

**INTERNACIONALNI UNIVERZITET TRAVNIK U TRAVNIKU
FAKULTET POLITEHNIČKIH NAUKA TRAVNIK U
TRAVNIKU**

ZAVRŠNI RAD

**TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA I
ISPITIVANJE KVALITETE ZAVARENOG
SPOJA BEŠAVNIH CIJEVI**

Mentor:
Doc. dr Milan Plavšić

Student:
Dervić Adis

Travnik, juli 2019.

Z A D A T A K

Naziv teme : **TEHNOLOGIJA ZAVARIVANJA I ISPITIVANJE
KVALITETE ZAVARENOG SPOJA BEŠAVNIH CIJEVI**

Osnovni sadržaj : Postupak zavarivanja. Bešavne cijevi. Ispitivanje mehanički svojstava.
Ispitivanje mikrostrukture zavara. Program bešavnih cijevi.

Cilj i svrha : Realizacijom ovog zadatka daje se pregled optimalnog zavarivanje bešavnih cijevi sa svrhom poboljšanja i održanja kontinuiteta proizvodnje. Analizom zahtjeva u primjeni bešavnih cijevi i mogućnostima zavarivanja bešavnih cijevi pojedinim postupcima moguće je odrediti najpovoljniji postupak zavarivanja.

SADRŽAJ

| | | |
|--------|--|----|
| 1. | UVOD | 5 |
| 1.1. | Opis problema..... | 5 |
| 1.2. | Cilj i svrha..... | 5 |
| 1.3. | Polazna hipoteza | 5 |
| 1.4. | Metode istraživanja..... | 5 |
| 2. | OPIS POSTUPAKA ZAVARIVANJA | 6 |
| 2.1. | REL postupak zavarivanja | 6 |
| 2.2. | MIG postupak zavarivanja..... | 8 |
| 2.3. | MAG postupak zavarivanja | 9 |
| 2.4. | TIG postupak zavarivanja..... | 10 |
| 2.5. | Elektrode za zavarivanje | 12 |
| 2.6. | Oblici žljebova zavarivanja..... | 13 |
| 2.7. | Metode ispitivanja zavarenih spojeva..... | 15 |
| 2.7.1. | Metode ispitivanja zavarenih spojeva cijevi | 18 |
| 3. | BEŠAVNE CIJEVI | 19 |
| 3.1. | Tehnološki proces proizvodnje bešavnih cijevi | 19 |
| 4. | ISPITIVANJE MEHANIČKIH SVOJSTAVA..... | 20 |
| 4.1. | Vlačno ispitivanje | 21 |
| 4.2. | Ispitivanje savijanjem | 22 |
| 4.3. | Ispitivanje tvrdoće..... | 24 |
| 4.4. | Ispitivanje udarnog rada loma..... | 25 |
| 5. | ISPITIVANJE MIKROSTRUKTURE ZAVARA..... | 26 |
| 5.1. | Priprema uzoraka za metalografsku analizu | 26 |
| 5.2. | Određivanje mikrostrukture | 27 |
| 5.3. | Određivanje veličine kristalnih zrna | 28 |
| 6. | POSTUPAK ISPITIVANJA BEŠAVNIH CIJEVI NA KONKRETNOM PRIMJERU .. | 29 |
| 7. | ZAKLJUČAK | 36 |
| | LITERATURA..... | 37 |

Dervić Adis

Z A H V A L N I C A

Želim se zahvaliti mentoru Doc.Dr Milanu Plavšić na korisnim sugestijama i tehničkoj pomoći prilikom izrade završnog rada. Posebna zahvalnost na iskzanim strpljenju i podršci za svo vrijeme trajanja ovoga studija i prilikom izrade završnog rada pripada mojoj djeci kćerki Sari i sinu Anelu, supruzi Melisi, mojim roditeljima Nurki i Dervišu i bratu Emiru.

1. UVOD

1.1. Opis problema

Tema završnog rada je tehnologija zavarivanja i ispitivanje kvalitete zavarenog spoja bešavnih cijevi. U radu se razmatraju osnovni postupci zavarivanja materijala, proizvodnja bešavnih cijevi i primjena u industriji, te se postavlja problem na koji način postupci zavarivanja utiču na kvalitetu završnih zavarenih spojeva bešavnih cijevi. Tehnologija zavarivanja cijevi je jako bitna i utiče na mehanička svojstva određenih zavara i utiče na njihovu unutrašnju strukturu.

1.2. Cilj i svrha

Svrha rada je proučiti postupke zavarivanja bešavnih cijevi, odrediti postupak zavarenih spojeva bešavnih cijevi, provjeriti kvalitetu nastalih zavarenih spojeva, te na osnovu dobijenih rezultata odrediti metode optimiranja zavarivanja bešavnih cijevi sa svrhom poboljšanja kvalitete i mehaničkih svojstava zavarenih spojeva, a time i završne konstrukcije.

1.3. Polazna hipoteza

Prvo ćemo krenuti od analize zahtjeva primjenjenih postupaka zavarivanja, te njihovim mogućnostima pri spajanju i montaži bešavnih cijevi kako bi se odredio najpovoljniji postupak zavarivanja bešavnih cijevi. U nastvaku rada će biti provjeroeno primjenom programa ispitivanje bešavnih cijevi na konkretnom primjeru.

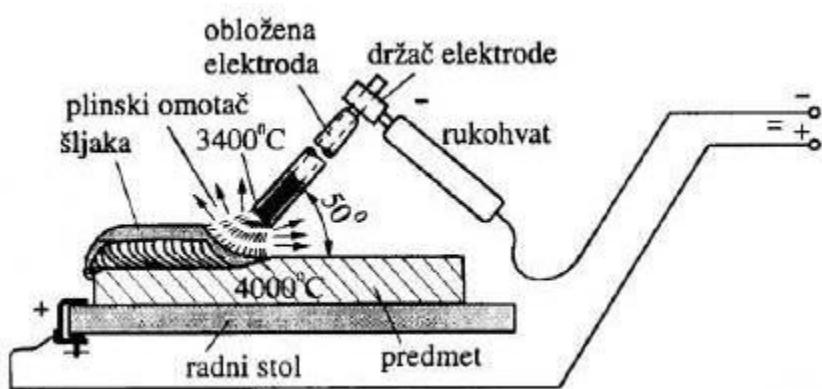
1.4. Metode istraživanja

Metode istraživanja koje su se koristile pri izradi ovoga završnog rada su : proučavanje prednosti i nedostataka postojećih postupaka zavarivanja koji se primjenjuju za spajanje bešavnih cijevi, te načini ispitivanja kvalitete zavrenih spojeva. Dalje, ssmo se upoznali sa industrijskom metodom proizvodnje bešavnih cijevi kako bi se odredile karakteristike i pregled načina ispitivanja mehaničkih svojstava cijevi u svrhu određivanja njihove kvalitete. U završnom dijelu se na praktičnom primjeru istražuje kvaliteta bešavne čelične cijevi primjenom vlačnog pokusa kroz strukturirani program ispitivanja kako bi se provjerila polazna hipoteza i kako bi se dobili rezultati.

2. OPIS POSTUPAKA ZAVARIVANJA

2.1. REL postupak zavarivanja

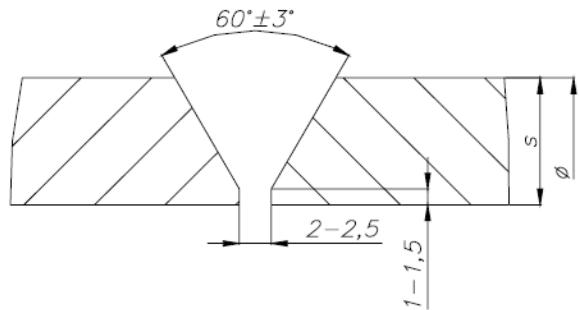
Zavarivanje je spajanje dijelova dovođenjem toplote koji su na mjestu spoja omekšani ili rastopljeni, uz dodavanje dodatnog materijala ili bez njega. Nakon hlađenja i skrućivanja materijala , zavareni dijelovi ostaju trajno spojeni. REL (ručno elektrolučno zavarivanje) postupak zavarivanja je vrsta zavarivanja kod kojega se električni lukuspostavlja kratkim spojem, tj. iskrenjem između elektrode i radnog metalnog komada, priključaka na polove istosmjerne ili izmjenične struje. Nakon toga slijedi ravnomjerno dodavanje elektrode u električni luk od strane zavarivača, te topljenje elektrode i formiranje zavarenog spoja (Slika 1.)



S1.1. Glavni elementi REL postupka zavarivanja

REL postupak ima široke mogućnosti primjene : kod proizvodnih zavarivanja, navarivanja i reparaturog zavarivanja većine metalnih materijala. Ali zbog ekonomičnosti (male brzine zavarivanja) se primjenjuje za zavarivanje kraćih zavar, obično debljine do 15 mm (20 mm) kod čeonih zavarenih spojeva, te kraćih kutnih spojeva manje debljine zavara (gdje se obično ne traži pojačani prodor u korijenu zavara). Glavni radni parametri kod REL postupka zavarivanja su : napon zavarivanja (U) koji se tokom zavarivanja kreće između 18V i 26V, jačina struje zavarivanja (I) koja zavisi od promjera elektrode (jačina struje u amperima se izračunava tako da se promjer elektrode φ u milimetrima pomnoži sa 40), brzina zavarivanja (v), koja ovisi o primjenjenoj tehnici zavarivanja (povlačenje ili njihanje elektrode), te o promjeru elektrode. Napon praznog hoda je najčešće 60V. Stupanj iskorištenja energije za topljenje se kreće između 0,75 i 0,85 tj. 75% do 85%.

Prije početka zavarivanja potrebno je pripremiti komade materijala koji se zavaruju na način da se mehaničkim putem izrade žljebovi, kao što je prikazano na slici 2.



Sl. 2. Pripremljeni žlijeb za zavarivanje

Glavne prednosti REL postupka zavarivanja u odnosu na druge postupke su : dobra mehanička svojstva zavara, pogodan postupak za manja proizvodna i reparaturna zavarivanja, moguće je zavariti u različitim položajima zavarivanja, pogodan za rad na terenu i jednostavno rukovanje opremom, te jeftinija oprema za zavarivanje.

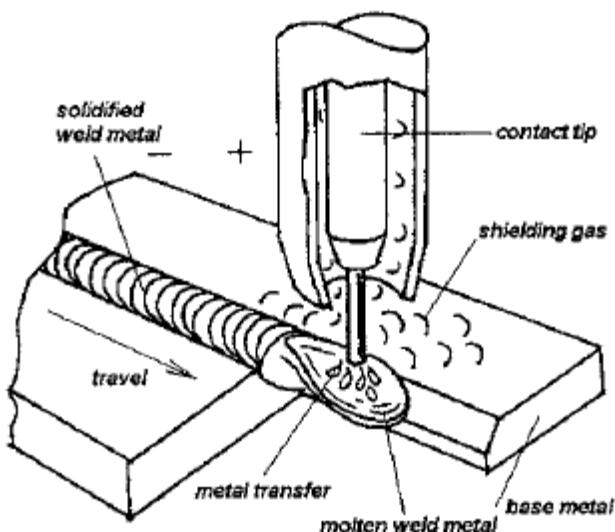
Nedostaci REL postupka zavarivanja : kvaliteta zavara značajno zavisi od vještine zavarivača, dugotrajno vrijeme potrebno za obuku zavarivača, razvijaju se štetni plinovi (potrebna dobra ventilacija prostora) mala brzina zavarivanja i niska produktivnost u odnosu na MAG, neizbjegjan je otpad elektroda (8 – 10 %), te gubitak materijala zbog prskanja u okolinu, teže čišćenje troske nakon zavarivanja i gubitak vremena zbog čišćenja troske, te dolazi do jakog bljeskanja pri zavarivanju (slika 3.)



Sl.3. Zavarivanje cijevi REL postupkom

2.2. MIG postupak zavarivanja

MIG postupak zavarivanja (Metal Inert Gas) ili elektrolučno zavarivanje topljivom žicom u zaštiti neutralnog (inertnog) plina, najčešće argona, je vrsta elektrolučnog zavarivanja. Osnovni princip MIG postupka zavarivanja je takav da se električni luk uspostavlja pojavom kratkog spoja iskrenjem između žice za zavarivanje i radnog komada, tj. priključaka na polove električne struje, kako je prikazano na slici 4.



