



OBLICI SPOJEVA ZA KRUŽNO/ORBITALNO ZAVARIVANJE CIJEVNIH SISTEMA, MOGUĆNOST AUTOMATIZACIJE PROCESA ZAVARIVANJA

CIRCUMFERENTIAL WELDING OF TUBE SYSTEMS, AND THE POSSIBILITY OF WELDING AUTOMATIZATION ON PROCESSES

Tihomir MARSENIĆ, Božo DESPOTOVIĆ, Dalibor BIRAČ¹⁾

Ključne riječi: Automatizacija zavarivanja, oblici spojeva za automatizirano i mehanizirano zavarivanje

Key words: Welding automatization, Joint design for automatized and mechanized welding

Sažetak: Sve veći problemi s nedostatkom kvalitetnih i iskusnih zavarivača za ručne postupke zavarivanja, prije svega za TIG postupak, nameću potrebu za automatizacijom i mehanizacijom pri zavarivanju cijevnih sistema u proizvodnji kotlovske opreme. U radu se navode primjeri oblika spojeva i načini zavarivanja cijevi za različite slučajeve kao što su: orbitalno sučeljeno zavarivanje cijevi, sučeljeno zavarivanje na način da cijev rotira, kružno zavarivanje spojeva priključak-komora, te kružno zavarivanje spojeva cijev-komora na harfama – mogućnost automatizacije.

Abstract: Increasing problems with a lack of quality and skill welders for manual welding process, primarily for the TIG process, imposed the need for automatization and mechanization in the welding of tubes system in boilers production. The paper also cites examples of joints design and methods of welding tubes/pipes for various cases such as: orbital welding of tubes, butt welding of tubes in a manner that the tube rotates, a circular welding of nozzles-headers joints and circular welding of tubes-headers joints on harps of superheaters, evaporators, reheaters - the possibility of automatization.

¹⁾ Austrian Energy & Environment, Đuro Đaković Termoenergetska postrojenja d.o.o., Slavonski Brod



1. UVOD

Zavarivanje je ostala jedna od najznačajnijih nerastavljivih tehnika spajanja sve do današnjih dana. U proizvodnji kotlovskih postrojenja, tlačnih dijelova i posuda, zavarivanje je najvažnija tehnologija spajanja. Norme tretiraju zavarivanje kao specijalan proces, zbog utjecaja tog procesa na svojstva predmeta spajanja. U normama su posebno definirana područja koja se odnose na kontrolu zavarenih spojeva, te je zbog toga razvijeno novo područje koje se odnosi na ispitivanje zavarenih spojeva bez razaranja. Zavareni spojevi na tlačnim dijelovima kotlovskih postrojenja sa aspekta kvalitete su najzahtjevniji i imaju najstrožije kriterije prihvatljivosti. Na kvalitetu zavarenog spoja utječu:

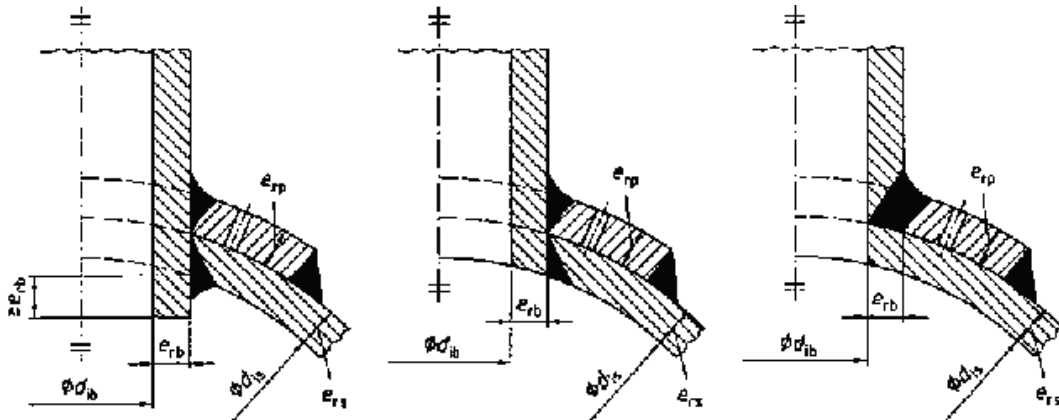
- postupak (postupci) zavarivanja,
- oblik spoja, pristupačnost
- osposobljenost, vještina zavarivača,
- varijable zavarivanja (bitne, dodatno bitne, nebitne),
- oprema za zavarivanje.

