



**VISOKA POSLOVNA ŠKOLA
STRUKOVNIH STUDIJA
ČAČAK**

DIPLOMSKI RAD

Primjena tehnologije zavarivanja u izradi kompenzatora

Mentor: _____
Profesor: _____

Student: _____
Br.Indeksa: _____

UVOD

Tema diplomskog rada je tehnologija izrade tankostijenih kompenzatora. Tankostijeni kompenzator je prihvaćen kao glavna metoda kompenzacije za cjevovode kod kojih dolazi do istezanja uslijed promjene temperature i tlaka. Teoretski, kompenzator je jedan od najosjetljivijih dijelova cjevovoda, napravljen od tankog lima, dio mnogo tanji od cjevovoda u koji je ugrađen, a mora podnositi iste promjene temperature i tlaka.

Za reprezentanta je izabran jednozglobni kompenzator HS 2/800/4/TRS/1. Eksploatacija reprezentanta odvijati će se pri radnoj temperaturi od 670 °C, radnom tlaku 0,2 MPa (2 bar), radni medij koji prolazi kroz kompenzator je pregrijana vodena para. Prilikom eksploatacije namijenjen je za kompenzaciju kutnog pomaka u iznosu od ± 2 mm.

U radu će biti analizirana tehnologija izrade reprezentanta, najčešće pogreške koje nastaju pri izradi, uzroci njihovog nastajanja kao i načini njihovog uklanjanja.

Kod kontrole kvalitete zavarenog spoja primjenjuju se slijedeće metode bez razaranja:

- vizuelni pregled
- radiografsko ispitivanje
- ispitivanje penetrantima
- tlačna proba

S obzirom na uvijete eksploatacije za harmoniku jednozglobnog kompenzatora izabran je austenitni Cr-Ni-Mo čelik koji je korozijski postojan.

Kvalitet podužnog zavora, izvedenog na harmonici prije njenog oblikovanja, je izuzetno važna za trajnost kompenzatora.

Tvornica kompenzatora d.o.o. je razvila vlastite automate za TIG zavarivanje podužnih zavora na tankostijenim materijalima.

Eksperimentalni dio će obraditi šavno elektrolučno zavarivanje korozijski postojanog čelika, te opis korištene opreme prilikom zavarivanja, ispitivanje kvalitete zavarenog spoja i kriterije prihvatljivosti. Kraj eksperimentalnog dijela se sastoji od makro analize presjeka zavarenog spoja.

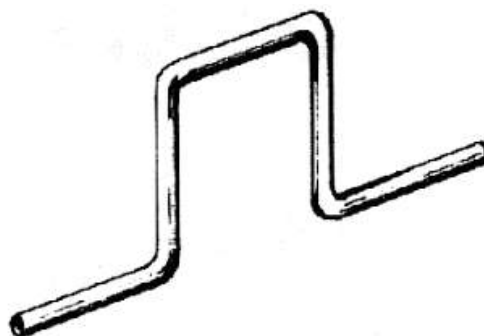
1 NAMJENA I VRSTE KOMPENZATORA

1.1 DEFINICIJA KOMPENZATORA

Kompensator je dio cjevovoda koji ima jedan ili više metalnih valova, koji služe za kompenzaciju dimenzionalnih promjena u cjevovodima, izazvanih najčešće promjenama temperature (okoliša i/ili protočnog radnog medija) ili tlaka [1].

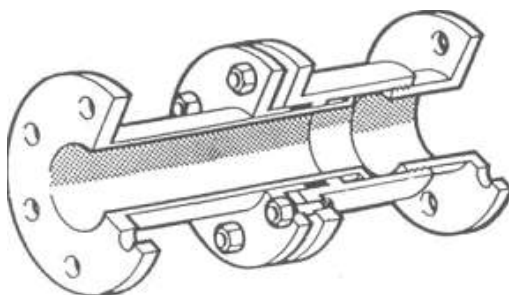
1.2 NAČINI KOMPENZACIJE

Dugo godina, najefikasniji način kompenzacije dimenzionalnih promjena je bila upotreba fleksibilnosti cijevnog sistema u obliku koljena (prirodne lire) koje je prikazano na slici 1.1.



Slika 1.1 Cijevno koljeno [1]

Kada je visina naprezanja, bilo unutar cijevi ili na priključku kotla, postala previsoka, došlo je do upotrebe kliznog spoja (slika 1.2).



Slika 1.2 Klizni spoj [1]

Cijevna koljena su postala skupa u pogledu materijala i zauzimanja prostora i ograničena su dozvoljenim naprezanjima cijevi na savijanje. Brtveni klizni spojevi su osjetljivi

na probleme brtvljenja i zahtijevaju stalno održavanje. Upotreba cijevnog koljena i kliznog spoja omogućava kompenzaciju dimenzionalnih promjena u liniji cijevi.

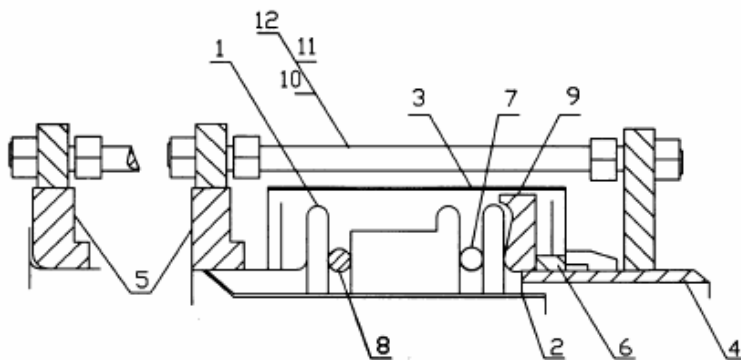
Upotrebom harmonike, metalnog valovitog dijela kompenzatora, prikazane na slici 1.3, omogućena je kompenzacija dimenzionalnih promjena u bilo kojem smjeru.



Slika 1.3 Harmonika [1]

1.3 DIJELOVI KOMPENZATORA

Standardni dio svakog kompenzatora je harmonika. Upotrebu ostalih dijelova diktira sama konstrukcija kompenzatora. Osnovni dijelovi većine kompenzatora prikazani su na slici 1.4.



1 – harmonika

2 – rukavac

3 - zaštitna cijev

4 - cijevni nastavak

5 - prirubnica

6 – prsten

7 - prsten za ojačanje (šuplji)

8 - prsten za ojačanje (puni)

9 – graničnik

10 – vijak

11 – matica

12 - podloška

Slika 1.4 Osnovni dijelovi kompenzatora [1]

1.4 VRSTE KOMPENZATORA

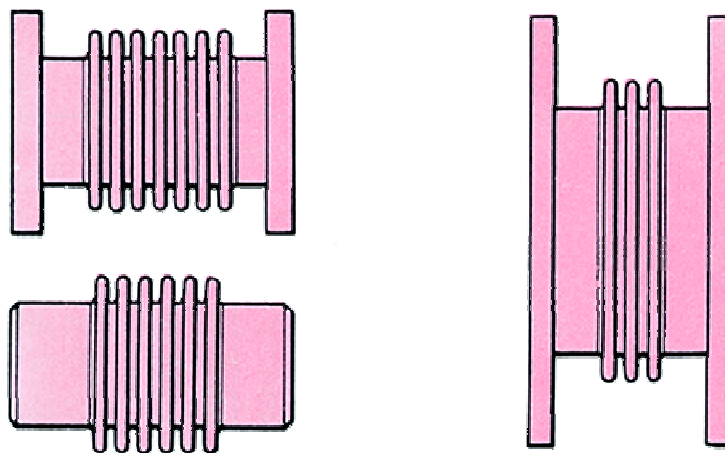
Postoji nekoliko osnovnih vrsta kompenzatora, od kojih je svaki projektiran za rad u određenim uvjetima eksploatacije.

Podjela kompenzatora:

1. Aksijalni kompenzator (AR)
2. Aksijalni samovodeći kompenzator (AS)
3. Aksijalni kompenzator sa tlakom izvana (AE)
4. Dvostruki nespregnuti kompenzator (UD)
5. Dvostruki spregnuti kompenzator (TD ili TM)
6. Jednozglubni kompenzator (HS)
7. Dvozglubni kompenzator (HD)
8. Kardanski kompenzator (GS)
9. Kompenzator sa izjednačenim tlakovima (PB)
10. MAX – COMP kompenzator (MC)
11. Kompenzatori za posebne namjene

1.4.1 Aksijalni kompenzator (AR)

Aksijalni kompenzatori su konstruirani (oblikovani) da prihvate pomake skupljanja ili istezanja duž uzdužne osi kompenzatora. Odgovarajući pomaci specificirane su kao $\pm$ iznosi od slobodne dužine. Slobodna dužina je teoretska dužina prije pomicanja. Od te slobodne dužine kompenzator može prihvatiti jednak iznos pomaka produženja ili skupljanja. Stoga, da bi iskoristili raspoloživi pomak kompenzatora kada se zna da će pomicanje biti samo u jednom smjeru, preporučuje se da se kompenzator montira u pred-istegnutom ili predstisnutom stanju, zavisno od pomaka cjevovoda. Kod montaže se zahtijeva pažnja da se osigura da se kompenzator postavi na ispravnu dužinu, tako da isti radi unutar svojih specificiranih granica. Svako odstupanje imat će određeni utjecaj na vijek trajanja kompenzatora. Također treba imati osigurano odgovarajuće uležištenje i vođenje kompenzatora. Aksijalni kompenzator se isporučuje sa prirubnicama ili cijevnim nastavcima za zavarivanje u cjevovod, ili u kombinaciji to dvoje [1].

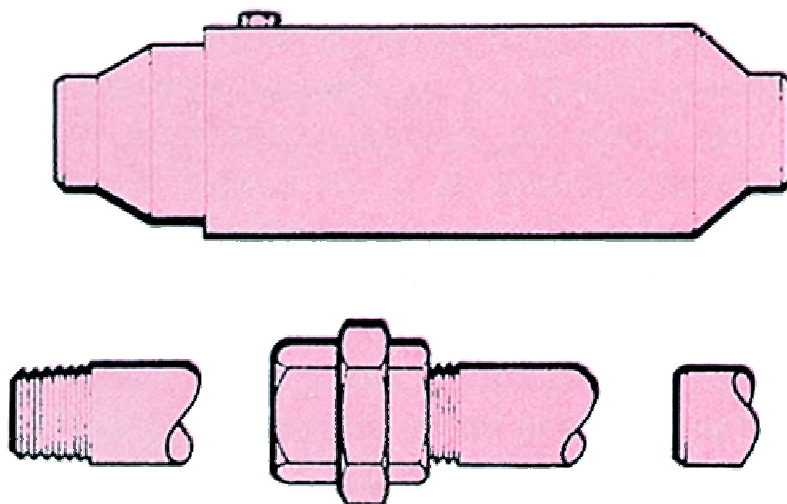


Slika 1.5 Aksijalni kompenzator [1]

1.4.2 Aksijalni samovodeći kompenzator (AS)

Iskustvo je pokazalo da postoji potreba za posebnim tipom kompenzatora za primjenu u sistemu grijanja i ventilacije. Kao što se može vidjeti iz slike, ti kompenzatori imaju unutrašnji rukavac i vanjski zaštitni oklop koji omogućuje ugradnju u cjevovod koji nema priključke u osi. Osim toga, vanjski oklop je praktičan jer daje odgovarajuće samovođenje kompenzatora [1].

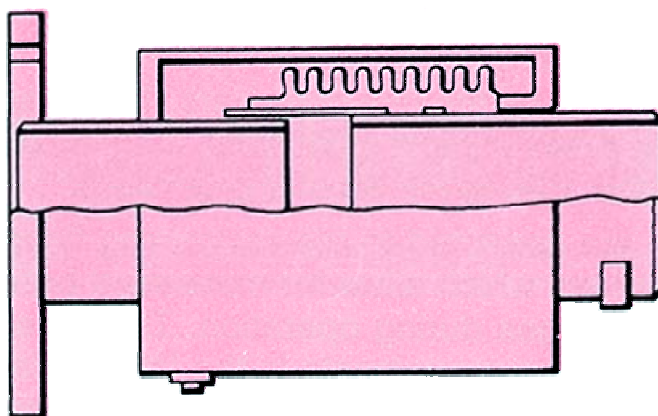
Isporučuje se u istegnutoj dužini koja je osigurana malim postavnim vijkom što osigurava da je kompenzator uvijek instaliran na ispravnoj duljini, što s druge strane osigurava rad kompenzatora bez problema. Unutrašnji rukavac daje mirno strujanje vode kroz kompenzator a smjer strujanja je jasno označen na vanjskom oklopu. Kompenzator se isporučuje sa cijevnim nastavcima za zavarivanje. Nakon što se postavi kompenzator u cjevovod preostaje još samo da se ukloni postavni vijak [1].



Slika 1.6 Aksijalni samovodeći kompenzator[1]

1.4.3 Aksijalni kompenzator sa tlakom izvana (AE)

Primjenjuje se gdje je kombinacija visokog tlaka i dugačkih aksijalnih pomaka, što je uvjetovalo razvoju kompenzatora opterećenog tlakom izvana. Na slici se može vidjeti da je radni tlak prenesen na vanjsku stranu kompenzatora preko raspona između prstenastog dijela i cijevi. Kompenzator je oblikovan u svrhu izrade vanjskog plašta koji prenosi radni tlak [1].