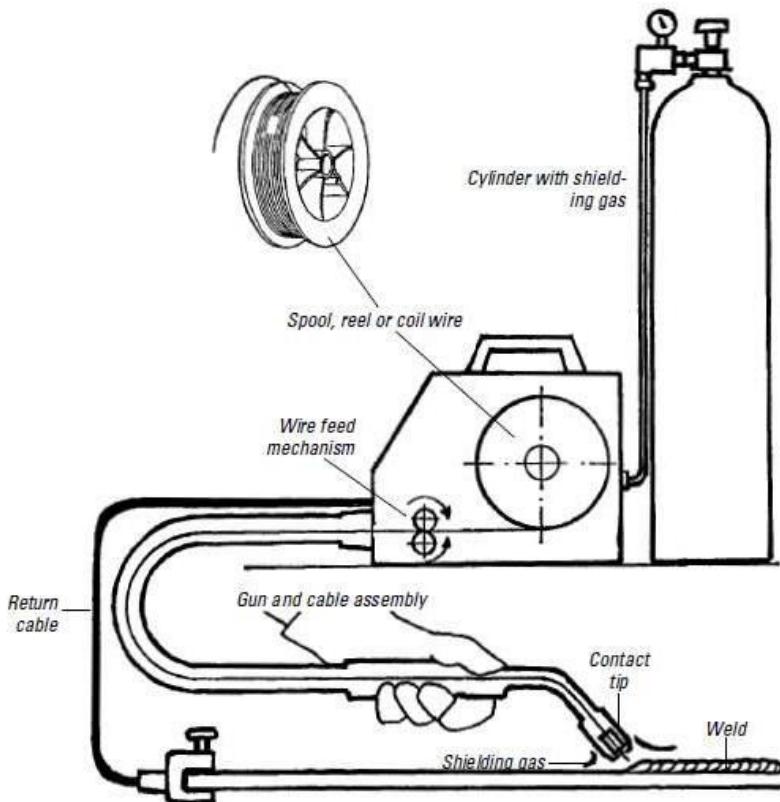
S1.4. MIG postupak zavarivanja

Glavni parametri kod MIG zavarivanja su: jačina struje koja zavisi od promjera žice i kreće se između 80A i 180A, napon zavarivanja (U), koji se tokom zavarivanja kreće od 16V do 26V, brzina zavarivanja (v), koja se kreće zavisno o primjenjenoj tehnici zavarivanja, promjeru žice za zavarivanje i parametrima zavarivanja (2 do 4 mm/s).

Prednosti MIG postupka zavarivanja su: razvijen dovoljno širok spektar dodatnih materijala za zavarivanje, niža cijena opreme za zavarivanje (uređaja za zavarivanje), pogodan postupak za pojedinačna i masovna zavarivanja, mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja, pogodno za automatizaciju i robotizaciju, veća učinkovitost (nastaje manje kilograma depozita tijekom jednog sata zavarivanja).

Nedostaci MIG postupka zavarivanja su: kvaliteta zavara ovisi o vještini zavarivača, kvaliteta zavarenog spoja je slabija, dolazi do pojave jakog bljeskanja pri zavarivanju i oslobađaju se štetni plinovi (potrebna dobra ventilacija), dugotrajni rad može ostaviti štetne posljedice na zdravlje zavarivača.

Standardna oprema za MIG postupak zavarivanja prikazana je na slici 5.



Sl.5. Oprema za zavarivanje MIG postupkom

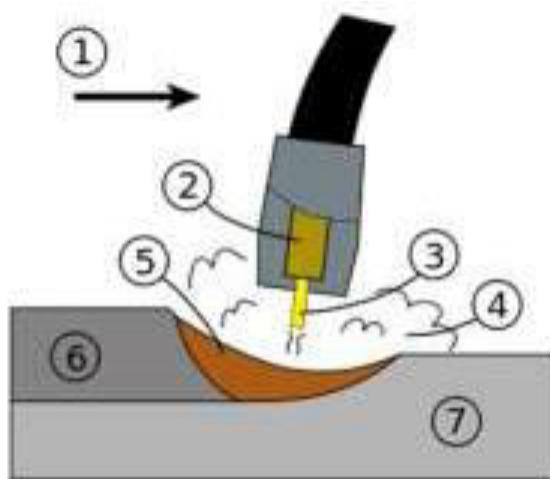
2.3. MAG postupak zavarivanja

MAG (Metal Active Gas) postupak zavarivanja je vrsta elektrolučnog zavarivanja pri kojem dolazi do topljenja metala u okruženju aktivnog zaštitnog plina (najčešće korišteni plin je ugljikov dioksid ili u plinskoj smjesi (koriste se plinovi argon i ugljikov dioksid, ili argon, ugljikov dioksid i kisik) pomoću topljive elektrode u obliku žice, slično zavarivanju MIG postupkom. Električni luk se uspostavlja kratkim spojem između žice za zavarivanje i radnog komada, tj. priključaka na polove istosmjerne električne struje. Glavni parametri kod MAG zavarivanja su: napon zavarivanja (U), koji se tijekom zavarivanja kreće od 16V do 26 V; jačina struje zavarivanja (I), koja se pri zavarivanju kreće ovisno o promjeru žice za zavarivanje (od 80A do 180, A), brzina zavarivanja (v), koja se kreće zavisno o primjenjenoj tehnici zavarivanja i promjeru elektrode (od 2 do 4 mm/s).

Prednosti MAG postupka zavarivanja su: kvalitetan zavar i dobra mehanička svojstva zavara, postoje brojni dodatni materijali za zavarivanje, jeftinija oprema za zavarivanje, mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja, pogodan za pojedinačnu i masovnu proizvodnju, te za reparturna zavarivanja, manji gubici vremena zavarivača (nema izmjene elektrode kao kod REL zavarivanja, manje čišćenje zavara), pogodan za automatizaciju i robotizaciju.

Nedostaci MAG postupka zavarivanja su: pri zavarivanju se oslobađaju plinovi, kvaliteta zavara još uvijek zavisi o vještini zavarivača, dolazi do jakog bljeskanja pri zavarivanju,

dugotrajni rad može ostaviti štetne posljedice na zdravlje zavarivača. Nakon toga slijedi ravnomjerno dodavanje žice za zavarivanje u električni luk (elektromotor, valjci za ravnanje i povlačenje ili potiskivanje žice), te topljenje žice i formiranje zavarenog spoja slika 6. prikazuje zavarivanja MAG postupkom.



Sl.6. MAG postupak zavarivanja

1. smjer zavarivanja
2. vodilica elektrode
3. elektroda
4. smjesa plina
5. mješavina rastopljenog metala
6. dubina zavara
7. osnovni materijal

2.4. TIG postupak zavarivanja

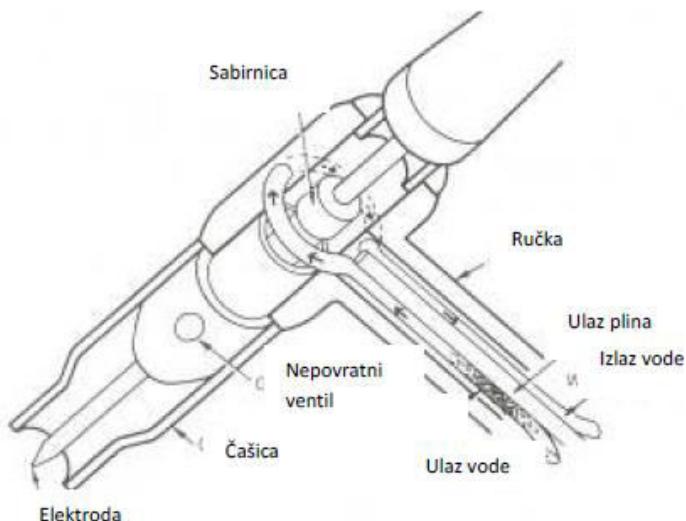
Osnovni princip TIG (Tungsten Inert Gas) postupka zavarivanja je uspostava električnog luka pomoću visokofrekventnog generatora koji se uključuje samo u djeliću sekunde, neposredno pred zavarivanje. Nakon uspostavljanja električnog luka između netopljive volframove elektrode i metala koji se zavaruje, tj. priključaka na polove istosmjerne ili izmjenične električne struje, generator se isključuje, a proces zavarivanja se odvija sa ili bez dodavanja dodatnog materijala (žice) u električni luk. Nakon toga slijedi topljenje rubova žljeba za zavarivanje (kod tanjih materijala koristi se "I" spoj), odnosno ravnomjerno ručno dodavanje žice za zavarivanje u električni luk, te topljenje žice i formiranje zavarenog spoja (kod debljih materijala ili kod provarivanja korijena debelih materijala).

Prednosti TIG postupka zavarivanja su: kvaliteta zavarenog spoja vrlo visoka (s obzirom na broj grešaka u zavarenom spoju i mehaničkih svojstava zavara), pogodan za reparaturna zavarivanja, mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja.

Nedostaci TIG postupka zavarivanja su: kvaliteta zavara još uvijek ovisi o vještini zavarivača, viša cijena opreme za zavarivanje u odnosu na MIG postupak zavarivanja, nije pogodan za automatizaciju i robotizaciju, manja učinkovitost (kg depozita/h) u odnosu na

MIG i plazma zavarivanje, dolazi do jakog bljeskanja pri zavarivanju, pri zavarivanju se oslobađaju plinovi (potrebna dobra ventilacija prostora), dugotrajni rad može ostaviti štetne posljedice na zdravlje zavarivača.

Slika 7. prikazuje standardni oblik zavarivačkog pištolja volframove elektrode koji ima kanal za dovod plina i prateći kanal za hlađenje vodom zato što tokom zavarivanja dolazi do pojave velikih količina topote koju treba odvoditi zbog sigurnosti.



S1.7. Dijelovi držača (zavarivačkog pištolja) volframove elektrode

Za orijentaciju kod odabira povoljnog postupka zavarivanja bitno je korstiti Tablicu 1. gdje se postupak zavarivanja određuje prema debljini materijala.

| Postupak zavarivanja | Debljina materijala, mm |
|----------------------|-------------------------|
| REL | 2 – 5 (5 – 150) |
| MIG (kratki luk) | 0,5 – 4 (4 – 15) |
| MIG (normalni luk) | 2 – 8 (8 – 50) |
| MAG | Do 3 (3 – 50) |
| TIG | Do 4 (4 – 10) |

Tabela 1. Postupci zavarivanja zavisno od debljine materijala

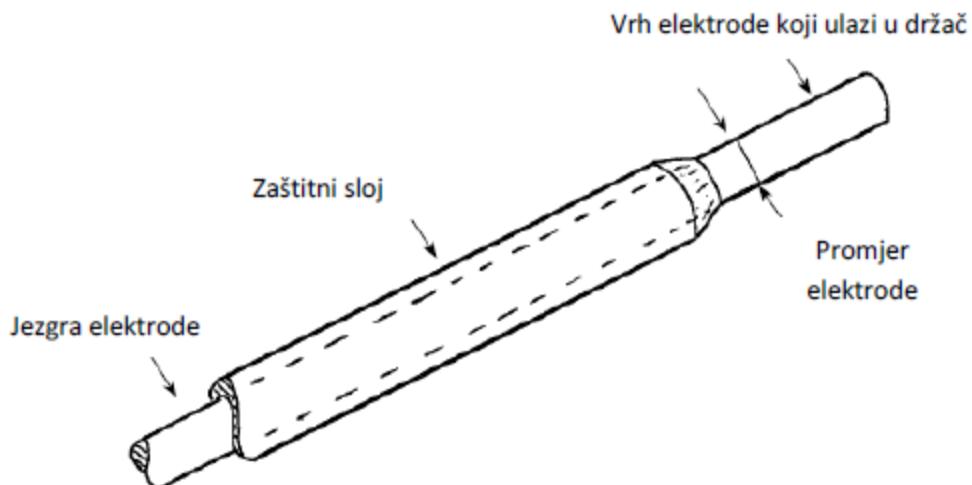
2.5. Elektrode za zavarivanje

Razvojem tehnologije zavarivanja, dostupan je širok raspon elektroda, tj. dodatnih materijala za zavarivanje od kojih se izrađuju elektrode tj. žice. Međutim, uvijek se postavlja pitanje kako pravilno odabrati dodatni materijal za zavarivanje. To u prvom redu zavisi od osnovnog materijala koji će se zavarivati i kojeg treba odrediti ukoliko nije unaprijed poznat. Za izbor dodatnog materijala za zavarivanje potrebno je unaprijed znati slijedeće parametre: vrstu osnovnog materijala koji treba zavarivati te njegova fizikalna i hemijska svojstva, otpornost prema koroziji, granicu razvlačenja, pripremu spoja za zavarivanje, čvrstoću zavara, zavarljivost, radnu temperaturu, metodu toplinske obrade spoja nakon zavarivanja, mogućnost nastajanja pukotina te postupak zavarivanja koji će se primjeniti. Dodatni materijali moraju biti ispitani i odobreni od strane nadležnih tijela temeljem zahtjeva proizvođača i priložene tehničke dokumentacije.