Od zavarenih konstrukcija osim što se traži da budu kvalitetne, odnosno da ispunjavaju tražene kriterije kvalitete, zahtijeva se da budu i tehnološki. Tehnološki je ona zavarena konstrukcija koja osigurava ispravno funkcioniranje proizvoda s traženom razinom pouzdanosti, u predviđenom vijeku eksploatacije, a uz najmanje troškove, najmanji utrošak materijala, najmanji utrošak energije i uz najmanje zagađivanje okoline. Troškovi izrade zavarene konstrukcije također utječu na svrsishodnost i mogućnost primjene takove konstrukcije. Na troškove izrade zavarene konstrukcije uglavnom najviše utječe stupanj mehanizacije procesa zavarivanja, a koji može biti ručni, mehanizirani, automatizirani i robotizirani. Smanjenje troškova izrade zavarene konstrukcije i zamjena štetnog ručnog zavarivanja koje je monotono i teško po zavarivača, su osnovni razlozi automatizacije procesa zavarivanja. Iz spomenutog proizlazi da automatizacijom procesa zavarivanja treba održati ili povećati nivo kvalitete zavarenih spojeva u odnosu na ručne postupke zavarivanja i smanjiti troškove zavarivanja, odnosno troškove izrade zavarene konstrukcije. Sa tehničkog gledišta na automatizaciju nekog procesa zavarivanja najviše utječu:

- broj komada za zavarivanje,
- mogućnost ostvarivanja kvalitetnog zavarenog spoja,
- oblik i dimenzije konstrukcije,
- pristupačnost mjesta zavarivanja,
- oblik spoja za zavarivanje, sučeljeni, kutni, preklopni, itd.,
- tolerancije pripreme spoja za zavarivanje,
- vrijeme zavarivanja,
- troškovi automatizacije procesa zavarivanja.

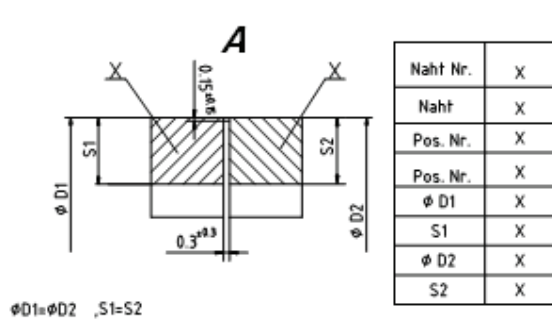
Zahtijevana kvaliteta za zavareni spoj direktno utječe na mogućnost odabira postupka zavarivanja, a samim tim i na oblik spoja za zavarivanje. Oblici spojeva često su propisani i u normama. Preporuka u normi EN 12952-3, koja se odnosi na proračun i oblikovanje vodocijevnih kotlova, je da tlačni zavareni spojevi budu izvedeni sa potpunom penetracijom, slika 1. Mehanizirani i automatizirani postupci zavarivanja koji se primjenjuju za izradu kotlovske tlačne opreme u ĐĐTEP-u su:

- automatizirani postupak za zavarivanje membranskih zidova,
- automatizirani i mehanizirani postupak za zavarivanje pregrijača, zagrijača, itd,
- mehanizirani postupci zavarivanje priključaka na komore,
- mehanizirani postupci za zavarivanje cjevovoda,
- mehanizirani postupak za izradu bubnjeva i posuda pod tlakom.