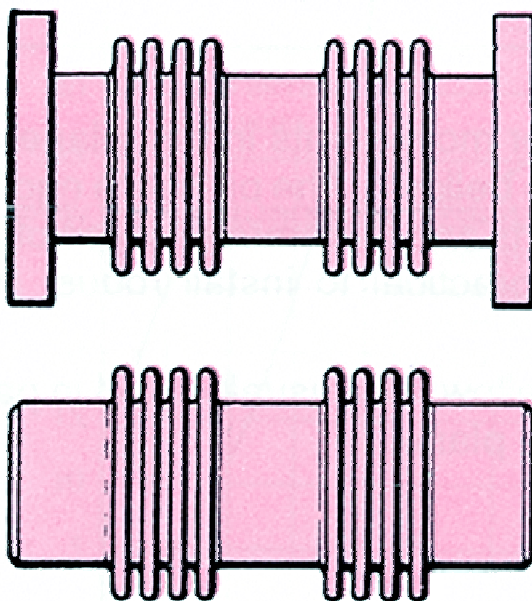


Slika 1.7 Aksijalni kompenzator opterećen sa tlakom izvana [1]

1.4.4 Dvostruki nespregnuti kompenzator (UD)

Dvostruki kompenzator je formiran spajanjem dvaju kompenzatora centralnom cijevi.

Ovaj tip kompenzatora će podnijeti aksijalne i poprečne pomake. Uobičajeni aksijalni kompenzator može također preuzeti ograničena poprečna pomicanja, ali ukoliko se zahtijevaju znatna poprečna pomicanja, preporučljivo je upotrijebiti dvostruki kompenzator, a također i u slučajevima gdje se priključni cjevovod može opteretiti ograničenim iznosom poprečnih sila. Ovaj tip kompenzatora je idealan za primjenu kod ispušnih sistema ili kod niskih tlakova gdje je prisutna kombinacija pomaka [1].

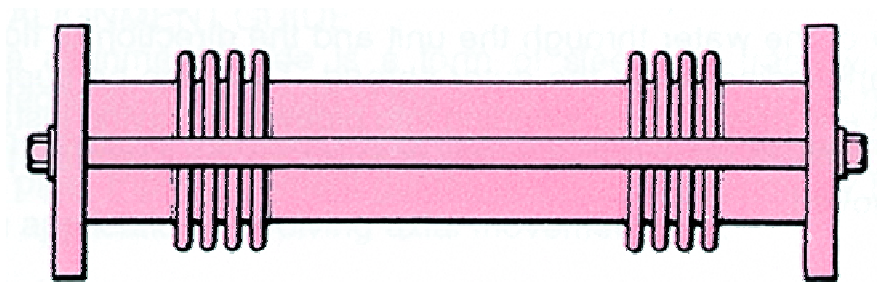


Slika 1.8 Dvostruki nespregnuti kompenzator[1]

1.4.5 Dvostruki spregnuti kompenzator (TD ILI TM)

Za primjenu kod većih tlakova gdje postoji ograničenje sila koje može preuzeti priključni cjevovod, dvostruki kompenzator je spregnut spreznim vijcima protiv prenošenja tlaka na čvrste točke. Oblikovan je tako da zadržava sile unutar duljine kompenzatora i ne prenosi ta opterećenja na priključni cjevovod. Sprezni vijci su priključeni na sprezne priрубnice preko sfernih prstenova koji za vrijeme rada dopuštaju pomicanje između spreznih vijaka i priрубnica [1].

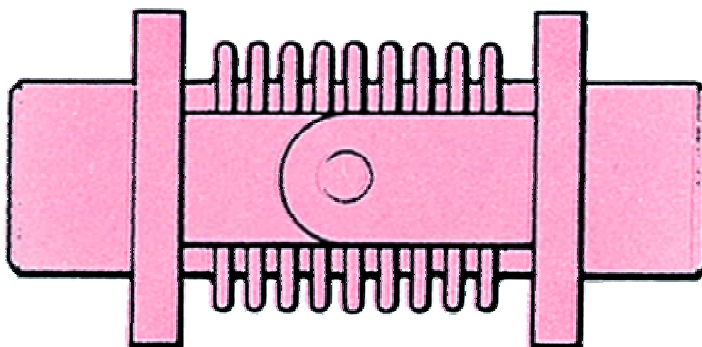
Ovaj tip kompenzatora može preuzeti velike poprečne pomake u bilo kojem pravcu. Ukoliko nema više od dva sprezna vijka može također preuzeti kutna zakretanja priрубnica. Veličina poprečnog pomaka ovisi o duljini kompenzatora. Kod oznake kompenzatora: TD znači da je spregnut sa dva vijka, a TM znači da je spregnut sa više vijaka [1].



Slika 1.9 Dvostruki spregnuti kompenzator[1]

1.4.6 Jednozglobni kompenzator (HS)

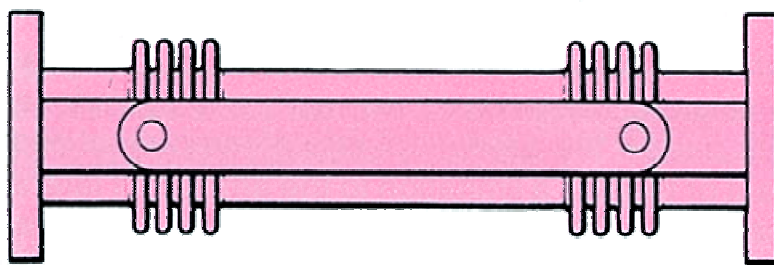
Zglobni kompenzatori dopuštaju pomicanja samo u jednoj ravnini i rade kutnim zakretanjem kompenzatora. Krajnja opterećenja preuzimaju zglobni dijelovi, i stoga je ovaj tip kompenzatora idealan gdje praktički nije moguće postaviti robusne klizne točke ili jake čvrste točke. Jednozglobni kompenzatori se obično upotrebljavaju u parovima da daju poprečne pomake u bilo kojoj ravnini [1].



Slika 1.10 Jednozglobni kompenzator [1]

1.4.7 Dvozglobni kompenzator (HD)

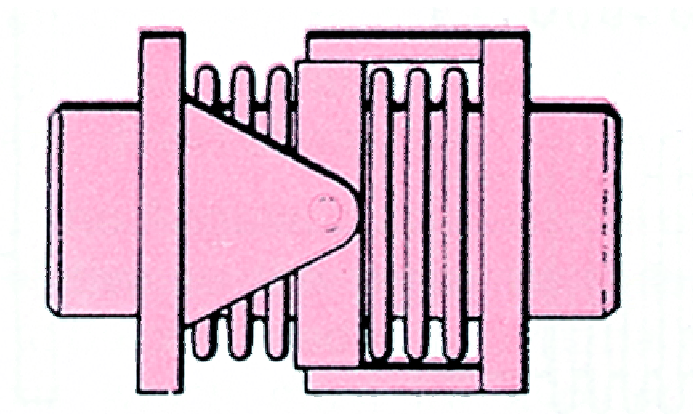
Dvozglobni kompenzatori su u osnovi dva jednozglobna kompenzatora spojena u jedan, odgovarajućom spojnom polugom. Stoga, bilo kakva istezanja centralne cijevi između granica poluge, će jednostavno stisnuti kompenzator i neće izazvati pomicanje ostalog dijela cjevovoda. Ovaj tip kompenzatora dopušta poprečno pomicanje samo u jednoj ravnini [1].



Slika 1.11 Dvozglubni kompenzator[1]

1.4.8 Kardanski kompenzator (GS)

Kardanski kompenzatori su oblikovani tako da dopuštaju kutna zakretanja u bilo kojoj ravnini, upotrebljavajući dva para zglobova postavljenih na odgovarajućem kružnom kardanskom prstenu. Kardanski prsten i zglobni dijelovi su oblikovane da preuzmu sile nastale djelovanjem unutrašnjeg tlaka i bilo kakve vanjske sile koja je narinuta kompenzatoru. Kao i u slučaju jednozglubnih kompenzatora, i kardanski kompenzatori se obično upotrebljavaju u parovima da bi popustili poprečne pomake u bilo kojoj ravnini [1].

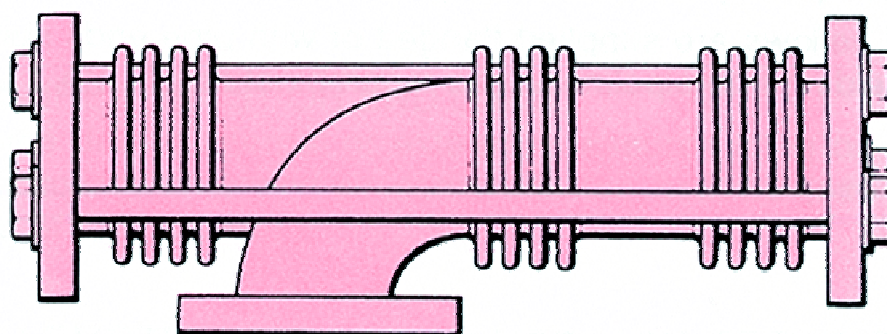


Slika 1.12 Kardanski kompenzator[1]

1.4.9 Kompenzator sa izjednačenim tlakovima (PB)

Jedan od glavnih problema koji se javljaju kada se upotrebljava kompenzatore kod kombinacije velikih paroenergenata gdje je prostor vrlo ograničen, i također gdje uređaji kao i pumpe, turbine ili ventili koji mogu preko prirubnica preuzeti vrlo ograničene sile (koje su

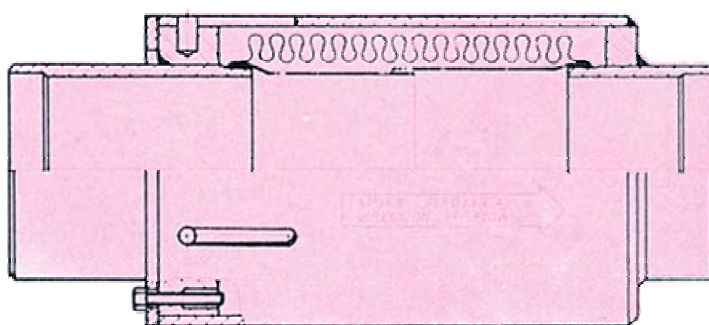
vrlo čest sastavni dio odljevka uređaja). Također kada je pokretanje cjevovoda i postrojenja više nego u jednoj ravlini, to se može pokazati kao glavni problem. Taj problem preuzimanja krajnjih sila može biti riješen upotrebom kompenzatora sa izjednačenim tlakovima. Oni su raznih izvedbi, ali u svakom slučaju svrha je da se eliminira djelovanje opterećenja krajeva od tlaka, postavljajući kompenzatore tako da dva opterećenja krajeva od tlaka koja su jednaka po veličini a suprotnog smjera, poništavaju jedan drugog, što rezultira da postrojenje treba preuzeti silu samo opružnog djelovanja kompenzatora. To je relativno malo u usporedbi sa silama tlaka i obično se nalazi unutar dozvoljenih granica [1].



Slika 1.13 Kompensator sa izjednačenim tlakovima [1]

1.4.10 Max – comp kompenzator

Max-Comp kompenzatori su konstruirani uglavnom za upotrebu u predizoliranim cjevovodima. Kompensator je potpuno zatvoren i zaštićen sa čvrstim oklopom i vrlo je jednostavan za ugradnju u cjevovod, a isporučuje se hladno prednapregnut [1].



Slika 1.14 Max – Comp kompenzator [1]

1.4.11 Kompenzatori za posebne namjene

Tankostijeni kompenzator je u cijelom svijetu prihvaćen kao glavna metoda kompenzacije dimenzionalnih promjena. Primjenjuje se u petrokemijskim postrojenjima, ventilacijskim sistemima, na brodovima, u avionskim sistemima za gorivo i klimatizaciju, na ispušnim cijevima dizel motora, u brodogradnji, u nuklearnim elektranama, u izmjenjivačima topline i kondenzatorima [1].

Palube brodova

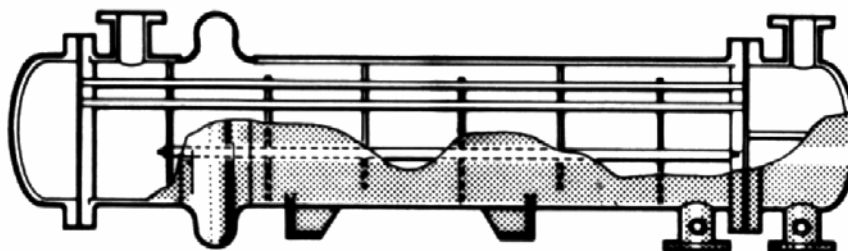
Za ovu primjenu u glavnini slučajeva aksijalni kompenzatori služe za preuzimanje produženja i kompenzacije cjevovoda za sljedeću upotrebu na tankerima i brodovima: para, kondenzat, pranje palube, protupožarna pjena, vruću i hladnu vodu za pranje tankova, komprimirani zrak, i na tankerima za prirodne ukapljene plinove. U ovoj primjeni kompenzator nije oblikovan samo za preuzimanje toplinskih produženja cijevi, već također i za dodatne pomake ljuljanja broda na valovima. Kod ove primjene treba, prilikom odabiranja materijala za kompenzator, voditi računa o koroziji slanom vodom koja prska vanjsku stranu kompenzatora [1].

Volumensko istežanje

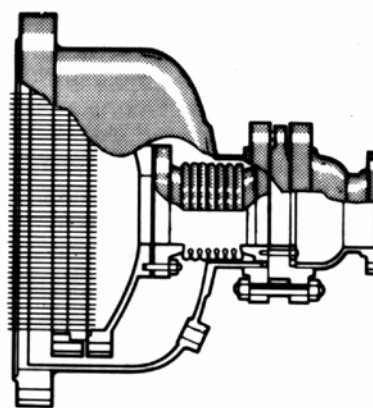
Kada je tekućina sadržana u zatvorenoj komori, mora joj biti omogućeno širenje. Jedna od najjednostavnijih i čak najviše zadovoljavajuća metoda je uklopiti kompenzator u konstrukciju posude da preuzme promjenu volumena kod širenja i skupljanja. Tipična primjena je kod uljem punjene električne opreme [1].