Podaci o dodatnim materijalima moraju sadržavati naziv proizvođača, trgovački naziv, oznaku i tip materijala, kategoriju, područje primjene uključujući i osnovni materijal, hemijski sastav i mehanička svojstva metala zavara, dimenzije, upute za upotrebu (tip struje, polaritet, obradu), klasifikaciju (EN, ISO, itd), predloženo laboratorijsko ispitivanje i datum ispitivanja.

Vrste dodatnih materijala od kojih se izrađuju elektrode tj. žice za zavarivanje razmatraju se za prethodno opisane postupke zavarivanja :

- kod REL postupka zavarivanja koriste se elektrode koje su izrađene od žice legiranog materijala obložene zaštitnim slojem izrađenim od mješavine metala i mineral koji pospješuje pojavu električnog luka i stabilnost luka tokom zavarivanja kao što je prikazano na Slici 8.



Sl.8. Sastavni dijelovi elektrode za REL postupak zavarivanja

Elektrode se dijele na organske (celulozne), rutilne (titaniјev oksid), kisele i lužnate. Celulozne elektrode se koriste za zavarivanje u svim položajima zavarivanja izmjeničnom ili istosmjernom strujom strujom. Brzina taljenja im je velika, a nastala se troska lako odvaja. Radi velikog provara se koriste za zavarivanje

korijena u cijevi. Rutilne elektrode se mnogo koriste zbog dobrih mehaničkih svojstava zavara, stabilnosti električnog luka, mogućnosti korištenja istosmjerne i izmjenične struje zavarivanja, pravilnog izgleda zavara, lakog čišćenja troske.

Nedostatak primjene ovih elektroda je kod zavarivanja čelika sa višim sadržajem sumpora, mogućnosti nastajanja toplih pukotina i slabija žilavost zone topljenja u odnosu na bazične elektrode.

Kisele elektrode nije preporučljivo koristiti za zavarivanje čelika sa višim sadržajem sumpora radi opasnosti od toplih pukotina. Ove se elektrode mogu koristiti u svim položajima zavarivanja pomoću istosmjerne ili izmjenične struje za zavarivanje. Elektrode u normalnim uslovima zavarivanja (bez vlažnosti okoline, uz dobro skladištenje i rukovanje) nije potrebno sušiti.

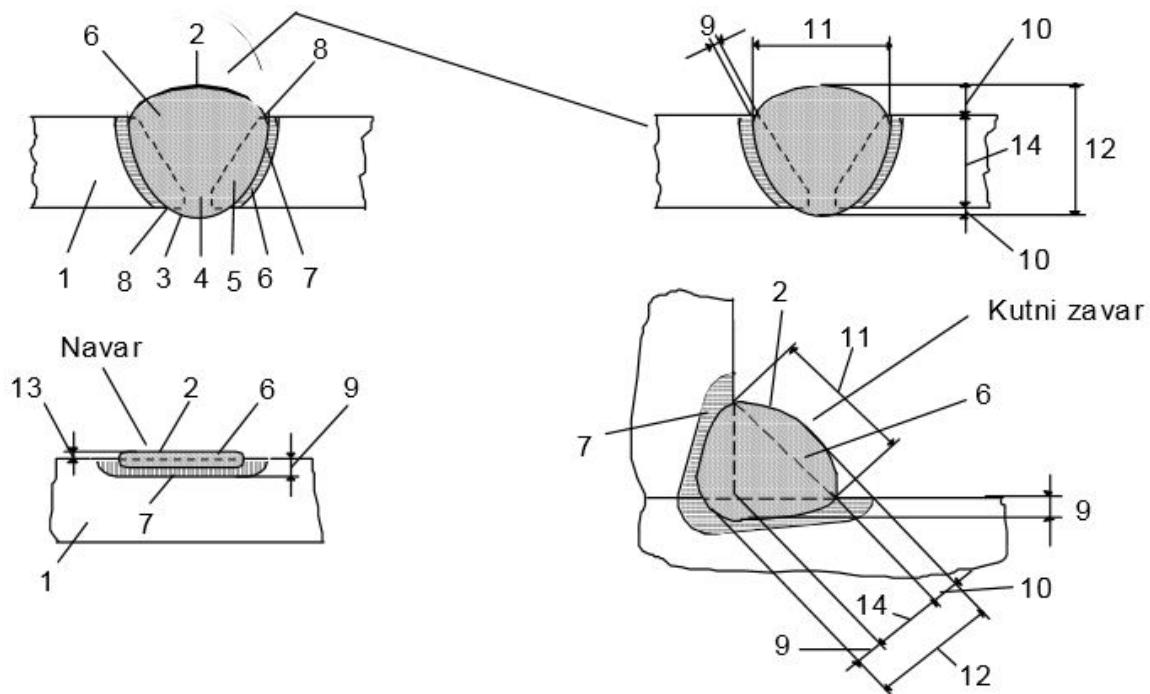
Bazične elektrode daju zavareni spoj dobrih mehaničkih svojstava (posebno kod izduženje i žilavosti spoja), a zbog manje prisutnosti štetnih plinova i nemetalnih uključaka (sastav troske veže O₂, H₂, S i P), manja je sklonost pukotinama i poroznosti. Nedostaci primjene ovih elektroda su: teže čišćenje troske, poroznost u korijenu zavara ako je duži električni luk (zavarivanje pod 90°), nešto grublji izgled lica zavara, slabija stabilnost električnog luka kod zavarivanja, (zbog visokog sadržaja CaF₂), karakteristike zavara zavise o zavarivaču.

Bazične elektrode se najčešće koriste kod zavarivanja zahtjevnih konstrukcija.

- kod MIG i MAG postupka zavarivanja koriste se elektrode tj. žice koje imaju čistu površinu i odgovarajuću toplotnu vodljivost. Žice se izrađuju od čeličnih materijala, najčešće presvučenih bakrom, izbor žice mora biti u skladu sa jačinom električne energije i materijalom koji treba zavariti.
- kod TIG postupka zavarivanja koriste se netopljive elektrode načinjene od čistog volframa, od kombinacije volfram i torijev oksida ThO₂, od volfram i cirkonijeva oksida ZrO₂ ili od volframa i lantanova oksida LaO₂.

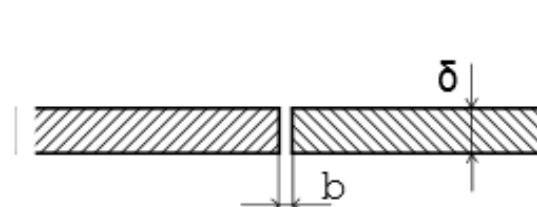
2.6. Oblici žljebova zavarivanja

Oblici žljebova zavarivanja zavise od vrste osnovnog materijala koji se zavaruje i od postupka zavarivanja. Prije početka postupka zavarivanja, potrebno je pripremiti osnovni materijal i urezati ili izbrusiti odgovarajući oblik žljebova. Priprema oblika žljeba se određuje prema standardima kao što su API, ASME, EN, DIN, HRN i sl. Debljina materijala također ima veliki utjecaj. Isto tako, oblik žljeba izravno utječe na njegovu površinu, a time i na masu dodatnog materijala. Kako je masa dodatnog materijala jedan od pokazatelja troškova zavarivanja, pri određivanju tehnološkog postupka treba voditi računa o obliku žljeba. Temeljni pojmovi povezani sa žljebom i zavarenim spojem tj. mjestom spajanja dvaju ili više radnih komada postupkom zavarivanja prikazani na Slici 9. su: 1. osnovni materijal, 2. lice zavara (površina zavara), 3. naličje zavara (površina korijenskog dijela zavara), 4. korijen zavara (dio zavarenog spoja u korijenu žljeba), 5. granica topljenja, 6. zona topljenja (zavar, šav, navar), 7. zona utjecaja topline, 8. rub zavara je linija zavara (granica taljenja na površini) između lica (nadvišenja) i osnovnog materijala 9. dubina uvara (dio pretaljenog osnovnog materijala), 10. nadvišenje lica zavara i nadvišenje u korijenu zavara, 11. širina zavara, 12. debljina zavara (stvarna), 13. debljina navara, 14. proračunska debljina zavara.

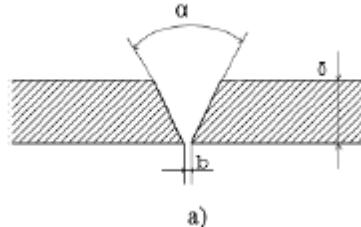


Sl.9. Osnovni elementi žlijeba i zavarenog spoja

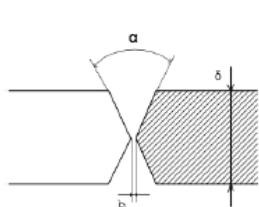
Rubovi materijala prije zavarivanja moraju biti odgovarajuće pripremljeni. Potrebno ih je oblikovati tako da se prilikom montaže može ostvariti potreban oblik spoja. Oblik žljeba ovisi u najvećoj mjeri o dužini materijala, postupku zavarivanja, te o dostupnosti spoja. Kako bi se omogućilo spajanje materijala po čitavoj debljini, u žljebu se ostavlja razmak. Kada je debljina materijala veća, sam razmak nije dovoljan, već se rubovi ukose kako bi se omogućio pristup elektrode odnosno električnog luka donjem rubu žljeba. Ravnanje na rubu skošenja izvodi se radi preciznijeg održavanja zadanog razmaka među rubovima žljeba. Zbog različitih zahtjeva za oblikom spoja, postupkom zavarivanja, i drugih prethodno navedenih razloga postoje i različite vrste i oblici žljebova, slika 10.



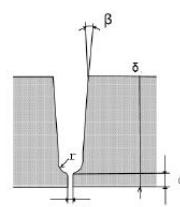
I“ žlijieb



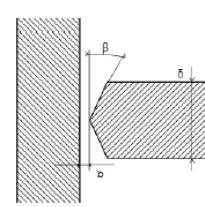
V“ žlijeb



„X“ žlijeb



„U“ žljeb



„K“ žlijeb

Sl.10 Vrste žlijebova

Postupci za pripremu žlijeba se mogu podijeliti u dvije osnovne grupe :

a) mehanički postupci:

- rezanje škarama (samo za "I" spoj i manje složene konstrukcije)
- obrada odvajanjem čestica (tokarenje, blanjanje, glodanje, pneumatsko rezanje)

b) toplinska rezanja i žlijebljenja:

- plinsko rezanje i žlijebljenje, plazma rezanje, rezanje i žlijebljenje ugljenom elektrodom i komprimiranim zrakom, rezanje šupljom obloženom elektrodom i kisikom

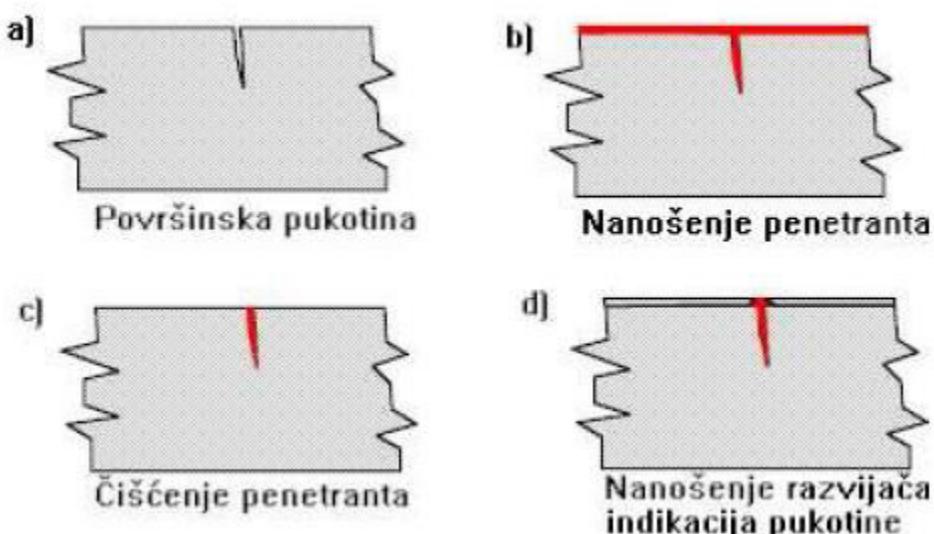
2.7. Metode ispitivanja zavarenih spojeva

Metode ispitivanja zavarenih spojeva se odnose na kontrolu kvalitete zavarenih spojeva nakon zavarivanja. Osnovna podjela :

- metode ispitivanja bez razaranja
- metode ispitivanja razaranjem.