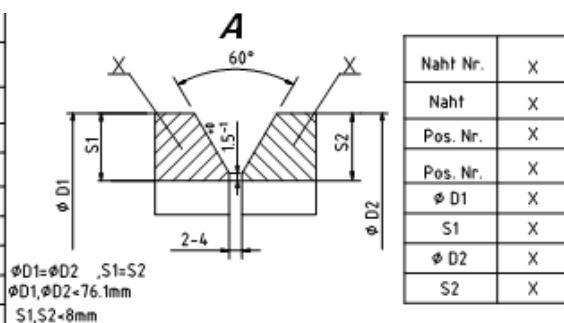


Slika 1. Oblici spojeva priključaka na plašt sa potpunom penetracijom, prema EN 12952-3 [1]

Pregrijači, ekonomajzeri, isparivači ili zagrijači zraka često su konstruirani u obliku cijevnih zmija, odnosno izrađuju se iz cijevi koje se savijaju u jednoj ili više ravnina. Najčešće su izrađeni od cijevi promjera od 31,8 do 63,5 mm i debljina stijenki od 3,2 do 8 mm ovisno o radnim parametrima pare, tlaku i temperaturi. Izrađuju se od niskolegiranih i visokolegiranih čelika, odnosno od feritnih, martenzitnih i austenitnih čelika, te njihovih kombinacija, ovisno o temperaturi pare, vrsti goriva, uvjetima u ložištu i specifičnostima produkata izgaranja. U ĐĐTEP-u se proizvode tako da se ravne cijevi međusobno zavaruju u dužinu od 40 m, nakon čega se savijaju. Ako je dužina pregrijača veća od 40 m, pojedinačne male cijevne zmije se međusobno spajaju, zavaruju u jednu veliku cijevnu zmiju pregrijača. Zavarivanje ravnih cijevi izvodi se automatiziranim TIG postupkom. U ovom slučaju TIG gorionik miruje, a cijev rotira i na taj način se izvodi zavarivanje. Gorionik se postavlja u najbolji položaj za zavarivanje, tako da su dopuštene veće tolerancije oblika spoja. Na slici 2 navodi se oblik spoja za mehanizirani TIG sučeljeni postupak zavarivanja. Vidi se da je oblik spoja vrlo jednostavan, I – sučeljeni spoj. Prednost ovakvog oblika spoja je jednostavna izrada, a sastoji se od rezanja cijevi i brušenja. Ovakav oblik spoja je primjenjiv zbog mirnoće i stabilnosti procesa zavarivanja, jer je električni luk nepomičan i nalazi se na jednom mjestu i omogućuje uzastopno rastaljivanje i skrutnjavanje taline na istom mjestu dok cijev rotira.



Slika 2. Oblik pripreme spoja za automatizirano sučeljeno zavarivanje cijevi [2]



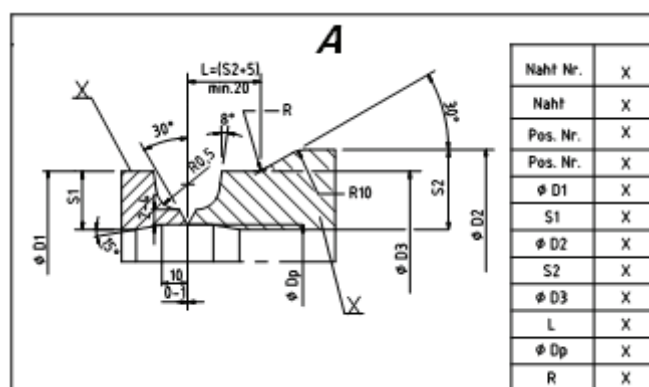
Slika 3. Detalj oblika spoja za ručno sučeljeno zavarivanje cijevi [2]

Razmak u grlu žlijeba i skošenje stranica žlijeba kod ručnog detalja za sučeljeno zavarivanje cijevi neophodno je zbog:

- bolje mogućnosti pristupa grlu žlijeba,
- bolje preglednosti tijekom zavarivanja korijena spoja,

- jednostavnijeg i kvalitetnijeg izvođenja korijena zavara,
- boljeg nadzora nad taljenjem ivica žlijeba,
- izbjegavanja grešaka vezivanja na stranicima žlijeba.