Izmjenjivači topline i kondenzatori

Aksijalni kompenzatori se primjenjuju za preuzimanje razlike u produljenju između cijevi i plašta kod čvrste i plivajuće cijevne stijene izmjenjivača topline. U slučaju čvrste cijevne stijene kompenzator je oblikovan prema uvjetima na strani plašta. Kod plivajuće cijevne stijene izmjenjivača topline, kompenzator se oblikuje prema međusobno nezavisnim uslovima plašta i cijevne stijene [1].



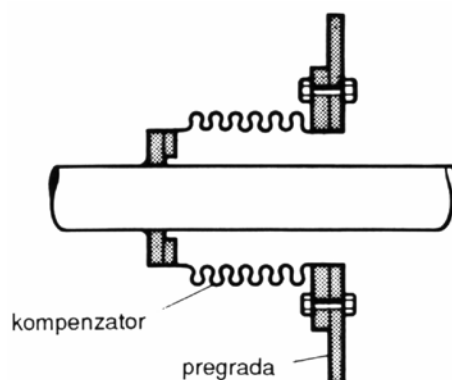
Slika 1.15 Izmjenjivač topline s fiksnom cijevnom stijenom [1]



Slika 1.16 Izmjenjivač topline s plivajućom cijevnom stijenom [1]

Pregradna brtva

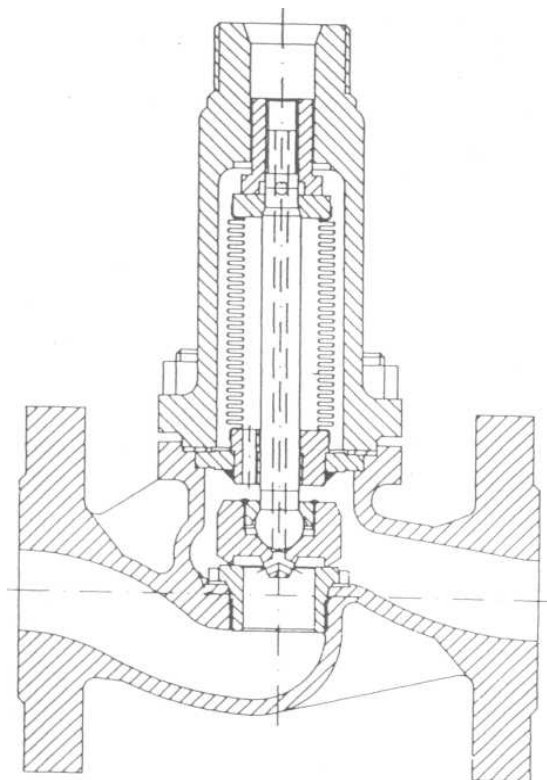
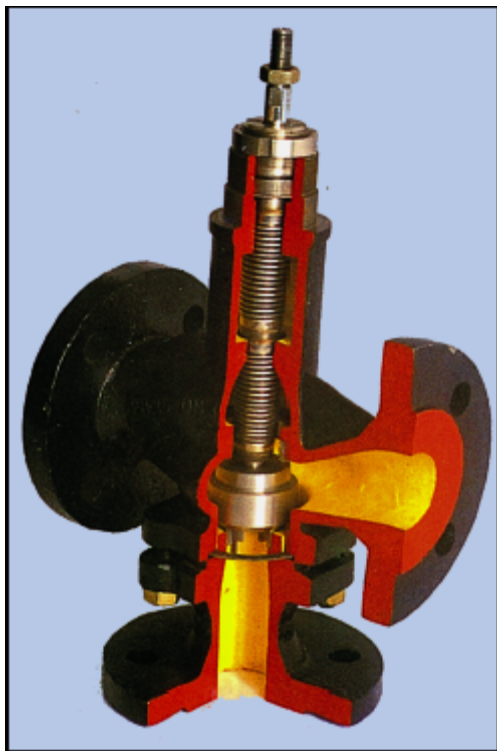
Tipičan primjer ove primjene je prolazanje rotacionog vretena kroz zid, od kojih obje strane moraju biti potpuno brtvljene od druge strane. Ova primjena kompenzatora je potpuno slična brtvi rotacionog vretena. Također, kako je prikazano na slici, kompenzator može biti upotrijebljen gdje cijev prolazi kroz pregradu ili zid, tj. između odjeljka broda, slika 1.17 [1].



Slika 1.17 Pregradna brtva [1]

Kompenzator brtve ventila

Kompenzator brtva ventil, prikazan na slici 1.18 je samo jedan u nizu specijalnih primjena kompenzatora. Kod ove primjene kompenzatorska brtva je upotrebljena umjesto klasičnog sistema brtvljenja, gdje brtvljenje mora biti apsolutno nepropusno (npr. za nuklearne instalacije). Potreban pomak je preuzet valovima kompenzatora [1].



Slika 1.18 Kompenzator brtva ventil [1]

Pravokutni kompenzator (PK)

Prema zahtjevima kupca Tvornica kompenzatora izrađuje nestandardne pravokutne kompenzatore. Najveće moguće dimenzije ograničene su jedino transportnim mogućnostima. Ovaj problem je moguće riješiti izradom dijelova pravokutnog kompenzatora koji bi se sastavljali na samom gradilištu. Spajanje se izvodi zavarivanjem TIG postupkom (slika 1.19) [1].



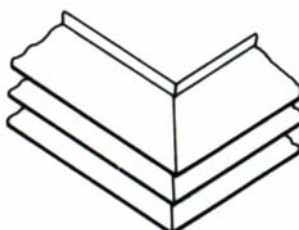
Slika 1.19 Zavarivanje pravokutnih kompenzatora TIG postupkom [1]

Pravokutni kompenzatori izrađuju se sa valovima dubine 70 mm i debljine stjenke približno 1 mm. Oblik valova prikazan je na slici 1.20.



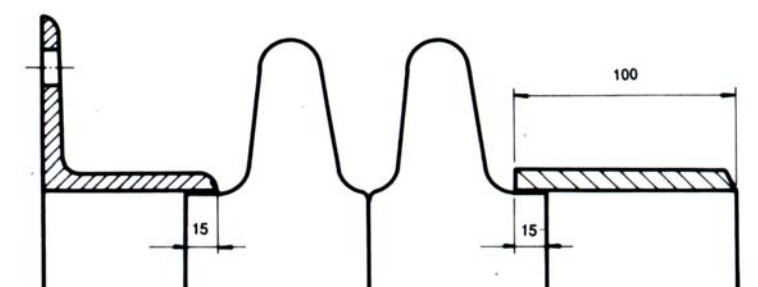
Slika 1.20 Mogući oblici valova pravokutnog kompenzatora [1]

Jedan val može prihvatiti ukupni aksijalni pomak od 15 mm uz garanciju životnog vijeka od minimum 1000 ciklusa. Kompenzator ima jednostruki kut koji se susreće u praksi (slika 1.21).



Slika 1.21 Jednostruki kut pravokutnog kompenzatora [1]

Pravokutni kompenzator se primjenjuje u sistemima, gdje radni tlak nije velik, za kompenziranje dimenzionalnih promjena izazvanih temperaturom i vibracijama. Slika 1.22 prikazuje poprečni presjek pravokutnog kompenzatora, a na slici 1.23 prikazan je pravokutni kompenzator [1].



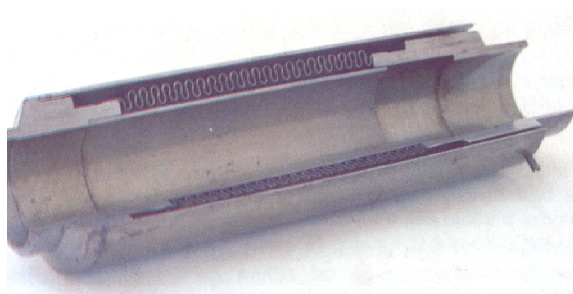
Slika 1.22 Poprečni presjek pravokutnog kompenzatora [1]



Slika 1.23 Pravokutni kompenzator [1]

Kompenzatori za centralno grijanje

Kompenzatori predstavljaju novi korak u razvoju kompenzacionih uređaja za preuzimanje izduženja u parnim i toplovodnim cjevovodima. Kompenzatori daju visok stupanj ekonomičnosti i jednostavne ugradnje. Upotrebom materijala visoke kvalitete i specijalne proizvodne tehnologije "Đuro Đaković" je proizveo niz kompenzatora za koje nije potrebno održavanje i koji su stvarno toliko trajni, kao i cijevni sistem u koji se ugrađuju [1].



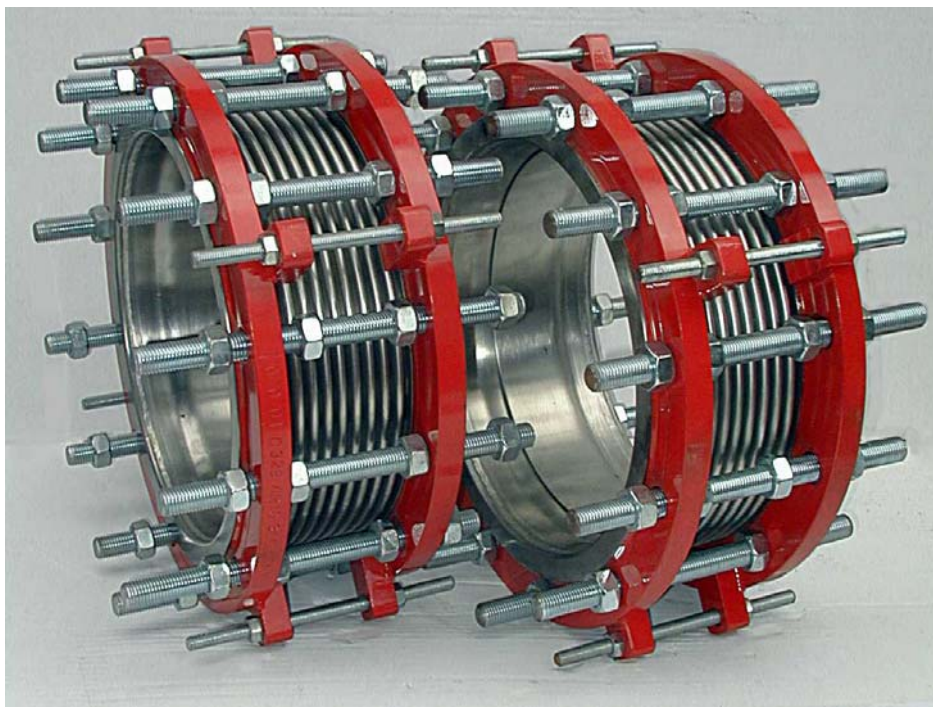
Slika 1.24 Kompenzator za centralno grijanje [1]

Brojne kvalitete doprinose mogućnosti primjene ovih kompenzatora. Prava je stvarnost korozijski postojanih harmonika napravljenih pod striktnom kontrolom kvaliteta. Druga je dovoljna duljina unutrašnjeg rukavca koji vodi cijev (usmjerava pomake cjevovoda) sprečavajući druge nepredviđene pomake i ne dozvoljava naprezanja kompenzatora.

Unutrašnji rukavci osiguravaju miran tok medija i smanjuju otpore. Treća karakteristika je robusni vanjski oklop koji štiti kompenzator i osigurava da narinuti pomak bude aksijalno usmjeren, ovaj naći konstrukcije omogućava ispravan rad kompenzatora [1].

Montažno – demontažni kompenzator

Namjena ovog kompenzatora je povezivanje fazonskih i zapornih elemenata u cjevovodima. Po potrebi omogućuje njihovu jednostavnu demontažu i kasniju montažu. Koriste se promjeri od NO 150 do NO 1000, za tlakove 10, 16, 25 i 40 bar [2].



Slika 1.25 Montažno demontažni kompenzator [2]

1.5 OZNAČAVANJE KOMPENZATORA

Bilo koji kompenzator iz asortimana Tvornice kompenzatora određen je navođenjem slijedećih informacija:

1. Tip kompenzatora
2. Nazivni otvor
3. Ukupni pomak
4. Priključci
5. Dodaci

Oznaka Tip kompenzatora:

Npr. ako je potreban aksijalni kompenzator sa radnim tlakom 0,6 MPa (6 bar), tada je tip kompenzatora AR6.

Oznaka Nazivni otvor:

Određena je promjerom cjevovoda na koji se kompenzator priključuje.

Npr. ako se kompenzator priključuje na cijev promjera 300 mm, tada oznaka nazivni otvor

glasi: 300.

Oznaka Ukupni pomak:

Temperaturno izduženje se može izračunati upotrebom koeficijenta toplinskog izduženja ukoliko se poznaje radna temperatura i materijal cijevi.

Npr. ako se pretpostavi da je ukupni pomak manji od 70 mm, oznaka ukupni pomak glasi: 70.

Oznaka Dodaci:

Oznake za rukavce i zaštitu su:

- 0 – nisu potrebni dodatni dijelovi,
- 1 – potrebni su rukavci,
- 2 – potrebna je zaštita,
- 3 – potrebni su rukavci i zaštita.