Metode ispitivanja bez razaranja su: vizualna kontrola, dimenzionalna kontrola, penetrantska kontrola, magnetska kontrola, ultrazvučna kontrola, radiografska kontrola, ispitivanje nepropusnosti i kontrola akustične emisije.

Vizualna kontrola se primjenjuje prva, prije bilo koje druge metode. Metoda ne oduzima puno vremena i ne košta, a daje korisne informacije kako o kvaliteti zavarenih spojeva, tako i o potrebi kontrole nekom drugom metodom. Za pomoć kod vizualne kontrole u skućenim i nepristupačnim dijelovima konstrukcije koriste se različita povećala uz osvjetljenje. Za dimenzionalnu kontrolu se koriste različiti uređaji za mjerjenje debljine zavara i sl. Kontrola penetrantima često se koristi kod kontrole zavarenih spojeva na konstrukcijama.

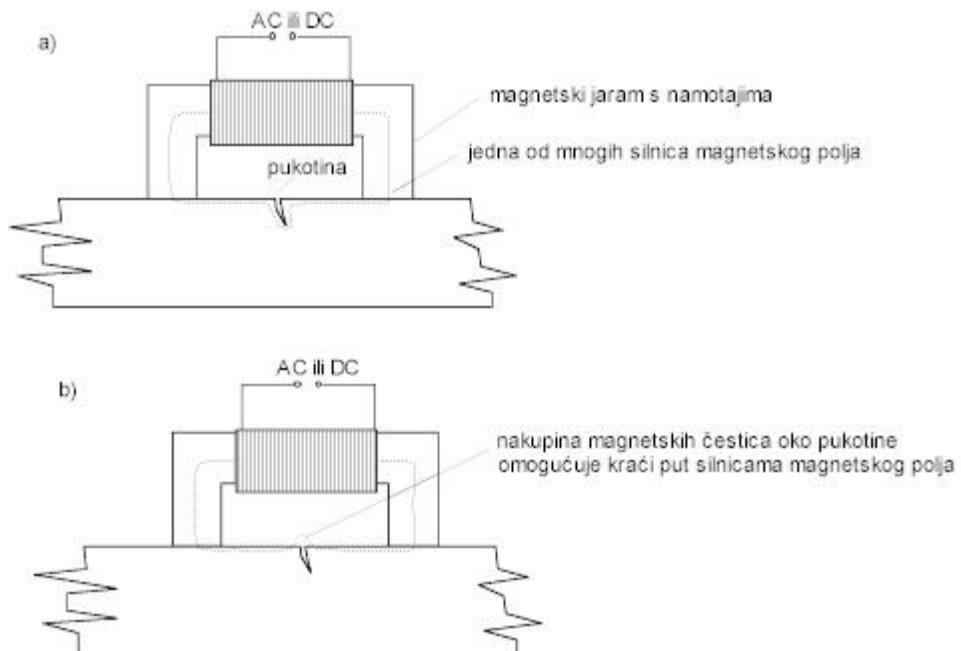


S1.11. Shematski princip kontrole penetrantima

Prvo se na očišćenu i odmašćenu površinu zavarenog spoja nanese penetrant. Nakon nekoliko trenutaka kada se ispitivač uvjeri da je penetrant dospio do nastalih pukotina, slijedi čišćenje penetranta. Idući korak je nanošenje razvijača na prethodno očišćenu

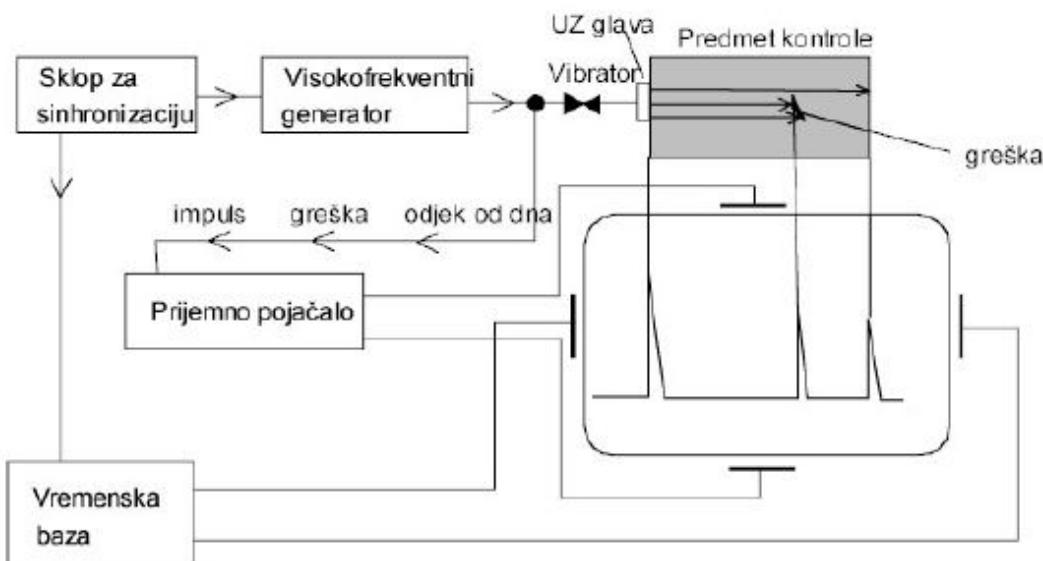
površinu. Razvijač je hemijsko sredstvo neutralne bijele boje koji djeluje na takav način da izvlači penetrantski boju koja se sakupila u pukotinama na površinu, čime se jasno vidi da su u spoju prisutne pukotine.

Magnetska metoda ispitivanja kvalitete zavarenih spojeva se koristi za otkrivanje površinskih i ispod površinskih grešaka (približno do dubine 6 mm) kod feromagnetičnih materijala. Koristi princip magnetske indukcije. Oko vodiča kroz koji prolazi električna struja (magnetske elektrode) formira se magnetsko polje (istosmjerne ili izmjenične struje), čije silnice prolaze kroz feromagnetični materijal koji se ispituje. Da bi se otkrila pukotina potrebno je da smjer silnica magnetskog polja bude što više okomito na pukotinu. Ako magnetske čestice (suhe sitne čestice ili čestice pomješane sa vodom) ostanu po površini ispitivanog materijala, te ako postoji pukotina okomito na smjer prolaska silnica magnetskog polja, sitne čestice će se okupiti oko pukotine. Metoda ispitivanja je jeftina i brza, ali ima ograničenje s obzirom na ne feromagnetične materijale, greške duboko ispod površine, te nemogućnost određivanja dubine pukotine koja je otkrivena kod feromagnetičnih materijala.



SL.12. Princip ispitivanja zavarenog spoja magnetskom kontrolom

Ultrazvučna metoda ispitivanja kvalitete koristi princip ultrazvuka za širenje kroz homogene materijale i odbijanje na granici materijala različitih akustičkih svojstava (otpornosti), tj. od nehomogenosti (grešaka) u materijalu. Od izvora ultrazvuka se šire ultrazvučni valovi kroz materijal koji se ispituje. Ako u materijalu postoji greška, iza greške će ultrazvučni valovi oslabiti ili se neće pojaviti (odbiju se od greške). Ultrazvuk je vrsta mehaničkih valova frekvencije 20 KHz do 10 GHz, a kod ispitivanja najčešće se koriste frekvencije od 0,5 MHz do 10 MHz. Iako postoje različite tehnike ultrazvučnog ispitivanja, obično se u praksi koristi metoda impuls-odjek, pri čemu se koriste ravne i/ili kutne ultrazvučne glave.



Sl.13. Princip ultrazvučnog ispitivanja

Radiografska kontrola koristi X-zrake i γ -zrake. X-zrake nastaju pri naglom kočenju ubrzanog snopa elektrona na metalnoj ploči (anodi u rendgenskoj cijevi), dok γ -zrake nastaju prilikom spontanog raspada nestabilnih atomskih jezgri (prirodnih radioaktivnih materijala i radioaktivnih izotopa). Oba su zračenja elektromagnetska zračenja. Očišćeni uzorak zavarenog spoja se postavi u uređaj za radiografsko snimanje te se uključi emitiranje X-zraka i γ -zraka. Tada se napravi snimka uzorka poput one na slici 14 koja prikazuje snimku zavarenog spoja i prisutne čestice nečistoće označene strelicom. Rezultati ispitivanja ovise o kvaliteti snimke.



Sl.14. Radiografska snimka zavarenog spoja koji se ispituje

Ispitivanje nepropusnosti primjenjuje se na posude pod tlakom, zavisno o zahtijevanoj kvaliteti i primjenjenim propisima provodi se tlačenjem zraka ili vode na određenu vrijednost tlaka ili pomoću vakuumske komore. Vrlo je bitno odabrati pravi ispitni medij koji će se koristiti za tlačenje, jer pogrešno izabran medij može dovesti do katastrofe. Postupak ispitivanja je slijedeći : potrebno je spojiti posudu pod tlakom na bocu ili na mrežu sa stlačenim zrakom. Na zavarene spojeve se sa vanjske strane nanese sapunica. Otvori se ventil na boci sa stlačenim zrakom tako da se posuda počne puniti. Kada tlak u posudi dosegne određenu vrijednost, Motre se zavareni spojevi. Ukoliko se na mjestima zavarenih spojeva pojave mjehurići sapunice, to ukazuje da je došlo do propuštanja zavarenog spoja. Ukoliko nema vidljivih mjehurića, znači da je zavareni spoj nepropusan. Za ispitivanje nepropusnosti ili tlačne kontrole koriste se različiti ispitni mediji poput

zraka, vode i hidrauličkog ulja, što u prvom redu zavisi o namjeni cjevovoda koji se ispituju, stoga je potrebno specificirati kojom vrstom tlačnog medija se tlačno ispituju koji cjevovodi. Za jednostavne tlačne probe najčešće se koristi zrak koji se kompresorima tlači na tlak propisan ispitnom procedurom i potom propušta kroz cijevi. Zrakom se tlačno ispituju sljedeći cjevovodi: svi sistemi zraka, svi sistemi goriva, svi sistemi maziva, sistem protupožarnog CO₂, sistem inertnog plina, sistem dušika, sistem mjerjenja nivoa tekućeg tereta. Tlačna ispitivanja vodom se primjenjuju za: sistem tekućeg tereta, oduške, za pranje tankova tereta, svi sistemi sanitарne vode, sistemi prelijevanja i kondenzata, sistem rashladne morske i slatke vode, sistem pare, povrata kondenzata. Tlačna ispitivanja svih hidrauličkih sustava kao ispitni medij koriste posebno hidrauličko ulje.



S1.15. Stanje cjevovoda prilikom pogrešno izabranog medija za tlačenje – implozija

2.7.1. Metode ispitivanja zavarenih spojeva cijevi

Nakon svakog postupka zavarivanja dvije ili više cijevi kako bi se dobio gotov sklop cjevovoda, a prije same ugradnje cjevovoda na određenu poziciju, potrebno je ispitati zavarene spojeve cijevi. Spajanje zavarivanjem ima niz prednosti pred ostalim načinima spajanja: postupak je brz i jeftin, spoj je kvalitetan i ne zahtijeva nikakvo održavanje, nema raznih spojnih elemenata i brtvi, što čini cjevovod lakšim. Ovaj način spajanja uvijek se koristi za sve cijevi u prostorima gdje se zahtijeva veća sigurnost protiv propuštanja cjevovoda, a spojevi su nepristupačni. Cijevi moraju biti stručno zavarene, a spoj siguran i nepropustan. Zato cijevi smiju zavarivati samo kvalificirani zavarivači. Nedostatak ovakvog spajanja cijevi je u tome što je cjevovod krući, a za njegovu demontažu potrebno je cijev rezati. To je posebno opasno i nepraktično ako su medij, odnosno pare preostale u cjevovodu zapaljive.