Orbitalni TIG postupak zavarivanja se također primjenjuje kod sučelnog zavarivanja cijevi pregrijača, zagrijača ekonomajzera i drugih cijevnih sistema. To je mehanizirani postupak zavarivanja kod kojeg TIG gorionik rotira oko nepomične cijevi. Pri tome rastaljena talina nastaje kontinuirano tijekom rotacije oko cijevi za 360° i na taj način popunjava žlijeb. Kod ovog postupka zavarivanja potrebno je kontrolirati unos topline tokom zavarivanja koji varira po putanji a posebno u nadglavnom položaju kako bi se izbjeglo nekontrolirano curenje taline ili propaljivanje spoja. Posebno za vrijeme izvođenja korijena zavara. Na slikama 2 i 4 mogu se vidjeti pripreme spoja za orbitalno sučeljeno zavarivanje cijevi.



Slika 4. Oblik spoja za TIG orbitalno sučeljeno zavarivanje cijevi [2]

Ovaj oblik spoja je konstruiran na takav način da omogući jednostavno zavarivanje korijena zavara. Mali unos topline ima za cilj sprječavanje grešaka geometrije zavara, udubljenosti-konkavnosti korijena zavara u nadglavnom položaju. Ostatak žlijeba je dovoljno otvoren tako da se omogućuje zavarivanje ostalih slojeva bez grešaka vezivanja. Izrada ovakvog žlijeba za sučeljeno zavarivanje je složenija nego kod ručnog postupka zavarivanja i automatiziranog postupka, gdje gorionik miruje, a cijev rotira.

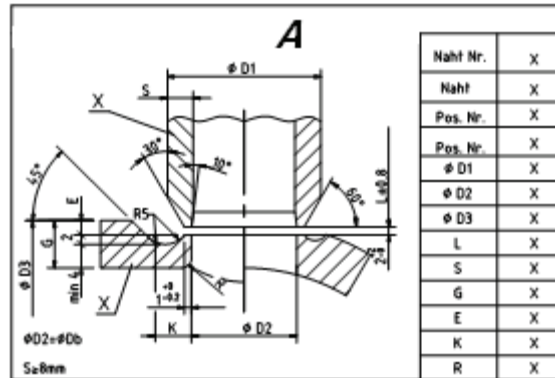
3. OBlici SPOJEVA ZA KRUŽNO ZAVARIVANJE SPOJEVA PRIKLJUČAKA NA KOMORE

Prema EN 12952-3, cijevne sabirnice definiraju se kao dijelovi u obliku cijevi, čiji je nominalni promjer veći od 76,2 mm i koje imaju tri ili više ne aksijalnih priključaka. Osnovna zadaća cijevnih sabirnica je sakupljanje i raspodjela medija kotla – vode ili pare. Zavarivanje cijevnih priključaka na cijevne sabirnice izvodi se zbog:

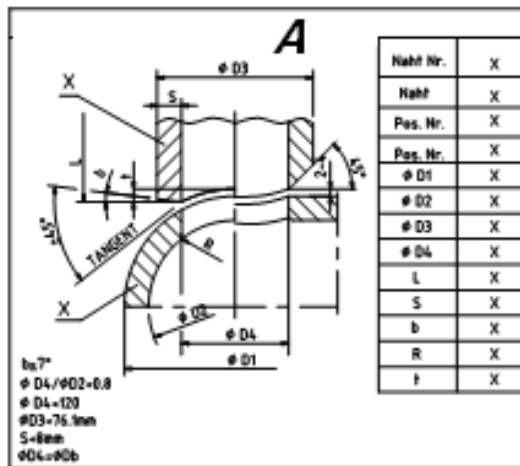
- postizanja kvalitetnijih zavarenih spojeva, lakše kontrole i dorade istih,
- lakšeg postavljanja i montaže ostalih dijelova koji se vežu na komoru, membranskih zidova, cijevi pregrijača i isparivača,
- izbjegavanja toplinske obrade cijele komore na terenu prilikom postavljanja i vezivanja komore sa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

Oblici spojeva koji se primjenjuju za zavarivanje tog spoja određuju se prema dimenzijama komora i priključaka i stupnju mehanizacije procesa zavarivanja, ručni ili mehanizirani postupak zavarivanja. Oblik spoja treba biti definiran tako da osigura potpunu