Npr. ukoliko nisu potrebni dodatni dijelovi za konačni proizvod, oznaka dodaci glasi: 0

Oznaka Priključci:

Standardni krajnji priključci:

TIP	OPIS	OZNAKA TVORNICE KOMPENZATORA
Prirubnica	ASA150	H
Prirubnica	ASA300	J
Prirubnica	ASA400	I
Prirubnica	DIN2631	L
Prirubnica	DIN2632	M
Prirubnica	DIN2633	N
Prirubnica	DIN2634	O
Prirubnica	DIN2635	P
Cijevni završeci	ISO 0,6 i 1 MPa	T
Cijevni završeci	ISO 1,6 MPa	U
Cijevni završeci	ISO 2,5 MPa	V

Npr. ukoliko su potrebni priključci prema DIN2631, tada oznaka priključka glasi: L

Na primjeru kompletna oznaka kompenzatora bi bila: AR 6/300/70/L/0

Sljedeći isti postupak za dvozglojni kompenzator sa radnim tlakom 1 MPa (10 bar), nazivnim

otvorom 800 mm, ukupnog pomaka 100 mm (± 50 mm), sa ISO krajevima za zavarivanje i unutarnjim rukavcima, izrazio bi se kao: HD 10/800/100/T/1 [1].

1.6 MATERIJALI KOJI SE KORISTE U IZRADI KOMPENZATORA

Za veliku većinu primjena, uključujući i tankostijene kompenzatore odgovor na pitanje: "Koju vrstu materijala izabrati?" lako će se naći. Korozijski postojan čelik 18/10 titanium stabilizirani (Č.4572) u potpunosti odgovara u gotovo svakoj situaciji, i samo u posebnim prilikama potrebno je upotrijebiti neku drugu vrstu materijala [1].

1.6.1 Kriterij za izbor osnovnog materijala

Osnovi kriteriji za izbor osnovnog materijala kod kompenzatora su:

- radni medij,
- temperatura i
- naprezanje.

1.6.2 Izbor materijala za kompenzatore

Prilikom eksploatacije važno je sigurno i pouzdano funkcioniranje kompenzatora, te se nameće važnost pravilnog izbora materijala. U Tablici 1.1 dan je pregled najčešće korištenih materijala u Tvornici kompenzatora [1].

Primjeri posebnih uvjeta eksploatacije:

- primjena kod pare (ukoliko su prisutni kloridi, visoke temperature i uvjeti visoke lužnatosti),
- primjena u brodogradnji,
- cjevovodi za ugljikovodike,
- cjevovodi za sirovu naftu,
- cjevovodi za transport tekućih goriva koja sadrže sumporni dioksid,
- ispušne cijevi za dizel motore.

Gdje god se pojave ovi uvjeti eksploatacije ne smije se prijeći preko njih, jer prisutni unutrašnji i vanjski uvjeti mogu prouzročiti da kompenzator otkaže u radu, ako materijal nije dovoljno otporan na uvjete eksploatacije. Izbor materijala za harmonikaste dijelove kompenzatora prikazan je u Tablici 1.2 [1].

Tablica 1.1 Usporedna tablica najčešće primjenjivanih materijala u Tvornici kompenzatora [1]

D I N			USA	
JUS	W.Nr.	Kratka oznaka	ASTM	AISI
Č.0361	1.0038	Rst.37-2	A570 Gr.36	
Č.1202	1.0345	HI	A515 Gr.65,55 A516 Gr.65,55 A414 Gr.C	
Č.1204	1.0425	HII	A515 Gr.60	
Č.1214	1.0305	St.35-8		
Č.1330		C22		
Č.7100	1.5415	15Mo3	A204 Gr.A	
Č.4580	1.4301	x5CrNi18 10		304I
Č.45701	1.4306	x2CrNi19 11		304L
Č.4572	1.4541	x6CrNiTi18 10		321
Č.4573	1.4401	x5CrNiMo 17 12 2		316
Č.45703	1.4404	x2CrNiMo 18 14 3		316L
Č.4574	1.4571	x6CrNiMoTi 17 12 2		316Ti
	2.4360	NiCu30Fe MONEL 400	B 127 B 164-165	
	2.4816	NiCr15Fe INCONEL 600	B 163 B 166-168	
	2.4856	NiCr22Mo9Nb INCONEL 625	B 443, B 44, B446	
	1.4876	x1ONICrAlTi 3220 INCOLY800 INCOLY800H	B 163 B 407- 409 B 514,B 515, B564	
	2.4858	NiCr21Mo INCOLY825	B 163 B 423-425	

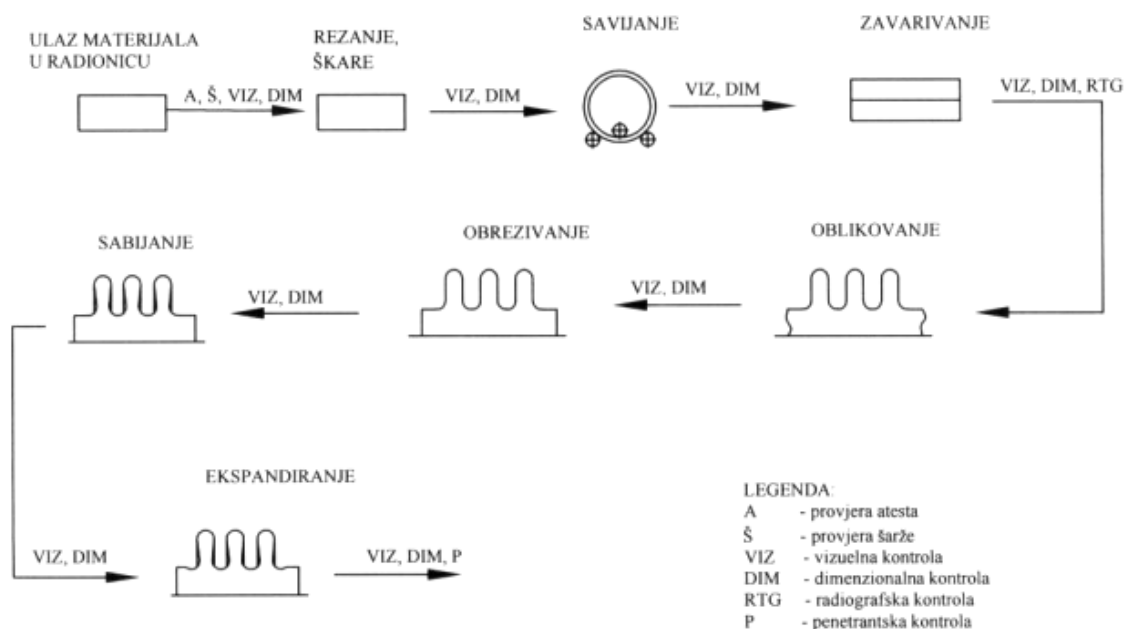
Tablica 1.2 Izbor materijala za harmonikaste dijelove kompenzatora [1]

USA	DIN	O P I S
ASTM A240 AISI 321	W.Nr. 1.4541	Standardni materijal za harmonikaste dijelove kompenzatora.
AISI 316 Ti	W.Nr. 1.4571	Materijal sa boljom otpornošću u odnosu na AISI 321 posebno što se tiče pitting korozije.
AISI 304	W.Nr. 1.4301	Kompenzatori se isporučuju iz ovog nestabiliziranog materijala ako se to posebno zahtjeva.
AISI 310		Vrlo je teško proizvesti ovaj materijal koji je prikladan za proizvodnju kompenzatora. Stoga se koristi za specijalne primjene.
Incoloy825	W.Nr. 2.4858	Vrlo koristan materijal sa visokim sadržajem nikla.
ASTM SB409 INCOLY 800	W.Nr. 1.4876	Kompenzatori iz ovog materijala mogu biti isporučeni ako se zahtjeva dobra otpornost na koroziju i dobra svojstva na visokim temperaturama. Slična legura Incoloy DS može biti isporučena ako se zahtijevaju uvjeti sa visokom temperaturom. Incoloy 800 ima prednost u odnosu na materijal AISI 310 radi lakšeg formiranja kompenzatora.
ASTM SB168 INCONEL 600	W.Nr. 2.4816	Ova legura ima općenito dobru otpornost na koroziju.
ASTM SB 127 MONEL 400	W.Nr. 2.4360	Ova nikal-bakrena legura ima ograničenu upotrebu u proizvodnji kompenzatora za specijalne primjene
HASTE- LLOYB		Ova nikal-molibden legura posjeduje izvanrednu otpornost na hidrokloridnu kiselinu i također je otporna na vodikov klorid plin.
INCONEL 625	W.Nr. 2.4856	Jedna od najnovijih nikal-krom-molibdenskih legura sa kombinacijom dobrih svojstava na visokim temperaturama i sa dobrom otpornošću na koroziju uz naprezanje i različite korozivne uvjete.

1.7 STROJARSKE TEHNOLOGIJE ZASTUPLJENE U IZRADI KOMPENZATORA

Prilikom izrade kompenzatora koriste se sljedeće tehnologije:

1. sječenje lima – lim se pomoću škara siječe na određene dimenzije, ako se radi o rezanju lima većih debljina od 1mm tada se rezanje vrši pomoću plazme ili plinskog rezanja nakon čega slijedi,
2. savijanje lima – ovom tehnologijom se mijenja oblik ravnog lima u savijeni,
3. zavarivanje – zavarivanjem se vrši spajanje krajeva lima u jednu cjelinu,
4. oblikovanje harmonike – oblikovanje harmonike se vrši valjanjem na strojevima MANDREL, OLIVER, SOLAR,
5. obrezivanje harmonike – nakon oblikovanja vrši se obrezivanje tj. dovođenje harmonike na mjeru (ručni alati),
6. sabijanje – vrši se stiskanje harmonike na određenu mjeru,
7. ekspanziranje – nakon izrade po potrebi promjer harmonike se ekspanzira na određenu dimenziju.

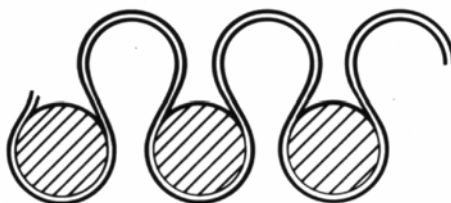


Slika 1.26 Slijed proizvodnih i kontrolnih aktivnosti kod izrade harmonike kompenzatora

1.8 PROIZVODNJA KOMPENZATORA

Osnovni princip proizvodnje kompenzatora nije kompliciran i svaki proizvođač kompenzatora formira valoviti dio kompenzatora na jedan od dva načina, bilo mehaničkim oblikovanjem ili hidrauličkim formiranjem. Princip je isti u oba slučaja. Prije svega, lim odgovarajućeg materijala (obično korozijski postojan čelik) je odabran da udovolji specificiranim zahtjevima tlaka i temperature, i koji će biti otporan na poznate korozijske uvjete. Lim se tada reže, savija u cijev određene veličine i zavaruje uzdužno [1].

Kvaliteta uzdužnog zavora, u cilindar savijenog lima, izvedenog prije formiranja valova, je od najveće važnosti za trajnost kompenzatora. Strojevi na kojima se zavaruje, daju zavar koji je isto tako čvrst kao i osnovni materijal, ali ga ne zadebljava. Odstupanje od bilo kojeg faktora može ozbiljno utjecati na trajnost kompenzatora [1]. Sljedeći korak je izrada valovitog dijela. To može biti izvedeno bilo valjanjem oblikovanih valova između vanjskog i unutrašnjeg točka, ili radijalnim opterećenjem hidrauličkim tlakom u potrebni profil vala. Isti može imati i prstene za ojačanje, postavljene između valova zavisno od zahtjeva otpornosti na tlak i pomak. Primjer je prikazan na slici 1.27 [1].



Slika 1.27 Valoviti dio kompenzatora sa prstenima za ojačanje [1]

Važan razvoj u oblikovanju kompenzatora bilo je uvođenje više od jednog sloja metala u svaku konstrukciju. Otkriveno je da je izrada kompenzatora u više slojeva tankog metala bolja nego iz jednog debelog lima. Fleksibilnost i sile naprezanja u odnosu na pomake mogu se prenijeti i na više tlakove. Višeslojni kompenzatori su standardno obilježje naših konstrukcija. Slika 1.28 [1].



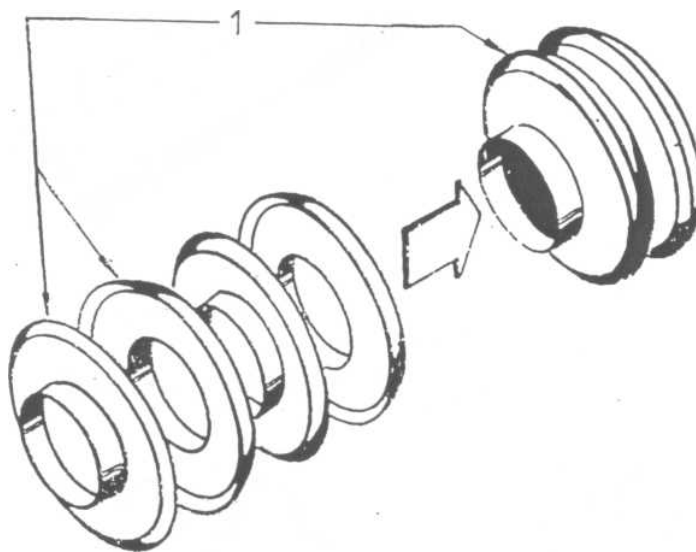
Slika 1.28 Višeslojni kompenzator [1]

1.9 IZRADA HARMONIKE

U početku se harmonika izrađivala iz debelostjenih materijala. Oblici valova prikazani su na slici 1.29. Tanjurasti limovi (diskovi) su međusobno zavarivani kružno po obodu tako da čine seriju valova, što je prikazano na slici 1.30 [1].