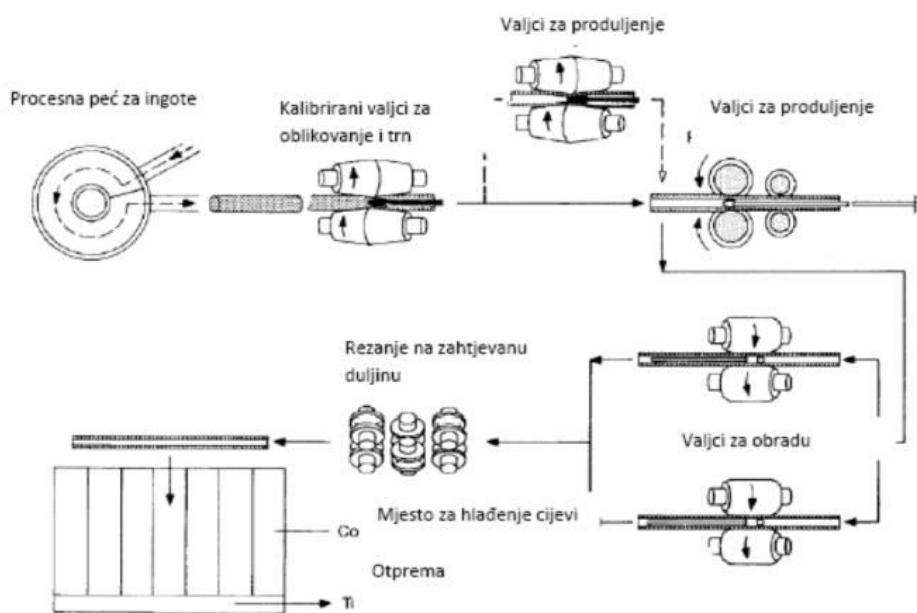
Prije puštanja u pogon obavezno se mora ispitati nepropusnost i čvrstoća zavarenih

cijevi što je najvažniji i najčešći postupak. Kraće cijevi spajaju se u radionici, a pri montaži cjevovoda te se cijevi zavarivanjem spajaju u cjevovode. Nerijetko zavarivači koriste ogledalo da bi vidjeli nepristupačnu stranu spoja kako bi je mogli lakše i kvalitetnije zavariti. Posebno se kontrolišu priključne kote, uglovi zavarenih ogranačaka, uglovi zakriviljenja cijevi, ugao pričvršćenja prirubnice u odnosu prema cijevi itd. Nakon svega, pregleda se i unutrašnjost cijevi, pa ako nisu potrebne nikakve dorade, cijev se smatra obrađenom.

3. BEŠAVNE CIJEVI

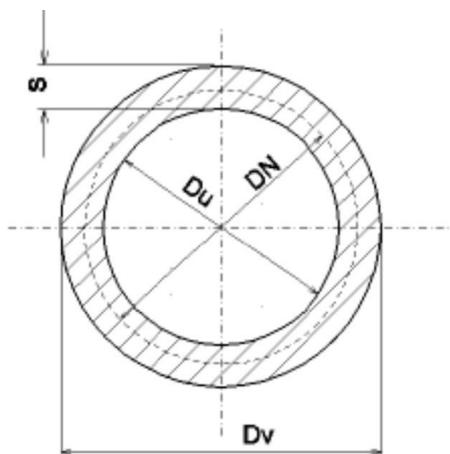
3.1. Tehnološki proces proizvodnje bešavnih cijevi

Tehnološki proces proizvodnje bešavnih cijevi se odvija u valjaonicama i započinje u tvorničkoj procesnoj peći gdje se rastopljeni metal, mješavina željeza i koksa za dobivanje čelika, oblikuje i hlađi u primarni poluproizvod ili tzv. metalne ingote. Ingoti nastavljaju kretanje po procesnoj liniji i prolaze kroz valjke za oblikovanje pod velikim pritiskom, tada nastaju veliki cilindri. Cilindri potom prolaze dugi niz valjaka za oblikovanje i produljivanje koji djeluju silama pod velikim pritiskom kako bi se cilindri izdužili i poprimili oblik cijevi. Postupak se izvodi pomoću kalibriranih valjaka i trna. Razmak između valjaka određuje vanjski promjer cijevi, a promjer trna unutarnji. Kada cijevi poprime svoj konačni oblik, prolaze kroz valjke za obradu koji bruse i poliraju plašt cijevi potom dolaze do stroja za rezanje koji ih odmjerava i reže na standardnu duljinu. Nakon izlaska iz procesa, cijevi se hlađe i šalju na kontrolu kvalitete, najčešće radiografsko ispitivanje, kojim se utvrđuje je li metalografsk struktura cijevi ispravna. Nakon kontrole, cijevi su spremne za otpremu. Za cijevi je također bitna namjena tj. koje vrste medija će kroz cijev protjecati.



Sl.16. Shematski prikaz proizvodnje čeličnih bešavnih cijevi

Osnovna karakteristika za standardizaciju cijevi je nazivni promjer. To je poprečni presjek cijevi i cijevnih elemenata označen sa DN. Čelične bešavne cijevi proizvode se zbog različitih tlakova medija s tri ili kod većih promjera s dvije različite debljine stijenke. Vanjski promjer je konstantan, jer je standardiziran otvorom alata kojim se cijev izrađuje u valjaonici i samim načinom proizvodnje, a unutrašnji promjer se smanjuje za dvije debljine stijenke, koje mogu biti različite. Zato nazivni promjer čeličnih bešavnih cijevi nije uvijek jednak unutrašnjem promjeru, već se sama oznaka odnosi na neki poprečni presjek.

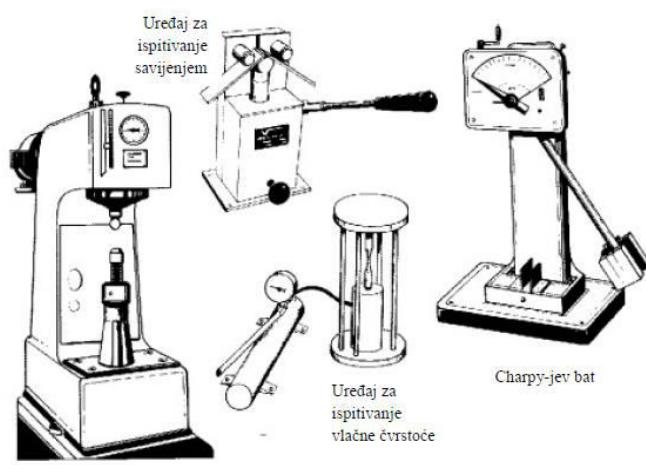


Sl.17. Primjer nazivnog promjera za čelične bešavne cijevi

4. ISPITIVANJE MEHANIČKIH SVOJSTAVA

Glavna metoda kontrole kvalitete bešavnih cijevi i kvalitete zavarenih spojeva su ispitivanja različitih mehaničkih svojstava. Ispitivanja mehaničkih svojstava uključuju primjenu metoda sa razaranjem. Sva ispitivanja provodi uvježbano osoblje korištenjem umjerenih ispitnih strojeva.

Metode ispitivanja zavarenog spoja razaranjem se provode na zavarima pri certifikaciji postupaka zavarivanja, ali se često provode i nakon izvođenja zavara na proizvodima i konstrukcijama iz pogona.



Sl.18. Uređaji za ispitivanje zavarenih spojeva primjenom razaranja

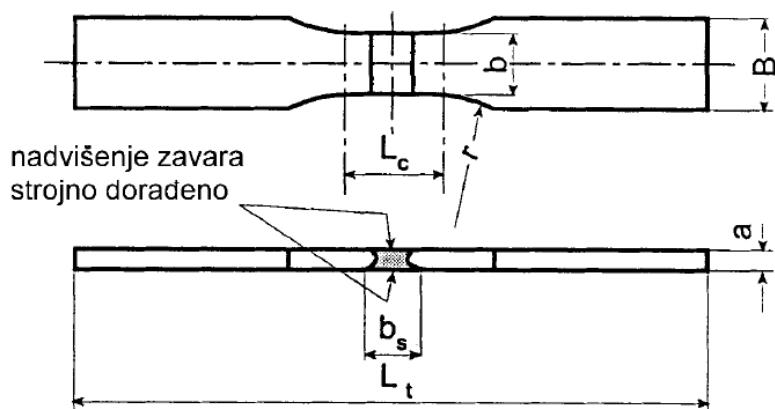
Metode ispitivanja zavarenog spoja razaranjem su :

- vlačno kidanje epruvete (najčešće se ispituju naprezanje tečenja, vlačna čvrstoća, prekidna čvrstoća, kontrakcija i izduženje, ali se mogu ispitati i neka druga svojstva),
- mjerena tvrdoće (najčešće jedna od sljedećih metoda: Vickers HV30, HV10, HV5, HV1, rjeđe Brinell HB ili neka druga metoda),
- ispitivanje udarne žilavosti (Charpy-jev bat),
- ispitivanja iz područja mehanike loma (COD, CTOD, JIC , KIC , ...),
- različita korozijska ispitivanja (opća korozija, korozija uz naprezanje pri djelovanju različitih agresivnih medija, piting, selektivna korozija),
- različita dinamička ispitivanja,
- tlačne probe primjenom razaranja,
- različite radioničke probe i probe zavarljivosti,
- ispitivanja sadržaja hemijskih elemenata (temeljem strugotine metala)

4.1. Vlačno ispitivanje

Vlačno ispitivanje je mehanička vrsta ispitivanja kojom se kontroliše mehanička čvrstoća zavarenog spoja. Za ispitivanje se koristi standardizirana epruveta koja mora biti označena, mehanički odrezana i obrađena na potrebnu mjeru. Standardizovani stroj za izvođenje ovog ispitivanja je mehanička kidalica sa čeljustima koje obuhvaćaju oba kraja epruvete.

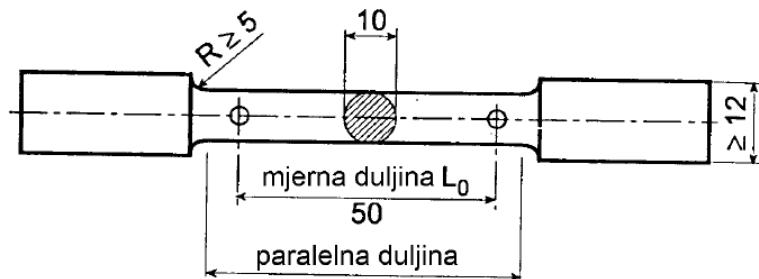
Ispituju se: a) plosnate epruvete prema normi EN 895, čime se utvrđuje rastezna čvrstoća, produženje i položaj oblik prijeloma. Debljina epruvete predstavlja debljinu stijenke.



Sl.19. Plosnata epruveta

Ako je debljina stijenke $30\text{mm} < a < 50\text{mm}$, epruveta se može mašinski obraditi do debljine 30mm. Za debljine $\geq 50\text{mm}$, potrebno je pripremiti više epruveta.

- a) okrugle epruvete prema normi EN 876, čime se utvrđuje rastezna čvrstoća, granica razvlačenja σ_{02} , suženja presjeka i izduženja metala zavara. Kod čelika za rad na povišenim temperaturama, granicu razvlačenja je potrebno odrediti na povišenim temperaturama. Ispitivanje se provodi upotrebom okrugle epruvete prečnika 10 mm koja ima uzdužnu osu u smjeru šava.



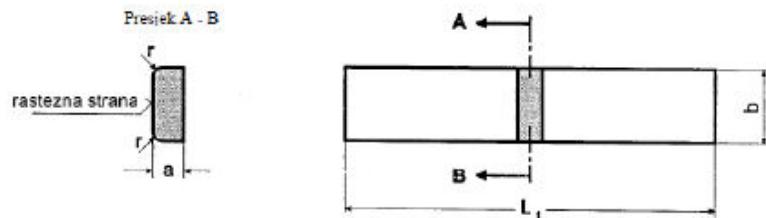
Sl.20. Okrugle epruvete

Ako dimenzije zavara ne omogućavaju pripremu epruvete prečnika 10mm, može se koristiti epruveta manjeg prečnika uz uslov da je mjerna dužina jednaka petostrukom prečniku epruvete a paralelna dužina jednaka 6 puta prečniku epruvete.