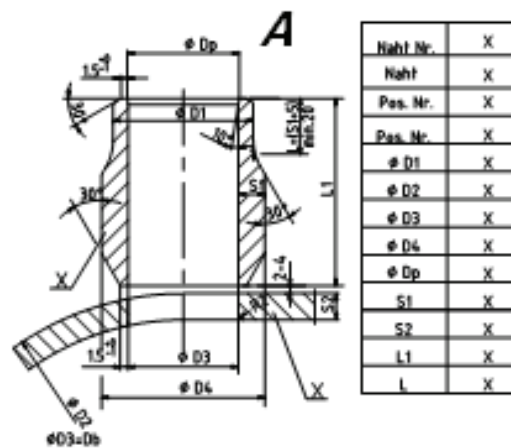
penetraciju zavarenog spoja. To znači da debljina zavarenog spoja mora biti jednaka ili veća od debljine stjenke osnovnog materijala, odnosno da zavareni spoj treba biti po cijelom poprečnom presjeku dijelova koji se zavaruju bez nedozvoljenih grešaka. Na slikama 5, 6 i 7 može se vidjeti nekoliko oblika spojeva za ručno zavarivanje cijevnih priključaka na komore.



Slika 5. Oblik spoja za ručno zavarivanje priključaka, cijevi membranskih zidova na komore [2]



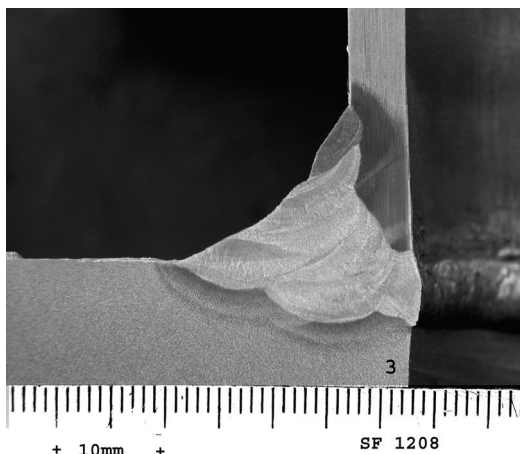
Slika 6. Detalj oblika spoja priključak komora gdje je omjer $\phi D4/\phi D2$ manji od 0,8 [2]



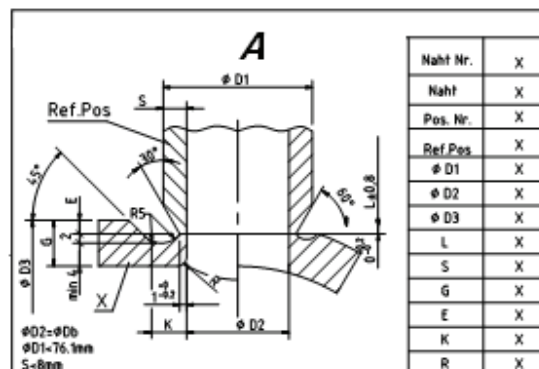
Slika 7. Detalj oblika spoja za zavarivanje priključaka za odzračivanje ili odvodnju iz komora [2]

Na slici 8 može se vidjeti makro presjek zavarenog spoja cijevni priključak- komora, zavaren TIG i REL postupcima zavarivanja u tvornici ĐĐTEP.

Oblik spoja za mehanizirani postupak zavarivanja priključaka na komora nešto se razlikuje od oblika spoja za ručno zavarivanje. Sa slike 9, može se vidjeti da nema zračnosti u grlu žlijeba. To omogućuje jednostavno postavljanje priključaka na komore i uvijek približno jednaku pripremu spoja za zavarivanje priključaka na komore. Pri tome su tolerancije dimenzija pripreme spoja uske a što je od izuzetne važnosti za mehanizirane i automatizirane postupke zavarivanja. Tolerancije pripreme spoja iznose $\pm 0,2$ mm za mehanizirani postupak zavarivanja priključaka na komore.



Slika 8. Makro presjek zavarenog spoja priključak – komora, zavaren ručnim TIG i REL postupcima zavarivanja [3].