Slika 1.29 Oblici valova harmonike izrađene iz diskova [1]

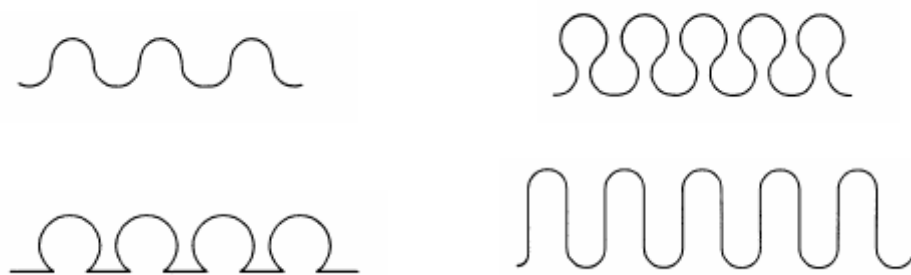


1. Kružni zavar po obodu

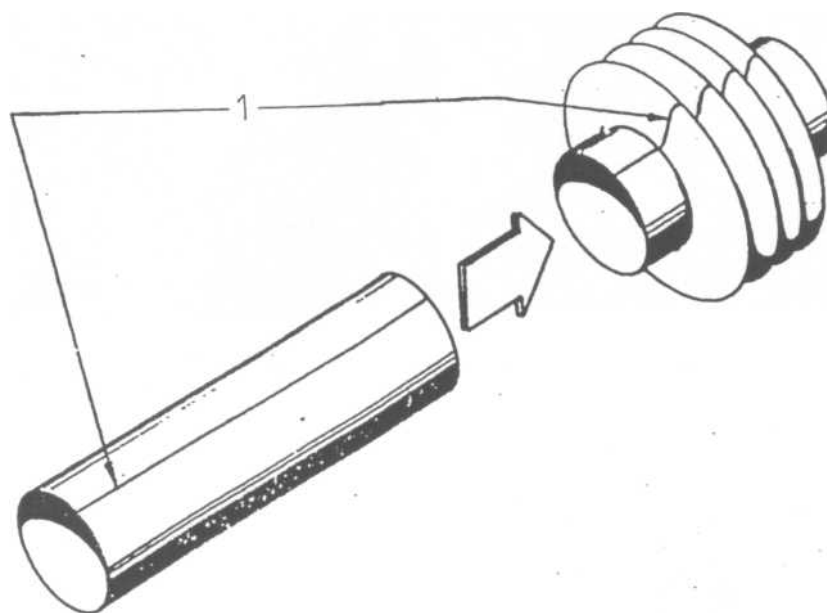
Slika 1.30 Harmonika iz tanjurastih limova (diskova) [1]

Nedostatak harmonike izrađene na ovaj način je u tome što je izrađena iz debelostijenog lima i da bi se izazvao pomak potrebna je odgovarajuća sila.

Oblikovanje harmonike pažljivim hladnim valjanjem tankostjene cijevi omogućena je kompenzacija dimenzionalnih promjena bez izazivanja prekomjernog naprezanja materijala ili stvaranja neprihvatljivih protu-sila koje bi djelovale na čvrste točke cijevi. Na slici 1.31 je prikazan oblik valova koji se mogu dobiti oblikovanjem na strojevima koji su prikazani na slikama 1.44, 1.45, 1.48 i 1.49, dok na slici 1.32 vidljivo je da tako oblikovana harmonika ima samo podužni zavar.



Slika 1.31 Oblici valova harmonike oblikovane hladnim valjanjem [1]

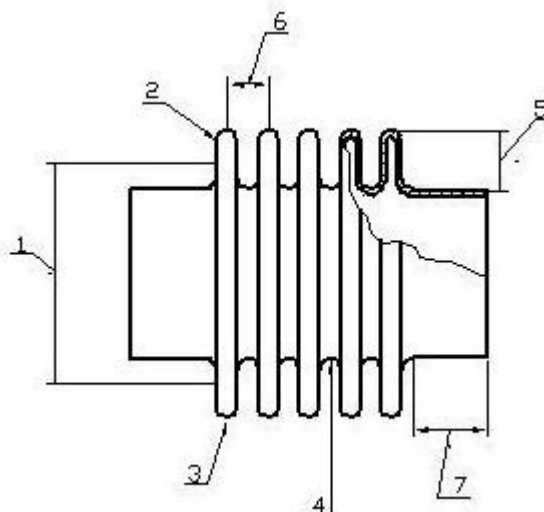


1. Podužni zavar na harmonici

Slika 1.32 Harmonika oblikovana hladnim valjanjem [1]

Osnovne komponente svake harmonike, ukoliko se zanemari način proizvodnje (harmonika izrađena iz diskova ili harmonika oblikovana hladnim valjanjem) su prikazane na slici

1.33.



Slika 1.33 Komponente harmonike [1]

1. Srednji promjer harmonike
2. Val harmonike
3. Vrh vala
4. Korijen vala
5. Visina vala
6. Razmak između valova
7. Manžeta

1.10 TEHNOLOGIJA HLADNOG OBLIKOVANJA

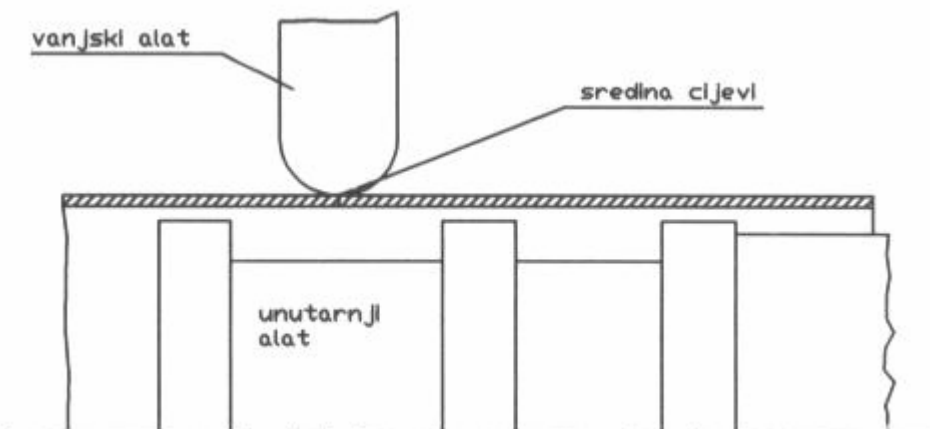
1.10.1 Postupak rada na strojevima tipa MANDREL i OLIVER

Prihvaćeni princip u izradi oblika valova kompenzatora je sljedeći : valja se prethodno izrađena cijev prema unutar, zatim redom van i unutra, dok se ne dobije željeni oblik vala. Formiranje valova se vrši minimalno u tri faze. Nakon formiranja vala dolaze operacije formiranja manžete, te sabijanje na slobodnu dužinu [3].

1. OPERACIJA FORMIRANJA VALA

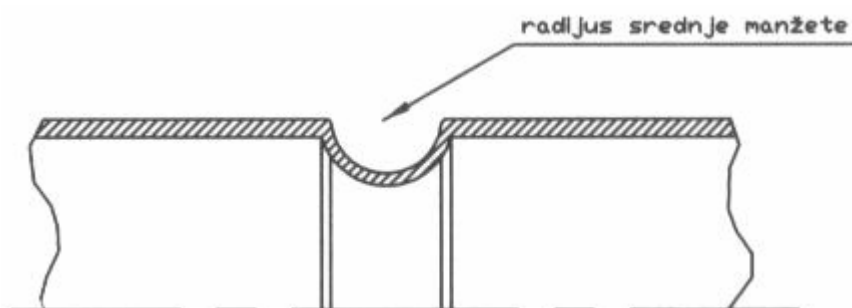
Ova operacija se obavlja kako slijedi :

- postaviti vratilo, gornje i donje alate,



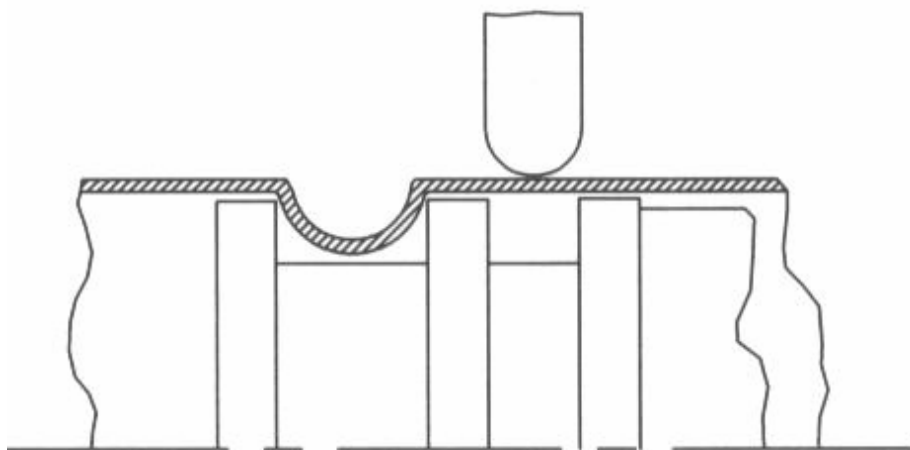
Slika 1.34 Postupak oblikovanja [3]

- podesiti donji pridržač (valjke za pridržavanje) na potrebnu visinu i širinu,
- centrirati gornji alat točno između unutarnjih razmaka donjeg alata,
- postaviti cijev u sredinu iznad donjeg alata i gornji alat stisnutu dolje da legne na rotirajući radni komad i da na taj način formira udubljenje,
- postaviti graničnik kada je izvaljeno do potrebne dubine i prekontrolirati dubinu,



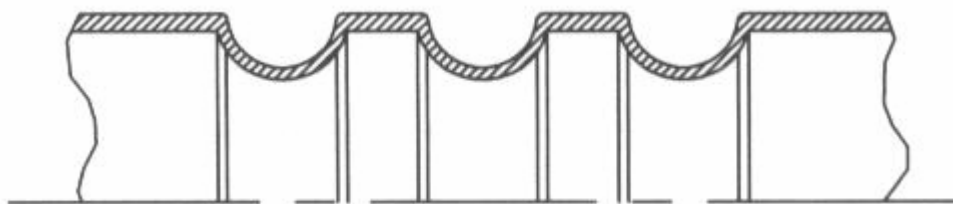
Slika 1.35 Oblik prvog vala [3]

- promijeniti gornji alat i staviti alat za standardnu prvu operaciju,
- pomaknuti gornji alat nasuprot užeg međuprostora,
- pomaknuti cijev u prethodni položaj preko donjeg alata i spustiti gornji alat dolje, zatim pokrenuti stroj,



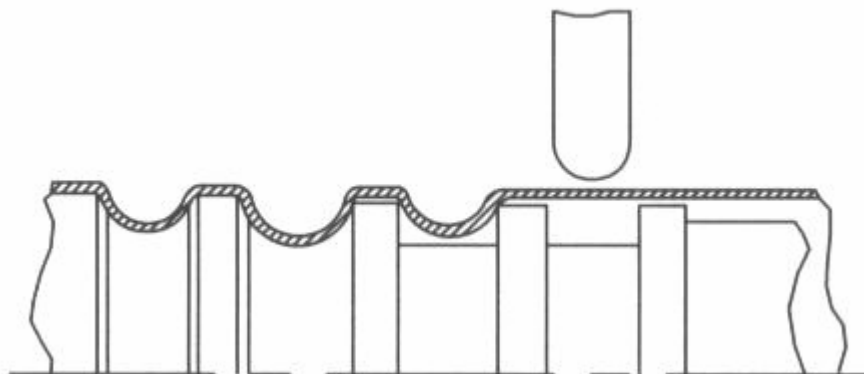
Slika 1.36 Formiranje drugog vala [3]

- zaustaviti kada je postignuta potrebna dubina (potrebna dubina mora biti: unutarnji promjer polazne cijevi minus debljina gornjeg alata, mjereno pomičnim mjerilom na vanjskom promjeru dobivene udubine).
- okrenuti cijev i ponoviti prethodna dva zahvata,



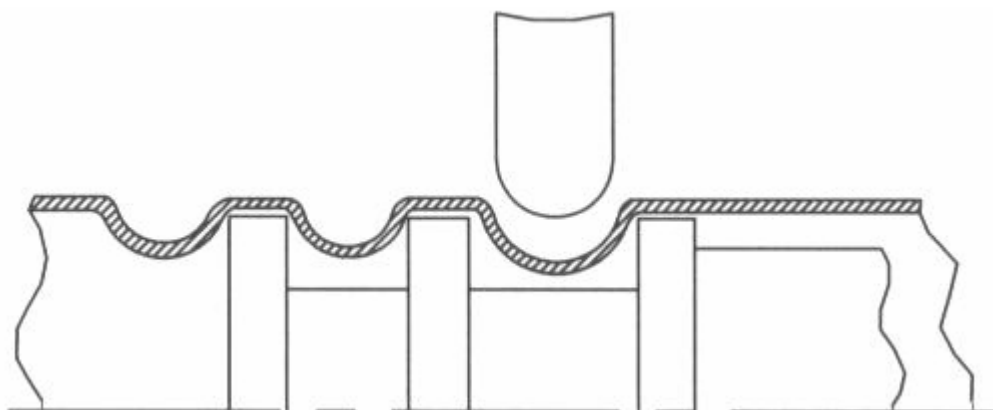
Slika 1.37 Izgled valova nakon prvog prolaza [3]

- zamijeniti široki međukomad za srednju manžetu na donjem alatu sa normalnim međukomatom za prvu operaciju,
- nastaviti sa formiranjem do potrebnog broja valova na jednom kraju cijevi, zatim okrenuti cijev i sve ponoviti,
- zadnju udubinu na oba kraja utisnuti za 1 mm da bi se mogla pravilno formirati manžeta.