4.2. Ispitivanje savijanjem

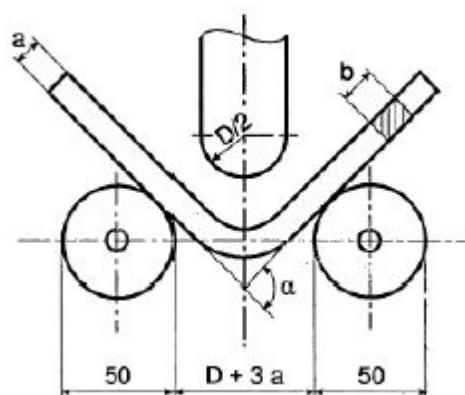
Ispitivanje savijanjem je mehanička vrsta ispitivanja koja se dijeli na :

- poprečno savijanje prema normi EN 910, a provodi se u svrhu određivanja rastezljivosti zavarenog spoja poprijeko na šav. Epruveta se savije preko trna propisanog promjera do očekivanog ugla uz mjerjenje izduženja na rasteznoj strani epruvete.



Sl.21. Epruveta za ispitivanje savijanjem

Debljina epruvete je jednaka debljini stijenke.

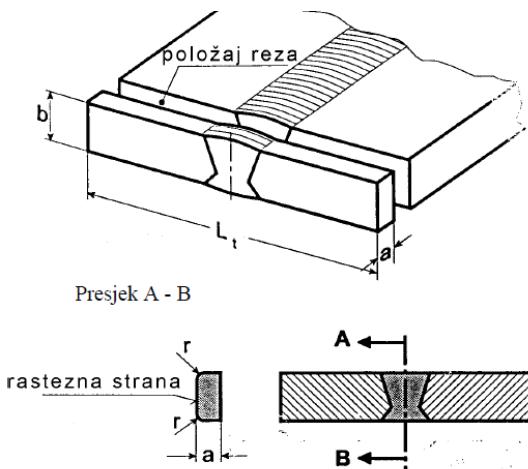


Sl.22. Shematski prikaz uređaja za ispitivanje savijanjem

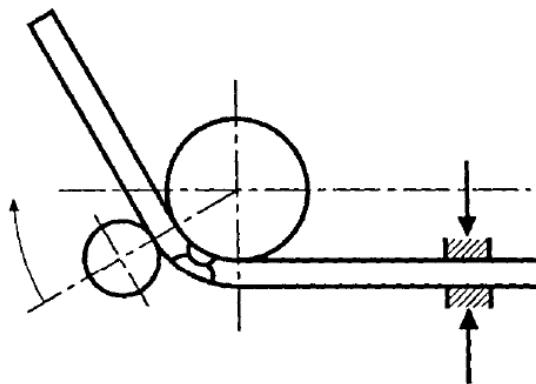
| Dimenzije | Debljina epruvete a | | | | | |
|---------------------------------|-----------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | ≤ 11 | $> 11 \leq 14$ | $> 14 \leq 17$ | $> 17 \leq 22$ | $> 22 \leq 27$ | $> 27 \leq 35$ |
| Širina epruvete b | 20 | 30 | 30 | $\geq 1,5 a$ | $\geq 1,5 a$ | $\geq 1,5 a$ |
| Duljina epruvete L_t | $\frac{d}{a} \leq 3$ | 250 | 250 | 250 | 300 | 380 |
| | $\frac{d}{a} = 4$ | 250 | 250 | 250 | 350 | 430 |
| gdje je | $\frac{d}{a} = 6$ | 250 | 250 | 290 | 350 | 430 |
| Polunjaj, r , rastezna strana | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 2 | ≤ 3 | ≤ 3 | ≤ 3 |

Tabela 2. Standardizovane debljine epruvete za poprečno ispitivanje savijanjem

b) bočno savijanje prema normi EN 910 se provodi u svrhu ispitivanja rastezljivosti zavarenog spoja u poprečnom presjeku. Epruveta se savija preko trna propisanog promjera i mjeri se dostignuti ugao.



Sl.23. Epruveta za ispitivanje savijanjem



Sl.24. Uređaj za bočno ispitivanje savijanjem

Epruveta se postavlja na ispitni uređaj tako da ispitno opterećenje djeluje u smjeru uzdužne ose šava. Na vlačnoj strani epruvete, krajevi se mogu zaobliti na propisani radijus.

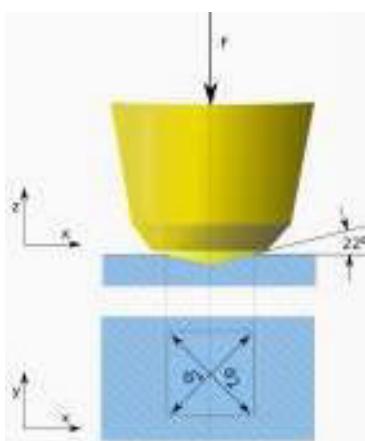
| Dimenzijs | Omjer d/a | | |
|--|---------------------|-----|-----|
| | ≤ 3 | 4 | 6 |
| Debljina epruvete a | 10 | | |
| Širina epruvete b | Debljina uzorka | | |
| Polumjer, r, rastezna strana | $\leq 1 (\leq 3)^D$ | | |
| Duljina epruvete, L_r | 150 | 170 | 200 |
| <i>Napomene:</i> | | | |
| 1) Polumjer u zagradama odnosi se na epruvete kod kojih nadvišenje zavara nije obrađeno. | | | |

Tabela 3. Dimenzijs epruvete za ispitivanje bočnim savijanjem

4.3. Ispitivanje tvrdoće

Ispitivanje tvrdoće prema normi DIN 50163 je mehanička vrsta ispitivanja zavarenih spojeva i mjeri se Vickersovom metodom pod opterećenjem 49 N ili 98 N tj. HV 5 ili HV 10 na poliranom i pripremljenom uzorku kojem je ispitna površina okomita na osu zavara. Ispitno opterećenje ovisi o vrsti materijala u koji se utiskuje dijamantna četverostrana piramida s vršnjim uglom od 136° i potom se mjeri otisak.

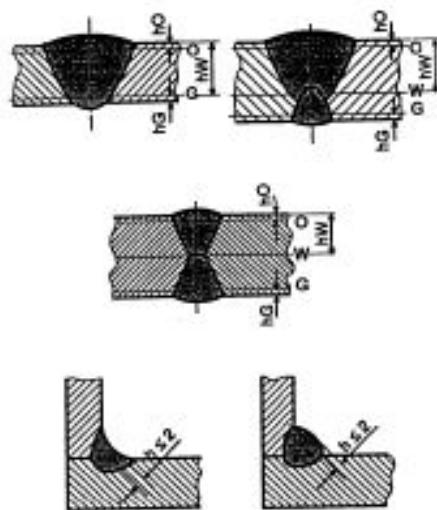
Ispitivanje tvrdoće po Vickersu je ograničeno s obzirom da debljina uzorka treba biti barem 8 puta veća od dubine utisнутne dijamantne četverostrane piramide, trajanje povećanja sile do konačne vrijednosti iznosi 15 sekundi, njeno djelovanje traje 30 ili više sekundi, sila nije ograničena i rijetko prelazi 1000 N, a ponekad može biti svega nekoliko N.



S1.25. Shematski prikaz ispitivanja tvrdoće Vickersovom metodom

Slika 26. prikazuje mjerjenje dubine otiska dijamantne četverostrane piramide u zavarenom spoju u svrhu ispitivanja tvrdoće. Mjerni otisci moraju biti dovoljno blizu

da bi prikazali pravu sliku krivulja tvrdoće.

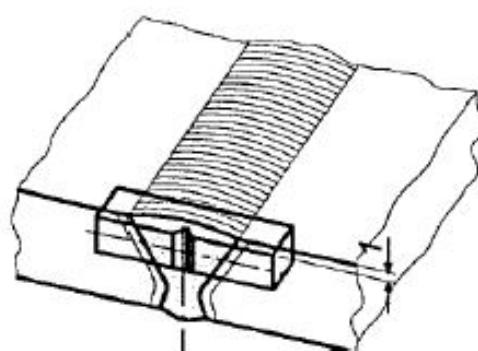


hO = udaljenost od površine
 hG = udaljenost od dna
 hW = udaljenost položaja otiska mjerjenja
tvrdoće od korjena do površine

Sl.26. Mjerenje dubine mjernog otiska u zavarenom spoju

4.4. Ispitivanje udarnog rada loma

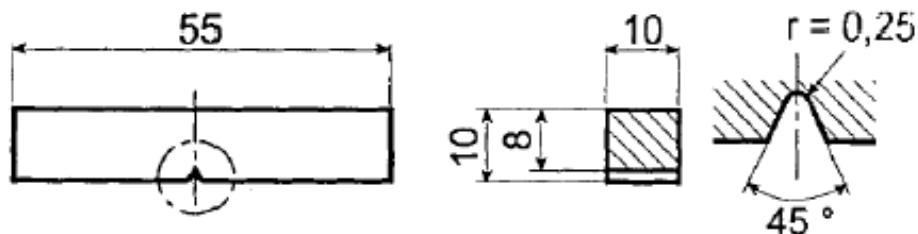
Ispitivanje udarnog rada loma je vrsta mehaničkog ispitivanja zavarenih spojeva prema normi EN 10045/DIN 50115 kojim se određuje žilavost spoja u Joulima. Koriste se V-zarez epruvete definisane po ISO, položaj epruvete u ispitnom uzorku je određen tako da uzdužna osa epruvete bude okomita na šav a osa zareza pod pravim uglom u odnosu na površinu uzorka. Ispitivanje se provodi na propisanoj temperaturi, radnja udarnog loma se vrši pomoću Charpy-jevog bata, tj. uređaja u čije se čeljusti postavi epruveta koju bat ili posebno konstruirana palica udari određenom snagom.



Sl.27. Epruveta za ispitivanje udarnog loma

Ako se epruveta izrezuje samo s jedne strane dvostranih V-zavara, ona se mora izrezivati sa strane zavara koji je posljednji izведен.

Ako je debljina uzorka <10mm, mogu se upotrijebiti epruvete dimenzija 7,5X10 mm i 5X10 mm.



Sl.28. Dimenzije za ispitivanje udarnog rada – loma

5. ISPITIVANJE MIKROSTRUKTURE ZAVARA

5.1. Priprema uzorka za metalografsku analizu

Jedan od glavnih koraka u kontroli kvalitete zavarenog spoja je metalografsko ispitivanje mikrostrukture zavara. Na početku je potrebno odgovarajuće pripremiti zavar koji će se ispitivati. Posmatrat će se ispoliravni izbrušeni dio zavara tzv. Izbrusak. Izbrusak se prvo promatra golim okom, zatim povećalom i na kraju pod mikroskopom. Na izbrušenom i poliranom izbrusku mogu se vidjeti, prepoznati i procijeniti greške odnosno pukotine u zavaru nastale tijekom zavarivanja, topljenja, naprezanja, troska, razne čestice nečistoće, plinski mjeđuri, tragovi brušenja, početak korozije.

Metalografski uzorak zavara čeličnog komada se brusi brusnim papirom, granulacije 120, 150, 240 i 320. Veći broj predstavlja viši razred finoće brusnog papira. Poliranje slijedi nakon brušenja, sredstva za poliranje su glinica (Al_2O_3) ili magnezijoksid (MgO) u vodenoj suspenziji. Glinica ima finoću 1, 2 i 3. Najgrublja vrsta, br. 1, se koristi za tvrde metale (čelik), srednja vrsta, br. 2, za mekše metale, a najfinija vrsta, br. 3, za meke metale (aluminij). Brušenje i poliranje se vrši na rotirajućem disku koji može rotirati brzinom do 1500 o/min. Za vrijeme poliranja uzorak se mora stalno gibati ili rotirati u pravcu suprotnom od rotacije diska za poliranje. Tvrdi materijali se bolje poliraju zato što iza tvrdih mikro čestica poput troske ostaju neispolirani tragovi. Prilikom gibanja u pravcu suprotnom od rotacije diska ne dolazi do formiranja tragova. Poliranje ne smije trajati suviše dugo zbog toga što mekše čestice ispadaju pa površina uzorka postaje reljefna, čime se otežava fotografiranje.

