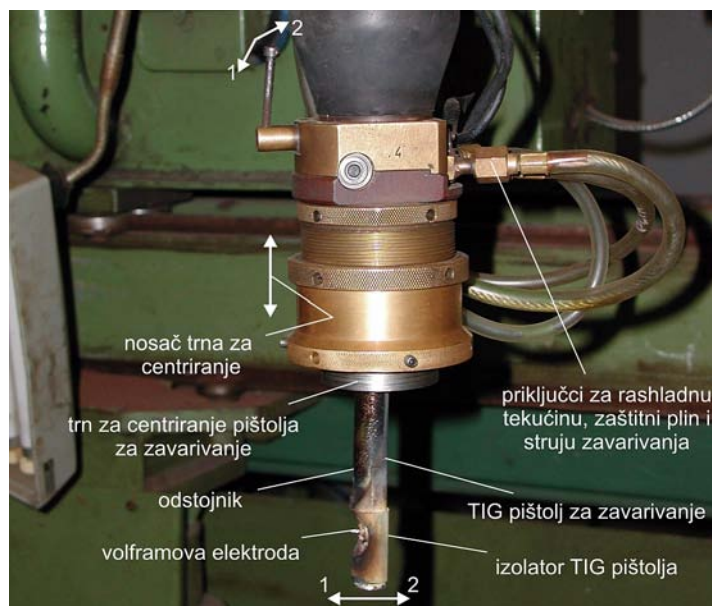
Nakon strojne obrade i kontrole žlijeba spoja priključak komora, pristupa se zavarivanju. Komora se postavlja na nosače uređaja i nivelira. Potom se postavlja priključak na komoru, koji se zavaruje. Priključak sjeda u pripremljeni žlijeb na komori, slika 7. Nakon postavljanja priključka na sabirnicu, glava s pištoljem za TIG zavarivanje se postavlja na priključak. TIG glava s pištoljem za zavarivanje, slika 8, centrira se pomoću trna za centriranje, koji sjeda na čelo priključka.



Slika 7 Postavljanje priključka u žlijeb na komori



Promjer trna za centriranje je veći do 0,5 mm u odnosu na vanjski promjer priključka. Pištolj se sada nalazi s unutrašnje strane priključka, a volframova elektroda je postavljena na sredinu spoja priključak - sabirnica. Položaj volframove elektrode prema visini se regulira zavrtanjem ili odvrtanjem nosača trna za centriranje po tijelu glave. Za vrijeme zavarivanja također potrebno je održati i udaljenost vrha volframove elektrode od spoja za zavarivanje i ona treba iznositi od 1,5 do 2,5 mm. Održavanje udaljenosti volframove elektrode od spoja za zavarivanje omogućeno je pomoću odstojnika koji se oslanja na unutrašnju stjenku priključka. Pištolj zajedno s glavom se okreće oko svoje osi tokom zavarivanja korijena zavara. Za vrijeme zavarivanja pištolj prati spoj priključka sa sabirnicom i izvodi zavarivanje.

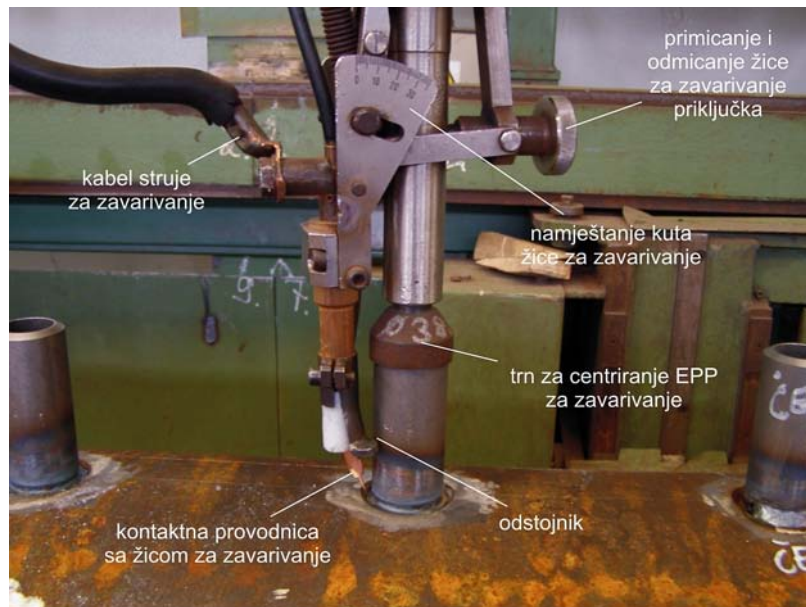


Slika 8 TIG glava sa pištoljem za automatsko zavarivanje priključaka na komore

Tijekom zavarivanja operater prati tijek protaljivanja osnovnog materijala. U slučaju da je protaljivanje slabijeg intenziteta on smanjuje brzinu zavarivanja pomoću potenciometra, odnosno povećava ako je intenzitet protaljivanja veliki. Nakon zavarivanja operater podiže pištolj izvan priključka i postavlja u drugi priključak. Kut okretanja, rotacije pištolja je definiran i iznosi 380°, nakon čega se električni luk postepeno gasi i prekida se zavarivanje.