Slika 1.38 Formiranje valova [3]

- izmijeniti gornji i donji alat i ponoviti prvi zahvat, samo zamijeniti položaj međukomada i položaj gornjeg alata,
- nanijeti cijev u položaj zadnje udubine preko donjeg alata i formirati udubinu manžete utiskivanjem gornjeg alata prema dolje,



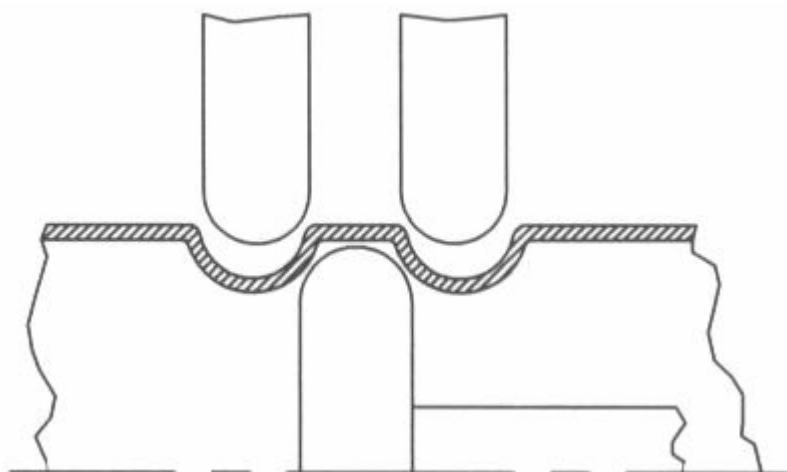
Slika 1.39 Oblikovanje nakon izmjene alata [3]

- zaustaviti kada se uvalja na potrebnu dubinu, potrebna dubina je ista kao na gotovoj harmonici, prekontrolirati promjer pomičnim mjerilim,
- okrenuti cijev i ponoviti prethodna dva zahvata,
- skinuti alate.

2. OPERACIJA FORMIRANJA VALA

Ova operacija se obavlja kako slijedi :

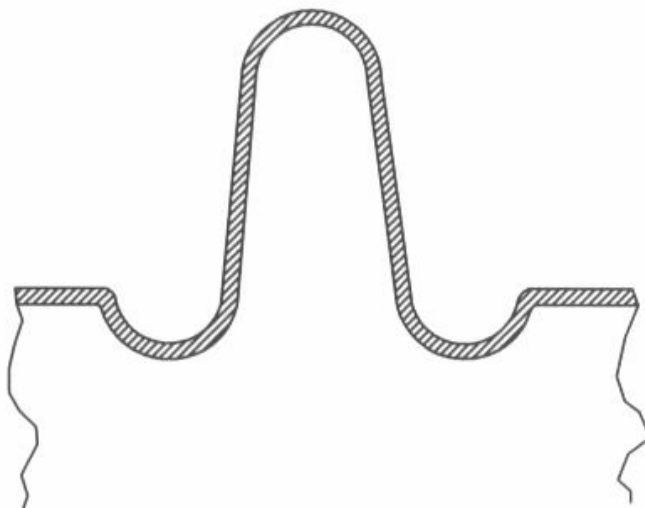
- postavljanje alata i centriranje jednog donjeg alata u odnosu na dvostruki gornji alat,



Slika 1.40 Prva faza operacije 2. [3]

- kompletirati valove utiskivanjem gornjeg alata i istiskivanjem materijala između donjih alata da bi se povećao promjer i dobio traženi oblik.

Za vrijeme rada dopušteno je da cijev skladno rotira u lijevoj ruci. Desna ruka je zauzeta pomicanjem gornjeg alata.



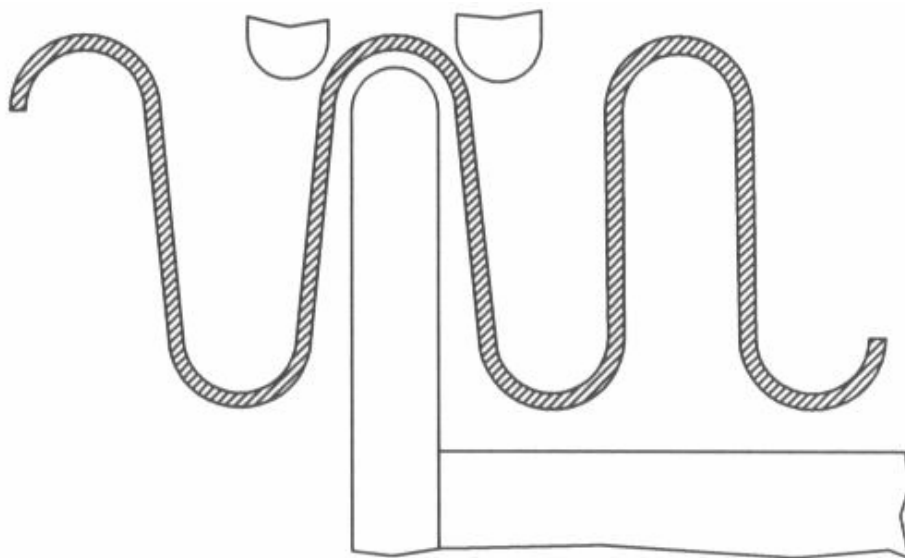
Slika 1.41 Izgled vala [3]

- postaviti graničnik kada je gornji radijus završen, što se prepoznaje kada je raspoloživi materijal iz prve operacije potpuno povučen u zakrivljenost vala.

3. OPERACIJA FORMIRANJA VALA

Ova operacija se obavlja kako slijedi :

- nakon postavljanja i centriranja jednostrukog gornjeg alata prema dvostrukom donjem alatu, nastaviti rad kao u operaciji 2,
- nakon valjanja provjeriti promjene harmonike prema nacrtu. Ako su potrebne korekcije, izvršiti korekciju na operaciji 1., a tada ponoviti operaciju 2. i 3. kao ranije.

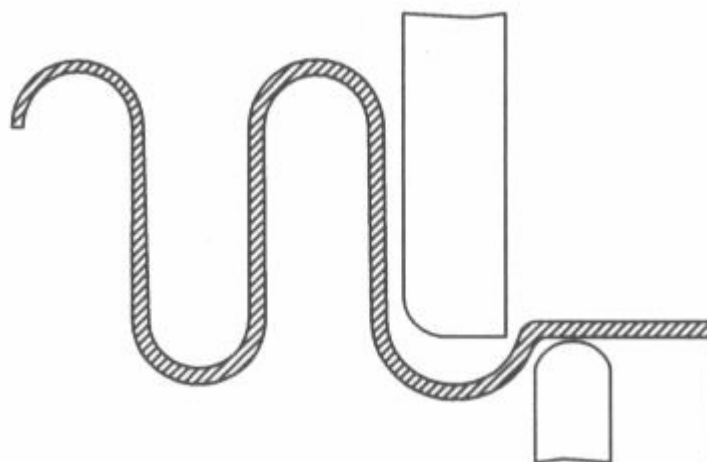


Slika 1.42 Završno formiranje harmonike [3]

4. OPERACIJA FORMIRANJE MANŽETE

Ova operacija se obavlja kako slijedi :

- obrezivanje manžete
- obrezivanje se vrši na istim strojevima upotrebom alata za obrezivanje (noževa).
- sabijanje harmonike na slobodnu dužinu.
- stiskanjem harmonike vrši se ručnim alatom. Dužina se kontrolira pomičnim mjerilom.



Slika 1.43 Formiranje manžete [3]

Mjerni alat

Pored radnog alata navedenog, na stroju je potreban i sljedeći mjerni alat :

- mikrometar sa kuglastim ticalima (u skladištu)
- pomično mjerilo
- čelični dvometar
- mjerač broja okretaja (u skladištu)



Slika 1.44 Stroj za oblikovanje hladnim valjanjem "MANDREL" [1]



Slika 1.45 Stroj za oblikovanje hladnim valjanjem "MANDREL" [1]

1.10.2 Postupak rada na stroju tipa SOLAR

Proizvodnja harmonikastog dijela kompenzatora tipa SOLAR je takva da se valovi istiskuju prema van zadržavajući stalan unutarnji promjer. Formiranje se izvodi u dvije operacije, a u specijalnim slučajevima u tri operacije.

U slučaju kada nazivni promjer harmonike ne odgovara standardnog promjera bubnja i potrebnog bubnja veća koriste se navlake. Ako je razlika između standardnog promjera bubnja i potrebnog bubnja mala, vrši se namotavanje kartona na standardni bubanj [4].

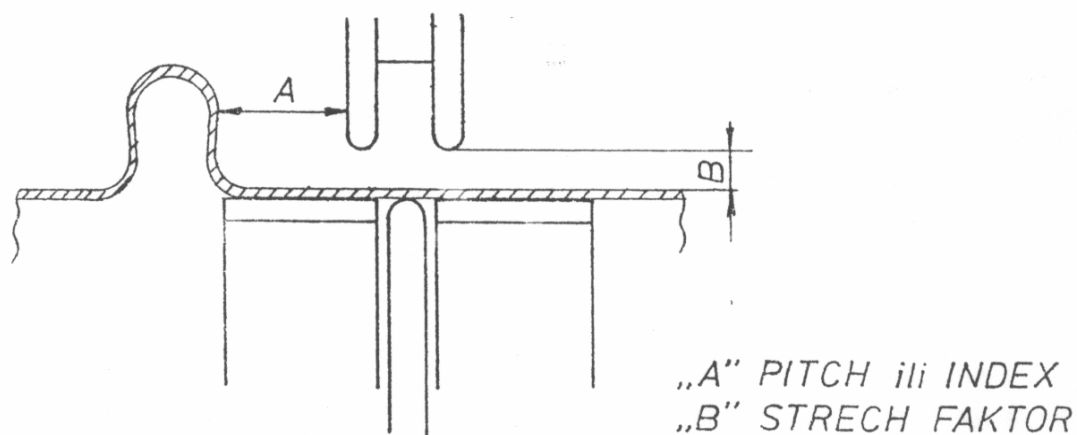
Prije nego se prijeđe na postupak rada potrebno je spomenuti dva faktora koja se ne mogu teorijski precizirati već ih određuje operator na osnovi vlastitog iskustva.

Prvi od nepoznatih faktora je PITCH i INDEKS. To je iznos materijala predviđenog za izvlačenje. Taj faktor zahtjeva puno iskustva i može biti u praktičnom radu i demonstracijama od iskusnijeg operatora [4].

Drugi od faktora je tzv. STRETCH FAKTOR, tj. zazor između gornjih alata i cijevi.

Svaki od ovih faktora određuje sam operator na osnovi debljine materijala, broja slojeva,

zazora između slojeva. Ovi faktori naročito su važni kod oblikovanja jednoslojnih harmonika, jer njihov nepravilan izbor može izazvati niz neugodnosti od nejednakog koraka među valovima, pucanja, do mogućnosti skidanja sa bubnjeva (slika 1.46) [4].



Slika 1.46 Prikaz stretch i indeks faktora [4]

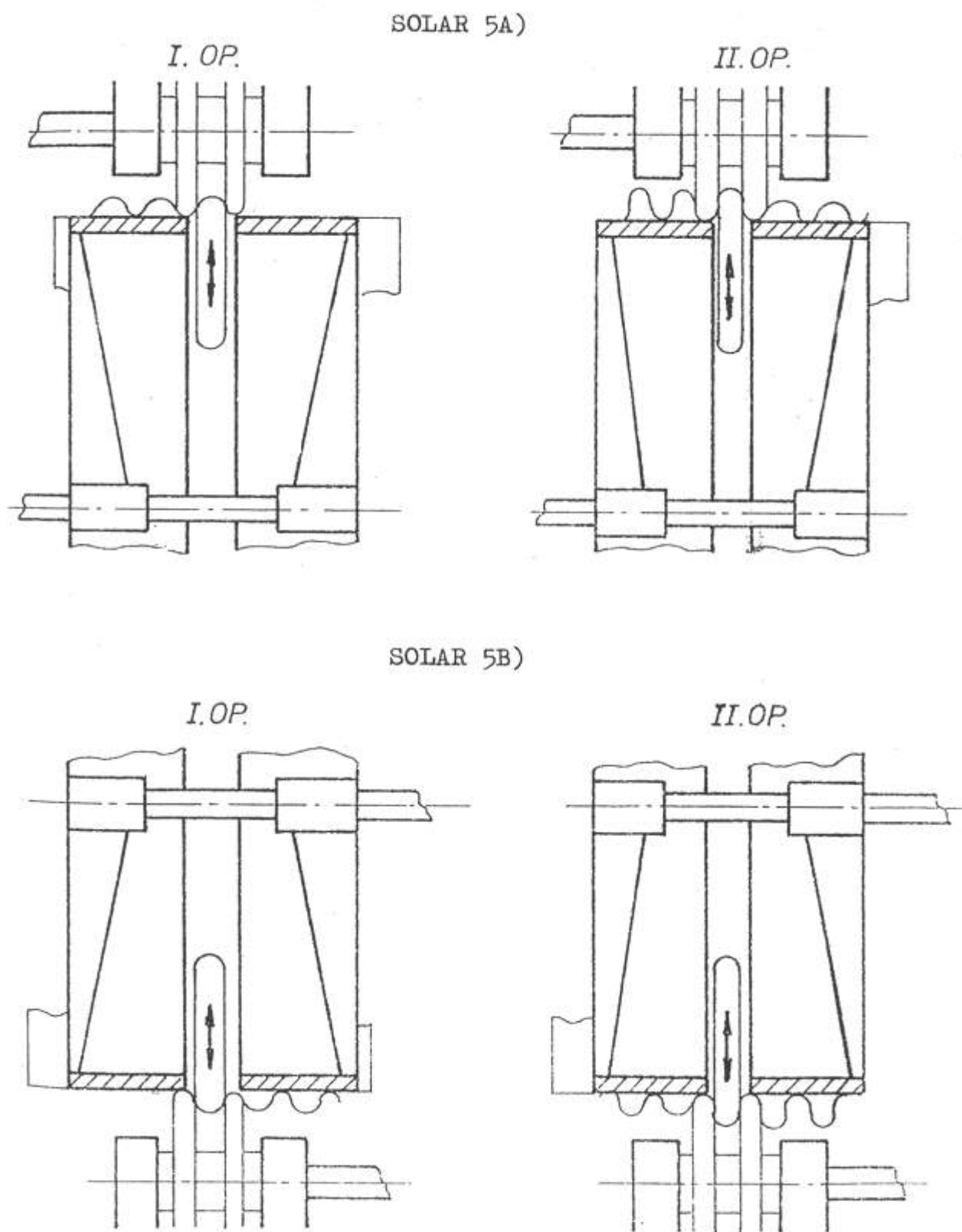
Tehničke karakteristike strojeva:

SOLAR 5A)

Minimalni promjer bubnja $D = 600 \text{ mm}$
Maksimalni promjer bubnja $D = 1200 \text{ mm}$

SOLAR 5B)

Minimalni promjer bubnja $D = 300 \text{ mm}$
Maksimalni promjer bubnja $D = 800 \text{ mm}$



Slika 1.47 Formiranje harmonike [4]



Slika 1.48 Stroj za oblikovanje hladnim valjanjem "OLIVER" [4]



Slika 1.49 Stroj za oblikovanje hladnim valjanjem "SOLAR" [3]

1.10.3 Potrebni uvjeti za kvalitetno oblikovanje harmonike

1. Minimalna potrebna istezljivost materijala za oblikovanje kompenzatora mora biti minimalno 47%.
2. Zavareni (podužni) spoj cijevi mora imati čvrstoću zavarenog spoja minimalno jednaku čvrstoći osnovnog materijala ili 10% nižu (iskustveni podaci firme ĐĐ - Kompnzatori).
3. Prije oblikovanja obavezno pregledati zavare (zajede i centralno stanjenje).
4. Kod višeslojnih harmonika osigurati ulaganje cijevi u cijev bez pucne (srha), kao i pravilan raspored zavora cijevi.
5. Osigurati uvjete rada operateru (miran rad).
6. Alati za oblikovanje moraju biti besprijeckorno čisti.
7. Nadvišenja zavora ne smiju biti prekomjerna.
8. U fazi oblikovanja vršiti međusobne kontrole dimenzija vanjskog i unutrašnjeg promjera, te visine i razmaka vala.
9. Kod više slojeva potrebno je na kraju valove šavno zavariti (hladenje vodom), ali ne do kraja zbog sušenja nakon zavarivanja.
10. Neparalelnost valova (posebna greška) kao i konačne dimenzije harmonike koje moraju biti u području internih tolerancija ili prema zahtjevu kupca.
11. Obrezivanje harmonike nakon šavnog zavarivanja mora biti po vanjskom rubu šavnog zavora (što bliže zavaru).
12. Kod sabijanja harmonike nakon oblikovanja, odnosno dotjerivanja na konačnu visinu paziti na silu sabijanja da ne dođe do kolapsiranja valova (tj. sjedanja valova jedan na drugi).
13. Oblikovanje mora biti izvedeno tako da se ne pojave zarezna djelovanja na vanjskoj ili unutrašnjoj površini harmonike.
14. Prilikom oblikovanja treba paziti na promjere alata koji se tijekom vremena troše.
15. Prilikom oblikovanja obavezno koristiti sredstvo za podmazivanje (sapunica, ulje).
16. Čišćenje harmonika osigurati sredstvom bez klora i sumpora.
17. Nakon oblikovanja obavezno ispitati vrhove valova iznutra i izvana radi mikropukotina.

1.11 POSTUPCI ZAVARIVANJA ZASTUPLJENI U IZRADI KOMPENZATORA

1.11.1 REL postupak (ručno elektrolučno zavarivanje)

Električni luk se uspostavlja kratkim spojem - "kresanjem" između elektrode i radnog komada, tj. strujnih priključaka na polove električne struje (istosmjerne - Direct Current ili izmjenične - Alternating Current). Nakon toga slijedi ravnomjerno dodavanje elektrode u električni luk od strane zavarivača, te taljenje elektrode i formiranje zavarenog spoja [5].

REL postupak ima široke mogućnosti primjene: kod proizvodnih zavarivanja, navarivanja i reparaturnog zavarivanja većine metalnih materijala. Ipak zbog ekonomičnosti (relativno male brzine zavarivanja i orijentacijski 1,5 do 2 kg/depozita na sat) se primjenjuje za izvođenje kraćih zavara, obično debljine ne iznad 15 mm (20 mm) kod sučeonih zavarenih spojeva, te kraćih kutnih spojeva manje debljine zavara (gdje se obično ne traži pojačana penetracija u korijenu zavara) [5].

Glavni parametri kod REL zavarivanja su:

- napon zavarivanja (U), koji se ovisno o promjeru elektrode tijekom zavarivanja orijentacijski kreće od 18 do 26 V,
- jakost struje zavarivanja (I), koja se pri zavarivanju kreće ovisno (orijentacijske vrijednosti $40 \cdot \varphi$ elektrode, A),
- brzina zavarivanja (v), koja se kreće ovisno o primijenjenoj tehnici zavarivanja (povlačenje ili njihanje elektrode), promjeru elektrode i parametrima zavarivanja orijentacijski od 1,5 do 2,5 mm/s.

Prednosti:

- razvijen širok spektar dodatnih materijala za zavarivanje,
- manja cijena opreme za zavarivanje (uređaja za zavarivanje) u odnosu na MAG i EPP postupak zavarivanja,
- pogodan za manja proizvodna i reparaturna zavarivanja
- mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja,
- pogodan za rad na terenu, naročito tamo gdje nema električne energije (moguća primjena agregata),
- vrlo jednostavno rukovanje opremom,
- dobra mehanička svojstva zavara,

Nedostaci: - mala brzina zavarivanja i niska produktivnost u odnosu na MAG i EPP,

- kvaliteta zavarivanja značajno ovisi o vještini zavarivača - čovjeka,

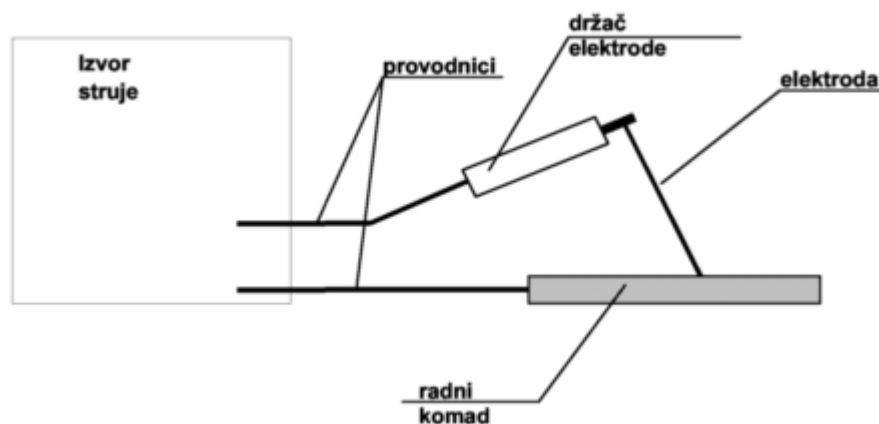
- vrijeme za izobrazbu dobrog zavarivača je dugo,

- neizbježan je otpad elektrode - »čik« (8-10%), te gubitak materijala zbog prskanja u okolinu,

- teže čišćenje troske nakon zavarivanja i gubitak vremena zbog čišćenja troske,

- dolazi do jakog bljeskanja pri zavarivanju, razvijaju se štetni plinovi (potrebna dobra ventilacija prostora),

- dugotrajni rad može ostaviti štetne posljedice na zdravlju zavarivača (reuma, oštećenja dišnog sustava...).



Slika 1.50 REL postupak zavarivanja [5]

1.11.2 EPP postupak (zavarivanje pod zaštitom praška)

Električni se luk uspostavlja pomoću visokofrekventnog generatora (VF generator) koji se uključuje samo u djeliću sekunde, neposredno pred zavarivanje. Nakon uspostavljanja električnog luka, VG generator se isključuje, žica za zavarivanje kontinuirano dolazi u električni luk, tali se i sudjeluje u formiranju zavarenog spoja. Proces se odvija pod zaštitnim praškom. To je automatski postupak zavarivanja [5].

EPP postupak se koristi za zavarivanje i navarivanje gdje se traži velika količina deponiranog materijala (zavara) ili kod velikoserijske proizvodnje (npr. kružni zavareni spojevi na propan/butan bocama za domaćinstvo). Zavarivanje se izvodi u horizontalnom položaju (iznimka

Circomatic postupak - zavarivanje kružnih zavarenih spojeva na cilindričnim posudama pod tlakom u zidnom položaju). Značajna je primjena ovog postupka kod zavarivanja debelostjenih posuda pod tlakom, te debelostjenih limova (npr. postolja lokomotiva, sekcije mostova) [5].

Glavni parametri kod EPP postupka zavarivanja su:

- napon zavarivanja (U), koji se tijekom zavarivanja orijentacijski kreće od 26 do 40 V;
- jakost struje zavarivanja (I), koja se pri zavarivanju kreće ovisno o promjeru elektrode (od 100 A do 1000 A; prema nekim literaturnim podacima i do 5000 A). Zbog manje duljine slobodnog kraja žice moguće je iste promjere žice za zavarivanja opteretiti puno većim strujama nego kod REL postupka (gdje je duljina slobodnog kraja praktično duljina elektrode koja se koristi za zavarivanje).
- brzina zavarivanja (v), je značajno veća u odnosu na REL i MAG postupak (orijentacijske vrijednosti 200 do 600 mm/min).

Napon praznog hoda je 100 V (veći nego kod REL postupka iz razloga što se kod EPP postupka teže uspostavlja električni luk).

Prednosti: - velike brzine zavarivanja i daleko veća produktivnost u odnosu na REL i MAG postupak zavarivanja,

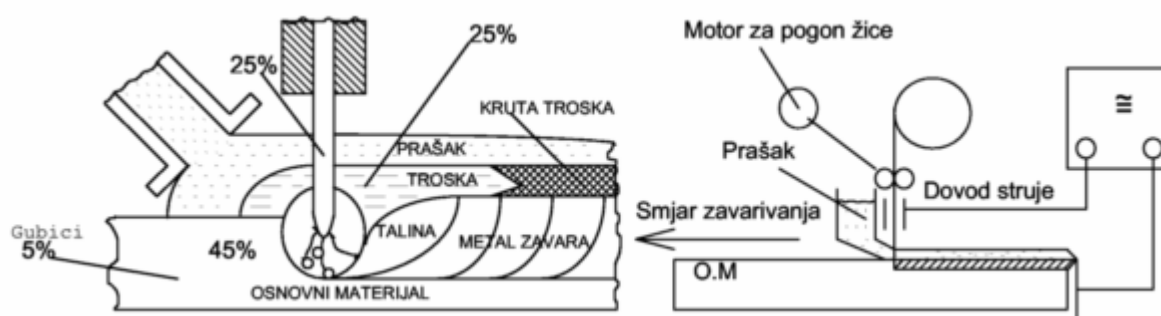
- budući da se radi o automatskom postupku zavarivanja, kvaliteta ne ovisi o čovjeku operateru (jednom uspostavljeni parametri zavarivanja daju konstantnu kvalitetu zavarenih spojeva),
- visok stupanj iskorištenja energije za taljenje (0,9 - 0,95), kvalitetan estetski izgled zavora,
- nema otpada žice (»čik-a«), te gubitaka zbog prskanja kapljica u okolinu,
- lako čišćenje troske i mogućnost recikliranja troske, vrijeme za izobrazbu operatera je puno kraće od izobrazbe dobrog zavarivača za REL.

Nedostaci: - veća cijena opreme za zavarivanje (uređaja za zavarivanje) u odnosu na MAG i REL postupak zavarivanja,

- slabija mehanička svojstva zavarenog spoja u odnosu na REL i MAG zavarivanje (brže hlađenje veće količine deponiranog materijala), mala brzina zavarivanja i niska produktivnost u odnosu na MAG i REL,
- nema vizualnog nadzora električnog luka tijekom zavarivanja (velike jakosti struje

daju svjetlost velike intenzivnosti pa u obzir dolazi nadzor X-zrakama i video kamerama),

- u tehnološkoj liniji koja koristi EP automate obično je potrebna dodatna mehanizacija (okretaljke, okretno-nagibni stolovi, pozicioneri, konzole,...).



Slika 1.51 EPP postupak zavarivanja [5]

1.11.3 MAG postupak (zavarivanje taljivom žicom u zaštiti aktivnog plina)

Električni luk se uspostavlja kratkim spojem - kresanjem između žice za zavarivanje i radnog komada, tj. priključaka na polove električne struje (istosmjerne - Direct Current). Nakon toga slijedi ravnomjerno dodavanje žice za zavarivanje u električni luk (elektromotor, valjci za ravnanje i povlačenje ili potiskivanje žice), te taljenje žice i formiranje zavarenog spoja [5].