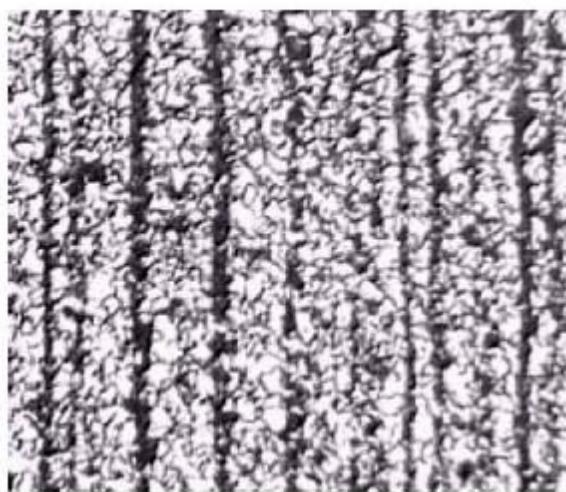
Nakon toga slijedi čišćenje izbrusaka u hladnoj ili toploj vodi, ispiranje alkoholom i sušenje toplim zrakom. Sušenje tkaninom dovodi do stvaranja ogrebotina na mekim metalima. Slijedeći dio pripreme jest nagrizanje uzorka, tj. razvijanje strukture kristalnih zrna. Nagrizanje granice zrna metalnog ili legiranog uzorka se vrši sve dok ne postanu jasno prepoznatljive granice pojedinih zrna po boji.

To se postiže upotrebom hemijskih sredstava za nagrizanje u ovisnosti od orientacije kristalnih ravnina u odnosu na površinu izbruska. Osvjetljenje na mikroskopu, koje obično pada koso, baca sjenu na dublje skinute dijelove kristala te se ona može pri manjem povećanju zamijeniti sa granicom zrna. Na granicama zrna često su prisutne metalne i nemetalne nečistoće u obliku debljeg ili tanjeg sloja. Nečistoće su hemijski manje plemenite od kristalnih zrna. Tokom nagrizanja se stvaraju lokalni elektrohemski elementi. Plemeniti mikroelementi, tj. tvari na granicama zrna se rastvaraju, dok sam kristal ostaje nedirnut. Kristalna zrna se nakon postupka odvajaju jedna od drugih zbog stvorenih udubljenja. Za niskolegirane i srednjelegirane čelike se prijelazna zona i pojedine zone zavara nagrizaju Adlerovim reagensom koji se sastoji od : 25 cm³ destilirane vode, 50 cm³ koncentrirane solne kiseline, 3g bakaramonij-klorida i 15g željezo-klorida. Za nagrizanje granice zrna željeza se koristi nital. Nital je hemijska otopina dušične kiseline u alkoholu u omjeru 1 cm³ dušične kiseline i 100 cm³ etilalkohola. Postupkom nagrizanja se mogu dobiti i drugi podaci značajni za ocjenu kvalitete zavarenog spoja npr.: izgled poprečnog presjeka zavarenog spoja, broj slojeva, veličina i oblik zrna i greške u zavaru.

5.2. Određivanje mikrostrukture

Nakon faze pripreme, slijedi faza analiziranja metalografskog uzorka zavara odnosno određivanje mikrostrukture. Struktura uzorka se fotografira digitalnim fotoaparatom pri povećanju od 100 do 200 puta. Fotografija se spremi u računar, te se mjeri tvrdoća uzorka po jednom od metoda mjerena tvrdoće (po Brinellu, po Vickersu ili Rockwellu). Mjerenje se obavlja po nekoliko puta za svaki uzorak, a rezultat mjerenja je srednja vrijednost tvrdoće. Posmatraju se zone utjecaja topline zavarivanja na strukturu metala tokom prolaza.

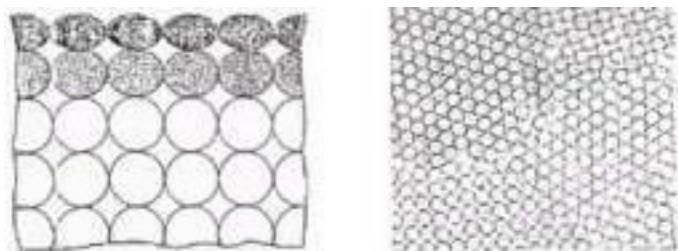
Svrha određivanja mikrostrukture zavarenog spoja je utvrditi promjene strukture koje su nastale tokom zagrijavanja i hlađenja materijala, te utvrđivanje je li se promijenila tvrdoća spoja i u kojoj mjeri.



S1.29. Mikrostruktura zavarenog spoja čelika pri povećanju 100 puta

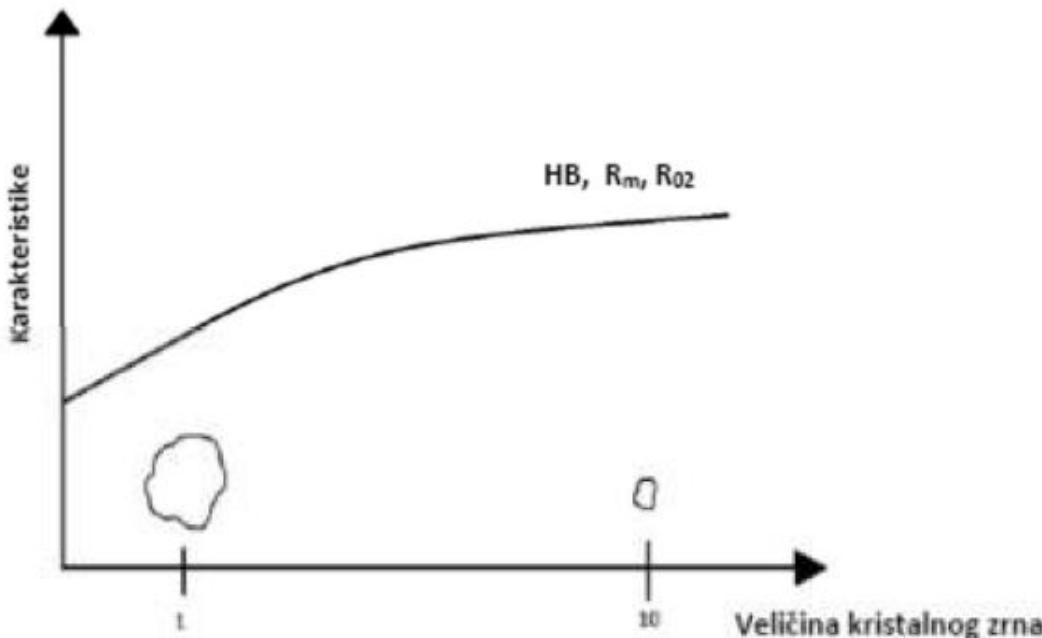
5.3. Određivanje veličine kristalnih zrna

Određivanje veličine kristalnih zrna metalnog uzorka je slijedeći korak u ispitivanju mikrostrukture. Kako bi se jasnije prikazala metoda određivanja veličine kristalnih zrna, potrebno je detaljnije objasniti nastajanje stabilnih jezgri, rast kristala i nastajanje kristalnih zrna u metalu. Kristalizacija je pojava prelaza metala ili legure iz tekućeg agregatnog stanja u čvrstu fazu nastajanjem kristalnih zrna koja formiraju određene oblike. Kristalizacija započinje ako nastane razlika slobodnih energija koja se stvara smanjenjem slobodne energije čvrste faze u odnosu na slobodnu energiju tekuće faze. Proces kristalizacije se odvija samo pri temperaturama koje su niže od temperature topljenja. Stabilne jezgre kristalizacije nastaju u čistom metalu, osnova mora imati višu temperaturu od temperature topljenja i biti u potpunosti uronjena u rastopljeni metal, te imati manju površinsku energiju za stvaranje jezgri. Jezgra kristalizacije može biti heterogena ili homogena. Na rast kristala i formiranje metalnog zrna utiču atomi u kristalu koji imaju pravilan trodimenzionalni raspored. Kristali slobodno rastu i imaju relativno pravilan geometrijski oblik, što više rastu, međusobno se dodiruju i njihov oblik se narušava, pa na kraju kristalizacije kristali imaju nepravilan oblik. Veliki broj međusobno različito orijentiranih kristala se naziva polikristal. Metalna zrna čine kristali u čvrstom polikristalnom metalu, dok granica metalnog zrna predstavljaju dodirne površine između kristala. Metalna zrna imaju različito izražena svojstva u raznim pravcima, na njihovu veličinu utiče brzina stvaranja jezgri u jedinici vremena i volumena, brzina rasta kristala, obrada deformiranjem i termička obrada.



Sl.30. Atomi na graničnoj površini i granice kristalnih zrna

Veličina metalnog zrna se može odrediti presijecanjem granica metalnog zrna i uspoređivanjem sa standarnima prema katalogu. Dijagram na slici 31. prikazuje kako se smanjenjem veličine kristalnih zrna prikazane na osi x, pojačavaju skupne karakteristike: rastezna čvrstoća, tvrdoća i granica tečenja prikazane na osi y.



Sl.31. Dijagram karakteristika tvrdoće

Nakon toga se struktura zrna uspoređuje sa standardima poput ASTM E112/78 i određuje se veličina zrna (10, 20, 30...). Isto tako, struktura se određuje prema dijagramu stanja željezo-ugljik i prema boji zrna, npr. zrna ferita su bijele a zrna perlita crne boje.

6. POSTUPAK ISPITIVANJA BEŠAVNIH CIJEVI NA KONKRETNOM PRIMJERU

Programa ispitivanja kvalitete zavarenog spoja se odvija na ispitnim uzorcima zavarenih različitim metodama zavarivanja. Program ispitivanja kvalitete zavarenog spoja bešavnih cijevi napravljen je u radionici za cjevarsku obradu.

Program ispitivanja se odvija po fazama :

- a) definisanje ispitnog uzorka, pripreme materijala uređaja i alata u pogonu koji će se koristiti za provedbu ispitivanja
- b) definisanje postupka zavarivanja i radnih parametara
- c) definisanje postupka ispitivanja uzorka, provedba postupka i bilježenje rezultata ispitivanja uzorka.

Ako uzmemo ispitne uzorce - dvije čelične bešavne cijevi dimenzija promjera .3/4" - 26.9 x 3.2 mm. Č1212.

Hemijski sastav čelika: od 0.12 do 0.17% C, 0,2% Si, 0,6% Mn, max.0.050% P, 0,050% S, 0,009% N.

Zatezna čvrstoča materijala: $\delta = 340- 440 \text{ N/mm}^2$

Granica razvlačenja: $\delta = \text{min. } 235 \text{ N/mm}^2$

Dozvoljeno relativno produženje materijala: min 25%

Cijevi su označene oznakama A i B. Ispituju se dva uzorka od kojih je svaki zavaren drugačijim postupkom zavarivanja kako bi se usporedila čvrstoča nastalih zavarenih spojeva i ustanovilo koji postupak zavarivanja omogućava čvršći zavareni spoj.

Priprema uzorka obuhvaća:

- cijevi se odrežu tračnom pilom na dužinu 150 mm,
- krajevi cijevi su brušeni i obrađeni prema normi ISO 2553 pod uglom 30 pomoću ručne brusilice,
- površine su mehanički očišćene, hemijski odmašćene i cijevi su centrirane prije početka zavarivanja

Potrebni alati i uređaji :

Vrsta: Model i karakteristike:

Tračna pila,

Ručna brusilica ugaona i brusne ploče $\varnothing 115$ mm

Uređaj za TIG postupak zavarivanja,

Uređaj za REL postupak zavarivanja,

Čelični trn $\varnothing 3,2$ mm

Uređaji koji se koriste u ispitnoj stanici su uređaji za vlačno istezanje tj. kidalica, uređaj za mjerjenje sile, naprezanja, deformacije i produženja, različiti mjerni instrumenti, Charpyjev bat, uređaj za ispitivanje tvrdoće i uređaj za ispitivanje savijanjem.