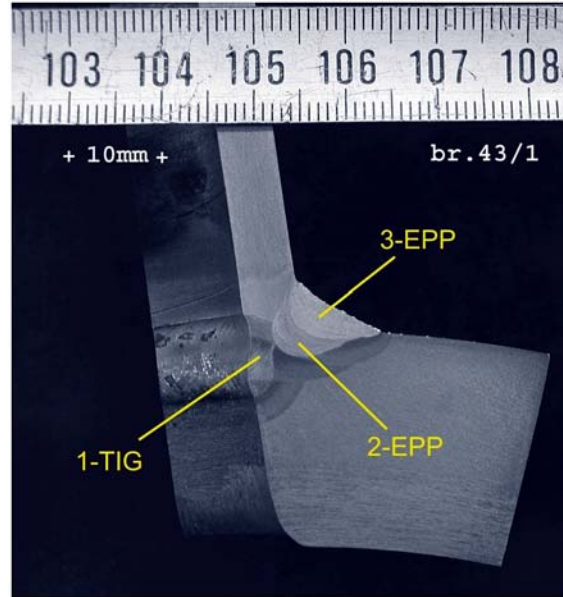
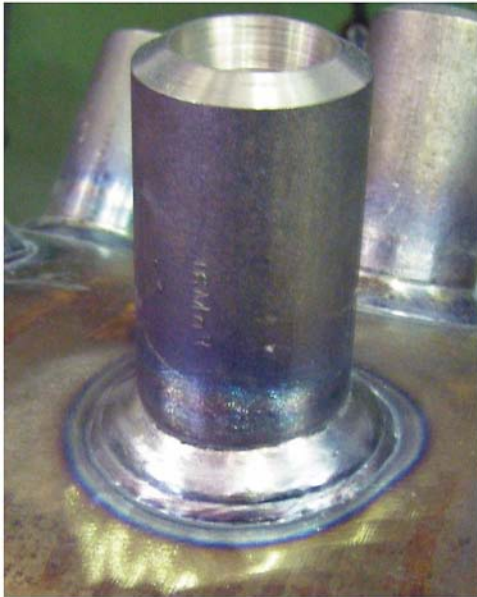
Na stroju postoje dva pištolja koja istovremeno rade. Zavarivanje popune EPP postupkom slijedi nakon TIG zavarivanja svih priključaka i kontrole korijena zavara. Većinom EPP postupkom zavaruje se u više prolaza, ovisno o dimenzijama priključka, promjera i debljine stjenke. Za EPP zavarivanje konstruirana je posebna glava. Na toj glavi smješteni su kolut sa žicom za zavarivanje, dodavač žice sa elektromotorom, razdjeljivač praška, vodilica praška, naprava za postavljanje i centriranje glave za zavarivanje, hidraulički dio za podizanje i spuštanje glave nakon zavarivanja, električni dio za prijenos struje i napona zavarivanja. Glava za EPP zavarivanje je teška i zbog toga se pozicionira u odnosu na priključke pomoću uređaja za pozicioniranje. Na uređaj za pozicioniranje unesu se udaljenosti između priključaka i broj priključaka, tako da se uređaj nakon zavarivanja sam pomjera od priključka do priključka. Prije početka zavarivanja glava za EPP zavarivanje se spušta na čelo priključka i centrira u odnosu na priključak pomoću trna koji obuhvati vanjski promjer priključka. Zatim se kontrolira položaj kontaktne provodnice sa žicom za zavarivanje u odnosu na žlijeb priključak - sabirnica i po potrebi regulira. Moguća je fina regulacija, a izvodi se podizanjem i spuštanjem kontaktne provodnice, te odmicanjem i približavanjem kontaktne provodnice sa žicom u odnosu na

priključak. Nakon zavarivanja TIG postupkom došlo je do deformacije priključka, tako da on nije sada okomit na komoru. Zbog tog odstupanja, žica za zavarivanje sa kontaktnom provodnicom ne putuje po istoj putanji. Na nekim mjestima se približava priključku, a na nekim odaljava, što dovodi do grešaka vezivanja u zavarenom spoju. Da bi se te greške izbjegle i održala konstantna udaljenost kontaktne provodnice od priključka uz kontaktnu provodnicu postavljen je odstoynik, slika 9.