Slika 9. Detalj oblika spoja za mehanizirano zavarivanja priključaka na komore [2]

Kod mehaniziranog zavarivanja priključaka na komore oblik spoja treba biti takav da se omogući [4]:

- jednostavno i brzo postavljanje priključaka na komore,
- lagano centriranje unutrašnjeg promjera priključka sa provrtom na komori,
- 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 komora,
- ostvarivanje kvalitetnog zavarenog spoja priključak - komora,
- jednostavnost konstrukcije alata za izradu žlijeba spoja priključak komora i njegova dostupnost na tržištu,
- jednostavna opreme za zavarivanje i njezina dostupnost,
- prihvatljiva cijena opreme za strojnu obradu i zavarivanje,
- smanjenje troškova zavarivanja i izrade zavarenih spojeva priključci - komore.

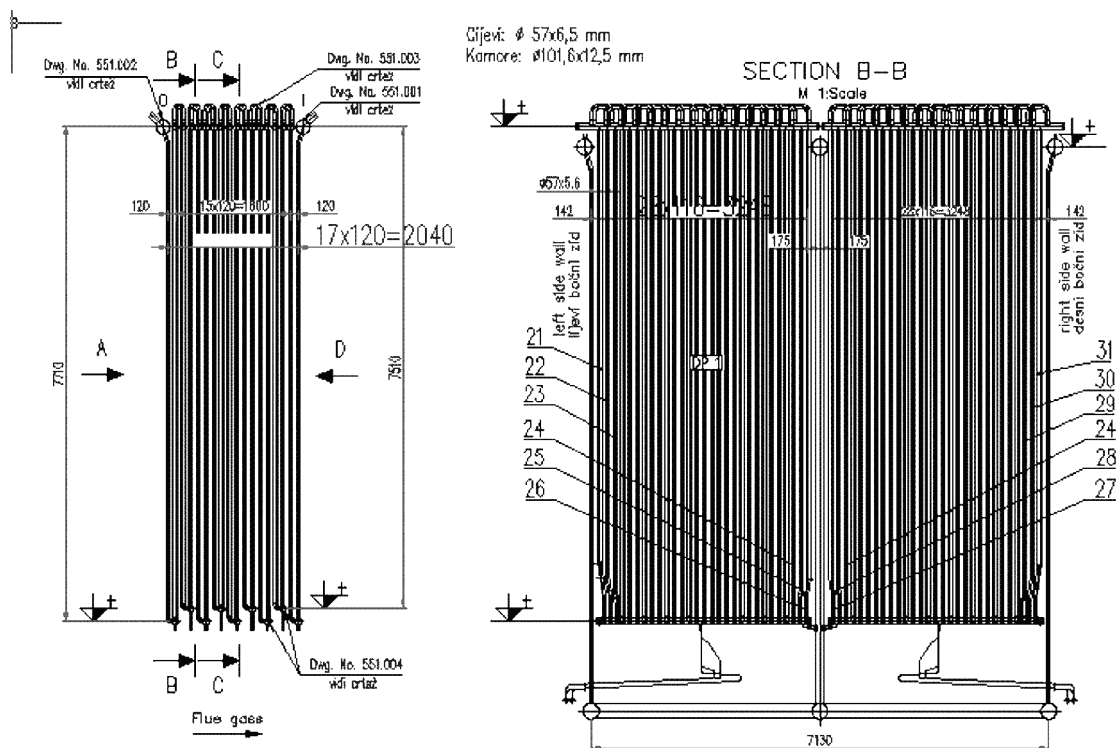
4. AUTOMATIZACIJA PROCESA ZAVARIVANJA SPOJEVA CIJEVI - KOMORE NA "HARFAMA" (CIJEVNIM BATERIJAMA)

Naziv "Harfe" je pojednostavljeno ime za posebno oblikovane konstrukcije kotlovskih pregrijača, ekonomajzera, zagrijača i isparivača. Harfe se sastoje od dvije komore, gornje i donje, a koje su međusobno spojene, povezane cijevima kroz koje struji para ili voda. Oko cijevnog sustava harfi struje produkti izgaranja koji predaju toplinu mediju koji struji kroz harfe. Na slici 10. može se vidjeti tipična konstrukcija harfi, a na slici 6. tipičan oblik spoja .