Za zavarivanje ispitnih uzoraka pošto su odabrani su TIG i REL postupak zavarivanja. U tabeli 4. se nalaze parametri zavarivanja ovisno o izabranim postupcima zavarivanja za svaki uzorak.

| | Uzorak A | Uzorak B |
|-----------------------|--|--------------------------------|
| Postupak zavarivanja: | TIG postupak | REL postupak |
| Dodatni materijal: | Žica Č...EA 1260 koja se ručno dodaje na prethodno rastaljeni spoj cijevi, zaštitni plin je 100% argon u skladu sa normom HRN EN ISO 14175. | Bazična elektroda EVB 50 3,25. |
| Jačina struje: | 95 A | 135 A |

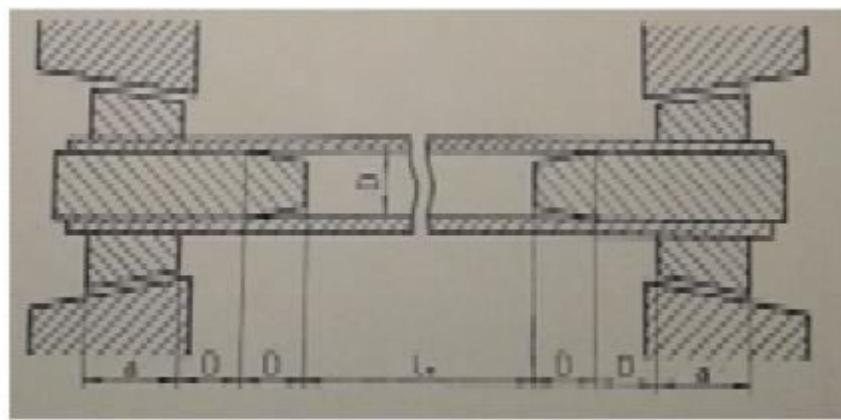
Tabela 4. Parametri zavarivanja ovisno o uzorku i postupku zavarivanja

Izrade se dva čelična čepa, kao pomoćna sredstva čiji promjer odgovara unutrašnjem promjeru čeličnih bešavnih cijevi. Čepovi su montirani na krajeve čeličnih cijevi, zavareni i brušeni su bridovi na mjestu zavara. Izvrši se zavarivanje uzorka. Čelična bešavna cijev - uzorak A je prvo tačkasto zavaren TIG postupkom na dva međusobno suprotna kraja, a uzorak B je tačkasto zavaren REL postupkom. Potom su zavari izrađeni u potpunosti na oba uzorka. Nakon zavarivanja, čelične cijevi su ostavljene da se ohlade. Nakon hlađenja čeličnih cijevi, vizualno je kontrolirana geometrija i izgled zavara oba uzorka, te provjera ima li površinskih grešaka u zavarenom spaju. Površine zavara su mehanički očiste čeličnom četkom. Vizualnom kontrolom se prekontrolisu greške.



S1.32. Pripremljeni uzorci A i B

Ispitivanje pripremljenih ispitnih uzoraka A i B se provodi primjenom vlačnog pokusa pomoću uređaja za vlačno istezanje tkz. kidalice u čije se čeljusti postave krajevi ispitnih uzoraka i čvrsto zategnu. Ispitni uzorci A i B tj. epruvete se svaki pojedinačno učvršćuje u čeljusti kidalice, umetanjem čeličnog trna koji ima promjer jednak unutrašnjem promjeru cijevi, dužine $2D+s$ iz razloga što se prema standard cijevi manjeg promjera ispituju rastezanjem odsječenog komada cijevi potrebne dužine.



S1.33. Prikaz ispitne cijevi postavljene na čeljust kidalice na početku vlačnog ispitivanja

Uključivanjem uređaja, čeljusti se međusobno udaljavaju i vlačno istežu prvo uzorak A, sve dok ne dođe do kidanja materijala. Isti postupak se potom ponavlja sa ispitnim uzorkom B.



uzorak A



uzorak B

Sl.34. Postavljanje uzorka A i uzorka B u čeljust uređaja za vlačno istezanje

Crvenom bojom su označena mjesta zavarenih spojeva kako bi se prikazala udaljenost zavarenih spojeva od mjesta puknuća ispitnih uzoraka A i B.



uzorak A



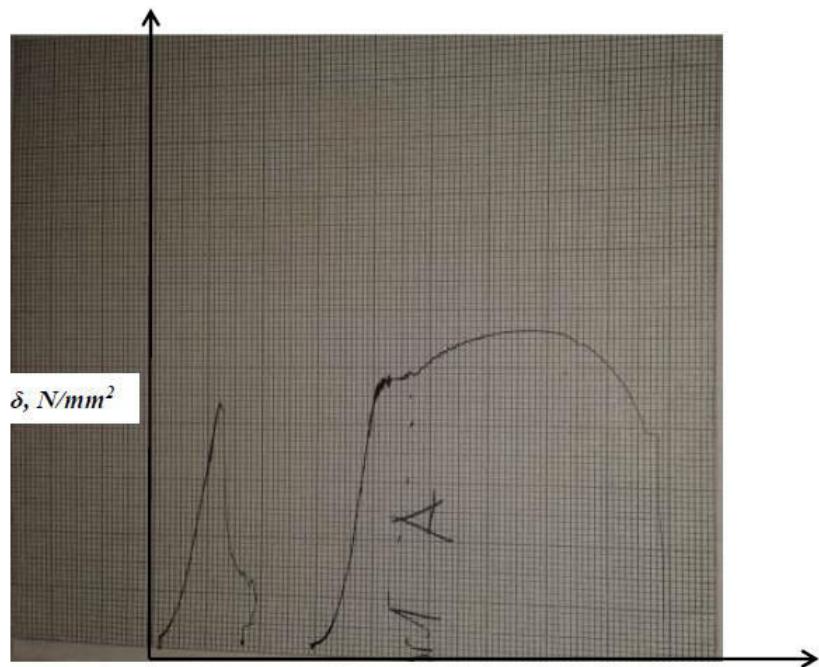
uzorak B

S1.35. Puknuće ispitnog uzorka A i uzorka B

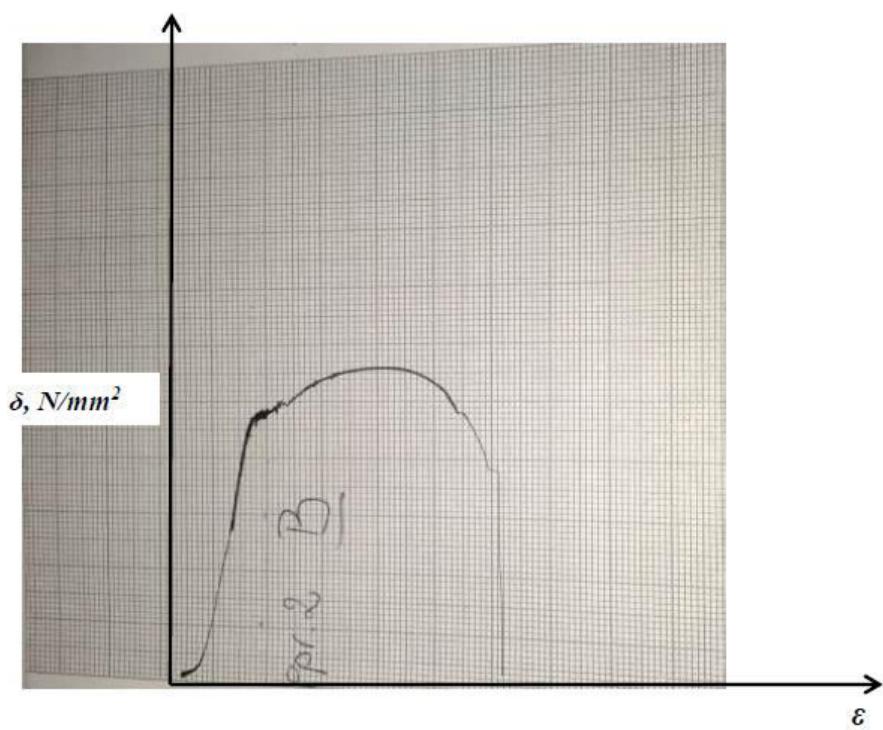
Uređaj za vlačno istezanje ima mjerni uređaj njutnmetar, koji konstantno mjeri silu F, kojom se djeluje na krajeve ispitnih uzoraka A i B.

Istovremeno sa mjeranjem sile, na milimetarskom papiru se iscrtavaju dijagrami

naprezanja ispitnih uzoraka pod djelovanjem vlačne sile F koja uzrokuje produženje uzorka Δl neposredno na kidalici.



Sl.36. Dijagram naprezanja ispitnog uzorka A djelovanjem sile



Sl.37. Dijagram naprezanja ispitnog uzorka B djelovanjem sile

Tokom vlačnog pokusa i nakon kidanja ispitnih uzoraka, podaci se zabilježe u ispitnu listu, tj. izvještaj o mehaničkom ispitivanju kvalitete.

Sila koja je djelovala na ispitni uzorak A u trenutku kidanja je iznosila 109500 N, dok

je sila djelovanja na ispitni uzorak B iznosila 109100 N. Relativno produljenje Δl izmjereno vlačnim pokusom je iznosilo 43,7 mm za uzorak A i 41,8 mm za uzorak B. Isto tako, oba uzorka su pokidana na dijelovima cijevi koji su udaljeni od mjesta na kojima se nalaze zavareni spojevi, prikazano, čime je potvrđena kvaliteta zavarenih spojeva i njihova čvrstoća. Zavareni spojevi su ponovo vizualno pregledani po završetku vlačnog pokusa. Nisu utvrđeni nikakvi nedostaci niti pojava pukotina na mjestima zavarenih spojeva.

Ispitivanje vlačnim pokusom je pokazalo kako je djelovanje sile F na ispitne uzorke A i B prvo uzrokovalo produženje materijala a potom i kidanje u trenutku kada je produženje materijala prešlo dozvoljenu granicu razvlačenja za odabrani čelik.

7. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu je obrađena tema tehnologije zavarivanja i ispitivanja kvalitete zavarenog spoja bešavnih cijevi. U teorijskom dijelu rada objašnjene su različite metode zavarivanja, njhove prednosti i nedostaci. Ustanovljeno je da izbor odgovarajućeg postupka zavarivanja utječe na kvalitetu zavarenog spoja i kako analiza zahtjeva za zavarivanjem uveliko doprinosi određivanju najpovoljnijeg postupka zavarivanja.

Opisane su strukture zavarenih spojeva materijala koje nastaju kao posljedica zavarivanja te metode ispitivanja kvalitete zavarenih spojeva kako bi se praktično utvrdilo ispunjava li određeni zavareni spoj parametre kvalitete propisane standardom.

Na konkretnom dijelu koji je obrađen u završnom radu izведен je praktičan pokus ispitivanja bešavnih čeličnih cijevi, od kojih je jedna cijev zavarena TIG postupkom zavarivanja kako bi se provjerila početna hipoteza a druga REL postupkom zavarivanja. Postupci zavarivanja su odabrani s obzirom na analizirane zahtjeve zavarivanja, provedeni su poštujući radne parametre i nastali zavareni spojevi su kontrolirani vizualnom metodom kontrole. Nakon toga uslijedilo je mehaničko ispitivanje čvrstoće primjenom vlačnog pokusa. Došlo je do kidanja materijala oba ispitna uzorka. Nakon vlačnog pokusa ponovljena je vizualna kontrola tj. kontrola bez razaranja zavarenih spojeva nastalih REL i TIG postupkom zavarivanja. Kontrolom je utvrđeno da nema promjena u izgledu oba zavarena spoja, na površinama nije bilo pojave pukotina niti istezanja materijala što ukazuje na kvalitetu oba zavarena spoja. Na taj način je potvrđena početna hipoteza da analiza zahtjeva za zavarivanjem doprinosi izboru optimalnog postupka zavarivanja te da odgovarajući postupci zavarivanja i pravilna izvedba utječu na kvalitetu zavarenih spojeva. S obzirom da u današnje vrijeme zavarivanje ima neograničenu primjenu u raznim tehničkim područjima, ovakve analize postupaka zavarivanja te eksperimentalna ispitivanja kvalitete zavarenih spojeva značajno utječu na optimizaciju tehnologije zavarivanja sa tehnološkog i ekonomskog aspekta.

LITERATURA

1. Lončar, Starčević: "Zavarivanje u zaštiti plinova TIG, MIG, MAG" , Zagreb 1984.
2. Lukačević Zvonimir: "Zavarivanje" Strojarski fakultet, Slavonski Brod, 1998. g.
3. Mamuzić I.- V. M. Drujan: "Teorija materijali tehnologija čeličnih cijevi" , Zagreb 1996.
4. Gojić, Mirko: "Metalurgija čelika", Metalurški fakultet, Sisak, 2006. g.
5. Graham, Edgar: "Maintenance welding" , Prentice Hall Inc., New Jersey, 1985
6. http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_brod_ing_mor_teh/katedre/teh_org/materijali/kolegiji/opremanje%20i%20remont%20broda.pdf 08.05.2015
7. Det Norske Veritas: "Piping systems" , Veritasveien 1, NO-1322 Hovik, Norway, July 2008
8. Skupina autora: " Welding handbook for maritime welders" ,11th edition, Wilhelmsen ship services AS, Unitor, Norway, 2005.
9. Kraut, Bojan: "Strojarski priručnik" , Kratis Zagreb, 1997.