Slika 9 EPP glava za automatsko zavarivanje priključaka na komore

Odstoynik je tokom zavarivanja stalno prislonjen na priključak i na taj način omogućuje kretanje kontaktne provodnice sa žicom po istoj putanji. Nakon regulacije položaja žice za zavarivanje, pušta se prašak iz spremnika praška i dovodi na mjesto zavarivanja. Visina praška je oko 25 do 35 mm u odnosu na mjesto zavarivanja. Kada je sve spremno izvodi se proces zavarivanja. Zavaruje se tako da se glava zajedno sa žicom za zavarivanje i kontaktnom provodnicom okreće oko priključka i popunjava žlijeb spoja priključak sabirnica. Glava se okreće za 360° plus programski definirani dodatak puta, oko 20°, sveukupno oko 380°. Nakon zavarivanja glava se automatski podiže i pomiče do drugog priključka. Operater odsijeca vrh žice i ponovno ponavlja proces zavarivanja. Zavarivanje se izvodi sloj po sloj, što znači da se kod svih priključaka zavari određeni sloj. Također zavarivanje priključaka se izvodi od srednjih priključaka na komori prema priključcima na krajevima komore. Kada je jedan red priključaka zavaren zavaruje se drugi, tako da se komora koja je postavljena na nosač sa okretaljka okreće na drugi red priključaka. Na slici 10 može se vidjeti makro presjek zavarenog spoja i izgled zavarenog spoja priključak – sabirnica.



Slika 10. Izgled zavarenog spoja priključak-sabirnica zajedno sa makro uzorkom. Osnovni materijal sabirnice je 15 NiCuMoNb 5 6 4, a dimenzije su  $\varnothing$  240 x 20 x 6000 mm. Osnovni materijal priključka je 16 Mo 3, a dimenzije su  $\varnothing$  38 x 6,3 x 88 mm [6].

U Tablici 2 su prezentirani parametri automatskih postupaka zavarivanja TIG i EPP priključka sa sabirnicom.

Tablica 2. Parametri automatskih postupaka zavarivanja TIG i EPP

Prolaz br.	Postupak	Dodatni materijal		(A) / pol	(V)	Brzina zavarivanja cm/min.	Zaštitni plin	Tp (°C)	T <sub>meduslojna</sub> (°C)	Ostalo
		Tip / Type	Ø (mm)							
*1	TIG-autom.	Bez	-	(160/90) impuls / DC-	-	4-6	Ar= 9 l/min	150	-	PC-Z107
2	EPP	OE-S2Mo, OP119	1	160-180/DC+	27-29	30	-	-	172	PB-Z102
3	EPP	OE-S2Mo, OP119	1	170-190/DC+	28-30	25	-	-	164	PB-Z102

<p>* 1 TIG-orbitalno zavarivanje iznutra</p> <p><math>t_{gas1}=6</math> s      <math>I_2=95</math> A  <math>t_{up}=0,5</math> s      <math>f=2</math> pulsa/s  <math>I_{preheat}=165</math> A      <math>t_{down}=10</math> s  <math>t_{preheat}=6</math> s      <math>t_{gas2}=10</math> s  <math>I_1=168</math> A      <math>I_{cmd}=10</math> A  <math>t_1=60\%</math>      <math>v_{welding}=5</math> cm/min.</p>	<p><math>t_{gas1}</math> – vrijeme protoka zaštitnog plina prije zavarivanja, s  <math>t_{up}</math> – vrijeme potrebno za postizanje definirane struje zavarivanja, s  <math>I_{preheat}</math> – početna struja protaljivanja, A  <math>t_{preheat}</math> – vrijeme potrebno da se ostvari protaljivanje osnovnog materijala, pištolj miruje nema rotacije, s  <math>I_1</math> – impulsna struja, A  <math>t_1</math> – vrijeme trajanja impulsne struje <math>I_1</math>, %  <math>I_2</math> – osnovna struja, A  <math>t_{down}</math> – vrijeme padanja struje zavarivanja na vrijednost struje pri kojoj se gasi električni luk, s  <math>t_{gas2}</math> – vrijeme protoka zaštitnog plina nakon zavarivanja, s  <math>v_{welding}</math> – brzina zavarivanja, cm/ min.  <math>f</math> – broj pulseva u sekundi,  <math>Q</math> – količina protoka zaštitnog plina, l/min.</p>
---	---



#### 4. ZAKLJUČAK

U radu su ukratko opisani postupci zavarivanja priključaka na sabirnice koji se upotrebljavaju u kotlogradnji. Analizom postupaka zavarivanja utvrđene su prednosti i nedostaci primjene ručnih i automatskih postupaka [7].