U ĐĐTEP-u se u ovom trenutku radi na pronalaženju rješenja automatizacije zavarivanja spojeva cijevi sa komorama na harfama budući da je broj ovakvih spojeva po kotlu i po nekoliko desetaka tisuća. Dva su pristupa rješenju ovog problema:

- zavarivanje korijena spojeva cijevi – komore ručnim TIG postupkom zavarivanja, a, popune jednim od automatiziranih postupaka zavarivanja
- primjena automatiziranih postupaka zavarivanja za korijen i popunu.

- Kao što se i sa slike 10. može vidjeti, postoji nekoliko ograničavajući faktora koji se odnose na mogućnost automatizacije zavarivanja spojeva cijevi – komore na harfama, a to su:
- promjenjivost dimenzija konstrukcije harfi, promjera komora i spojnih cijevi, dužine i širine harfi, razmaka između spojnih cijevi harfi, kutova prodora spojnih cijevi u komore harfi,
 - nedovoljna pristupačnost mjestu zavarivanja, mali razmak između spojnih cijevi harfi
 - određivanje postupaka zavarivanja za spojeve cijevi – komore, korijen – popuna, zahtjevi za kvalitetu su najstrožiji, EN 25872, klasa B,
 - upitna mogućnost primjene specijalnih gorionika za zavarivanje zbog skućenog okolnog prostora, a i sama izrada takvih gorionika,
 - smanjenje vremena zavarivanja spojeva cijevi – komore, primjenom odabranih postupaka zavarivanja
 - velike tolerancije: debljine stijenki, promjera, ovalnosti i progiba komora i cijevi harfi,
 - oblik spoja, koji se djelomično ručno priprema za ručno zavarivanje, slika 6,
 - oblik spoja koji treba imati uske tolerancije pripreme spoja, što će vjerojatno uzrokovati velike troškove pripreme oblika spoja, zbog velikih tolerancija cijevi i komora.
 - oblik, dimenzije i sama konstrukcija harfi, nemogućnost reparature u eksploataciji u slučaju propuštanja, veliki troškovi.



Slika 10. Primjer izgleda jedne od harfi

5. ZAKLJUČAK

Danas se ručna zavarivanja u društvu percipiraju kao težak, manje vrijedan posao, koji je štetan po zdravlje ljudi. Posljedica takve percepcije je nedostatak zavarivača na tržištu rada. Da bi se smanjio jaz između potreba današnje privrede i ponude tržišta zavarivačima, teži se automatizaciji i mehanizaciji procesa zavarivanja u većini proizvodnih firmi. S tehničkog



gledišta može se zaključiti da su osnovne varijable koje utječu na mehanizaciju i automatizaciju zavarivanja:

- postupak zavarivanja,
- metoda praćenja spoja, žlijeba, automatska ili pomoću operatera,
- način kontrole zavarivanja, direktno i posredno (daljinski),
- položaj zavarivanja,
- zavarivanje u jednom ili više prolaza,
- oblik spoja – zavarivanje sa ili bez podloge,
- pristupačnost, mogućnost izvođenja mehaniziranog zavarivanja.

Prema ASME sekciji IX oblik spoja je nebitna varijabla, jer nema značajnog utjecaja na mehanička svojstva zavarenog spoja. Sa operativnog aspekta odnosno mogućnosti izvođenja kvalitetnog zavarenog spoja mehaniziranim postupkom zavarivanja, oblik spoja je jedna od najbitnijih varijabli. Samo se sa točno definiranim oblikom spoja, koji je izrađen u uskim tolerancijama (0,3 mm) može postići ponovljivost kvalitetno izvedenih zavarenih spojeva mehaniziranim postupcima zavarivanja. Nadalje oblik spoja za bilo koji način zavarivanja značajno utječe i na troškove zavarivanja, odnosno na ukupne troškove izrade zavarene konstrukcije.

6. LITERATURA

- [1] CEN (Europski komitet za normizaciju): EN 12952-3, Brussels, 2001.
- [2] ĐĐTEP, Interni standard, oblici spojeva za zavarivanje, Slavonski Brod, 2009.
- [3] Pecić, Vladimir; Budić, Ivan: Izvješće o postupku ispitivanja zavarenog spoja SF1208/03, Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2003.
- [4] Marsenić, Tihomir; Diplomski rad: Automatizacija zavarivanja cijevnih priključaka na cijevne sabirnice u kotlogradnji, Slavonski Brod, 2007.