Prednosti kombinacija ručnih postupaka zavarivanja TIG i REL priključaka na sabirnice su:

- mogućnost zavarivanje cijevnih priključaka i sabirnica svih dimenzija i od svih materijala,
- mogućnost zavarivanja u svim položajima i potrebno je relativno malo slobodnog prostora za zavarivanje,
- jednostavna i dostupna oprema,
- da se kombinacijom ručnih postupaka zavarivanja ostvaruje zadovoljavajuća kvaliteta zavarenih spojeva priključaka sa komorama.

Nedostaci kombinacija ručnih postupaka zavarivanja TIG i REL su:

- veliko pripremno vrijeme, a odnosi se na vrijeme pripajanja priključaka na sabirnice,
- dorade nakon zavarivanja, brušenje korijena, nadvišenja, zajedno na zavarenim spojevima, odnosno doradivanje geometrije zavora,
- duže vrijeme zavarivanja priključaka na sabirnice ručnim postupcima, samim tim troškovi izrade su veći što poskupljuje proizvodnju, odnosno povećava cijenu proizvoda.

Prednosti kombinacije automatskih postupaka zavarivanja TIG i EPP za zavarivanje priključaka na sabirnice su:

- kraće vrijeme zavarivanja, velika učinkovitost,
- visoka kvaliteta zavarenih spojeva i minimalne dorade nakon zavarivanja,
- zavarivanje velikog broja priključaka na komore u kratkom vremenu, visoka protočnost proizvodnje,
- niža cijena obuke operatera u odnosu na zavarivače, jer je vrijeme obuke relativno kratko u odnosu na ručne zavarivače,
- niži troškovi izrade, utvrđeno da su troškovi automatskih postupaka zavarivanja TIG i EPP manji za 39 % u odnosu na ručne postupke zavarivanja TIG i REL, [7],
- niža cijena zavarenih cijevnih sabirnica.

Kombinacija automatskih postupaka zavarivanja TIG i EPP ima i nedostatke:

- primjenjuje se samo za zavarivanje ravnih priključaka dužine 106 mm, vanjskog promjera do 70 mm, i unutarnjeg promjera većeg od 20 mm,
- zavarivanje priključaka sa komorama je moguće izvoditi samo na stroju i u jednom položaju,
- tolerancije dimenzija žlijeba spoja priključak - sabirnica su uže,
- oprema za zavarivanje je skupa i teško dostupna.

Obje kombinacije zavarivanja, ručna TIG i REL i automatska TIG i EPP imaju svoju primjenu. Ručna kombinacija zavarivanja TIG i REL koristi se za zavarivanje savijenih priključaka, priključaka većih promjera i priključaka gdje je razmak između priključaka manji od 30 mm. Automatska kombinacija postupaka zavarivanja TIG i EPP koristi za zavarivanje ravnih priključaka promjera manjeg od 70 mm i dužine do 106 mm.



## 5. LITERATURA

- [1] Gulić, Miloš; Brkić, Ljubiša; Perunović, Panto: *Parni kotlovi*,. Beograd; Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1988, str. 1÷27.
- [2] CEN (Europski komitet za normizaciju): *EN 12952-3*, Brussels, 2001, str.3÷6, 17.
- [3] Novosel, Mladen; Dragomir, Krumes: *Posebni čelici*, Slavonski Brod, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 1998, str. 283, 290, 292, 295, 305, 306, 317÷320.
- [4] Pecić, Vladimir; Budić, Ivan: *Izvešće o postupku ispitivanja zavarenog spoja SF1208/03*, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2003, str. 3.
- [5] Despotović, Božo; Marsenić Tihomir: *Tehnički podaci postrojenja za automatsko zavarivanje priključaka na komore*, ĐĐ TEP, 2007, str. 2, 3.
- [6] Pecić, Vladimir; Dragomir, Krumes; Budić, Ivan: *Izvešće o postupku ispitivanja zavarenog spoja SF2708/07*, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2007, str. 3, 4, 6, 7.
- [7] Marsenić Tihomir: *Automatizacija zavarivanja cijevnih priključaka na cijevne sabirnice u kotlogradnji*, Diplomski rad, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2007, str. 71-75, 88.