MAG postupak ima široke mogućnosti primjene: kod proizvodnih zavarivanja, navarivanja i reparaturnog zavarivanja većine metalnih materijala. Ima prednost pred REL zavarivanjem sa stajališta ekonomičnosti (više kg/depozita na sat, veća intermitencija pogona - nema zastoja za izmjenu elektroda kao kod REL postupka, manje čišćenje zavora). Primjenjuje se za zavarivanje limova i cijevi debljine od 1 mm obično do debljine 20 mm (u nekim slučajevima i daleko iznad tih debljina, kada je ekonomski i tehnološki opravdana primjena MAG postupka. Kod većih debljina osnovnog materijala i veće duljine zavarenih spojeva ekonomičnije je koristiti EP postupak (samostalno ili u kombinaciji sa MAG ili REL postupkom, npr. za provarivanje korijena). MAG postupak je izvorno poluautomatski postupak, ali se vrlo često koristi kao automatski i robotizirani postupak zavarivanja. Značajan je udio robota za MAG zavarivanje u automobilskoj industriji [5].

Glavni parametri kod MAG zavarivanja su:

- napon zavarivanja (U), koji se tijekom zavarivanja orijentacijski kreće od 16 do 26 V;
- jakost struje zavarivanja (I), koja se pri zavarivanju kreće ovisno o promjeru žice za zavarivanje (orijentacijske vrijednosti 80 do 180, A)
- brzina zavarivanja (v), koja se kreće ovisno o primijenjenoj tehnici zavarivanja (povlačenje ili njihanje), promjeru žice za zavarivanje i parametrima zavarivanja orijentacijski od 2 do 4 mm/s.

- Prednosti:**
- razvijen dovoljno širok spektar dodatnih materijala za zavarivanje,
 - manja cijena opreme za zavarivanje (uređaja za zavarivanje) u odnosu na EPP postupak zavarivanja (ali ipak nešto veća u odnosu na REL),
 - pogodan za pojedinačnu i masovnu proizvodnju, te reparaturna zavarivanja, mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja,
 - manji gubici vremena zavarivača (nema izmjene elektrode kao kod REL zavarivanja, manje čišćenje zavara),
 - pogodan za automatizaciju i robotizaciju,
 - kvalitetan zavar i dobra mehanička svojstva zavara,

- Nedostaci:**
- kvaliteta zavara još uvijek ovisi o vještini zavarivača - čovjeka kod poluautomatskog zavarivanja (ali ipak ne toliko kao kod REL zavarivanja),
 - vrijeme za izobrazbu dobrog zavarivača je kraće nego kod REL zavarivanja (mada je praksa da MAG zavarivači prvo nauče REL postupak zavarivanja),
 - dolazi do jakog bljeskanja pri zavarivanju, pri zavarivanju se oslobađaju plinovi (potrebna dobra ventilacija prostora),
 - dugotrajni rad može ostaviti štetne posljedice na zdravlju zavarivača (reuma, oštećenja dišnog sustava...).

1.11.4 MIG postupak (zavarivanje taljivom žicom u zaštiti inertnog plina)

Električni luk se uspostavlja kratkim spojem - kresanjem između žice za zavarivanje i radnog komada, tj. priključaka na polove električne struje (istosmjerne - Direct Current ili izmjenične - Alternating Current). Nakon toga slijedi ravnomjerno dodavanje žice za zavarivanje u električni luk (elektromotor, valjci za ravnanje i povlačenje ili potiskivanje žice), te taljenje žice i formiranje zavarenog spoja [5].

MIG postupak ima široke mogućnosti primjene: kod proizvodnih zavarivanja, navarivanja i reparaturnog zavarivanja aluminijskih legura i drugih nehrđajućih materijala i legura. On se uglavnom uspoređuje sa TIG postupkom. Ima prednost pred TIG zavarivanjem sa stajališta ekonomičnosti (više kg/depozita na sat). Primjenjuje se za zavarivanje limova i cijevi debljine od 1 mm obično do debljine 20 mm (u nekim slučajevima i daleko iznad tih debljina, kada je ekonomski i tehnološki opravdana primjena MIG postupka. MIG postupak je izvorno poluautomatski postupak, ali se vrlo često koristi kao automatski i robotizirani postupak zavarivanja [5].

Glavni parametri kod MIG zavarivanja su:

- napon zavarivanja (U), koji se tijekom zavarivanja orijentacijski kreće od 16 do 26 V;
- jakost struje zavarivanja (I), koja se pri zavarivanju kreće ovisno o promjeru žice za zavarivanje (orijentacijske vrijednosti 80 do 180, A)
- brzina zavarivanja (v), koja se kreće ovisno o primijenjenoj tehnici zavarivanja (povlačenje ili njihanje), promjeru žice za zavarivanje i parametrima zavarivanja orijentacijski od 2 do 4 mm/s.

Prednosti: - razvijen dovoljno širok spektar dodatnih materijala za zavarivanje,

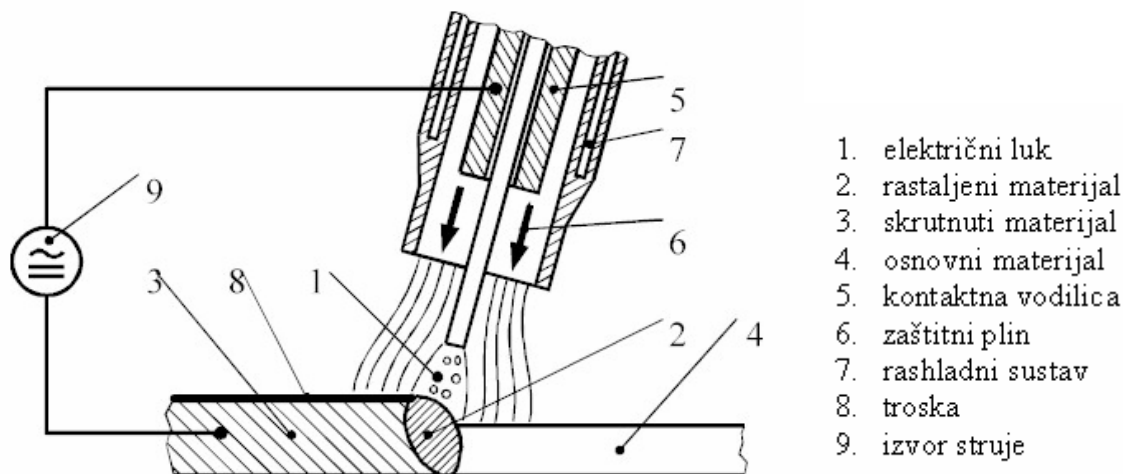
- manja cijena opreme za zavarivanje (uređaja za zavarivanje) u odnosu na TIG postupak zavarivanja,
- pogodan za pojedinačnu i masovnu proizvodna, te reparaturna zavarivanja,
- mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja,
- pogodan za automatizaciju i robotizaciju,
- daleko veća učinkovitost (kg depozita/h) u odnosu na TIG zavarivanje.

Nedostaci: - kvaliteta zavara još uvijek ovisi o vještini zavarivača - čovjeka kod poluautomatskog zavarivanja,

- vrijeme za izobrazbu dobrog zavarivača je kraće nego kod TIG zavarivanja (mada je praksa da MIG zavarivači prvo nauče REL postupak zavarivanja),
- kvaliteta zavarenog spoja je slabija u odnosu na kvalitetu TIG zavarenih spojeva (kako sa estetskog stajališta, tako i sa stajališta grešaka u zavarenom spoju i mehaničkih svojstava zavarenog spoja),
- dolazi do jakog bljeskanja pri zavarivanju, pri zavarivanju se oslobađaju

plinovi (potrebna dobra ventilacija prostora),

- dugotrajni rad može ostaviti štetne posljedice na zdravlju zavarivača (reuma, oštećenja dišnog sustava...)



Slika 1.52 MAG / MIG postupak zavarivanja [5]

1.11.5 TIG postupak (zavarivanje netaljivom elektrodom u zaštiti inertnog plina)

Električni luk se uspostavlja pomoću visokofrekventnog generatora (VF generator) koji se uključuje samo u djeliću sekunde, neposredno pred zavarivanje. Nakon uspostavljanja električnog luka između netaljive volframove elektrode i radnog komada, tj. priključaka na polove električne struje (istosmjerne - Direct Current ili izmjenične - Alternating Current), VG generator se isključuje, a proces zavarivanja se odvija sa ili bez dodavanja dodatnog materijala (žice) u električni luk. Nakon toga slijedi taljenje ivica žlijeba za zavarivanje (kod materijala manje debljine -I spoj), odnosno ravnomjerno ručno dodavanje žice za zavarivanje u električni luk, te taljenje žice i formiranje zavarenog spoja (kod debljih materijala ili kod provarivanja korijena debelih materijala) [5].

TIG postupak se također široko primjenjuje: kod proizvodnih zavarivanja, navarivanja i reparaturnog zavarivanja aluminijskih legura i drugih nehrđajućih materijala i legura. On se uglavnom uspoređuje sa MIG i plazma postupkom zavarivanja. Primjenjuje se za zavarivanje limova i cijevi debljine do debljine 6 mm. TIG postupak je izvorno ručni postupak. Koristi se i kao automatski i robotizirani postupak zavarivanja, ali je primjena tih uređaja kompleksnija i skuplja nego [5].

Glavni parametri kod TIG zavarivanja su:

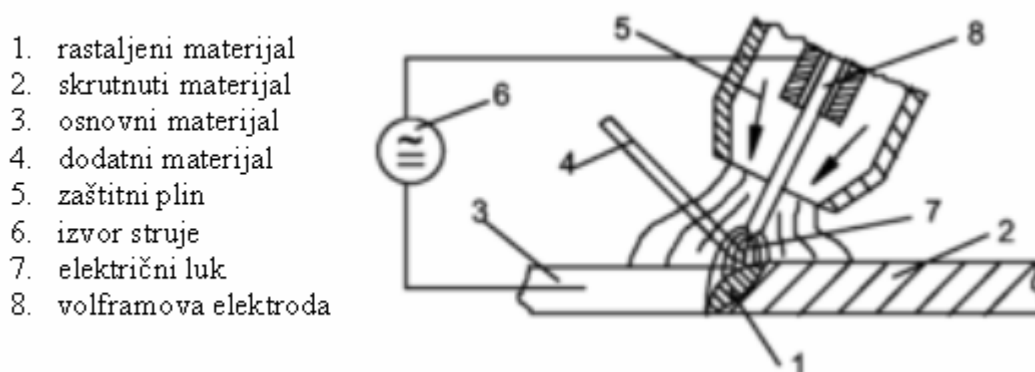
- napon zavarivanja (U), koji se tijekom zavarivanja orijentacijski kreće od do V;
- jakost struje zavarivanja (I), koja se pri zavarivanju kreće ovisno o vrsti i debljini materijala koji se zavaruje (orijentacijske vrijednosti do , A)
- brzina zavarivanja (v), koja se kreće ovisno o primijenjenoj tehnici zavarivanja, vrsti i debljini materijala koji se zavaruje, te parametrima zavarivanja (orijentacijski od do mm/s).

Prednosti: - Kvaliteta zavarenog spoja vrlo visoka (kako u pogledu broja grešaka u zavarenom spoju, tako i sa stajališta estetskog izgleda i mehaničkih svojstava zavarivača),

- pogodan za reparaturna zavarivanja,
- mogućnost zavarivanja u svim položajima zavarivanja,

Nedostaci: - Viša cijena opreme za zavarivanje (uređaja za zavarivanje) u odnosu na MIG postupak zavarivanja,

- kvaliteta zavarivača još uvijek ovisi o vještini zavarivača,
- nije pogodan za automatizaciju i robotizaciju,
- vrijeme za izobrazbu dobrog zavarivača je dugo (mada je praksa da TIG zavarivači prvo nauče REL i MAG/MIG postupak zavarivanja),
- daleko 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 zdravlju zavarivača (reuma, oštećenja dišnog sustava...).



Slika 1.53 TIG postupak zavarivanja [5]

1.11.6 Elektrootporno zavarivanje

Da bi se izvršilo spajanje dva metala bilo kojim postupkom elektrootpornog zavarivanja potrebno je na mjesto spajanja dovesti određenu količinu topline. Postupci zavarivanja kod kojih se metal zagrijava i tali toplinom stvorenom usljed električnog otpora, a da se pri tome ne stvara električni luk, pripadaju grupi postupaka elektrootpornog zavarivanja. Kod ovih postupaka zavarivanja iskorištena je poznata pojava da se svaki vodič zagrijava, kada kroz njega protječe električna struja, razmjerno električnom otporu kojim se vodič opire prolasku te struje. Tako stvorena toplina koristi se za zagrijavanje određene količine materijala, na temperaturu zavarivanja, uz istodobnu primjenu mehaničke energije u vidu sile pritiska između elektroda [6].

Količina topline razvijene u vodiču, kroz koji u određenom vremenskom intervalu protječe električna struja određene jakosti iznosi prema poznatom Joule-ovom zakonu:

$$Q = \int_0^t I^2(t) \cdot R(t) dt$$

gdje su: I – struja zavarivanja

R – električni otpor

t – vrijeme prolaska električne struje

Kod elektrootpornog zavarivanja primjenjuju se struje vrlo visoke jakosti 100 - 300.000 A. Zbog relativno malog električnog otpora metala, zavaruje se strujama niskog napona koji se kreće od 0,5 do 25 V. Vrijeme prolaska struje zavarivanja je veoma kratko i kreće se obično od 0,05 sekundi do nekoliko desetaka sekundi, ovisno od materijala i postupka zavarivanja. Te karakteristike elektrootpornog zavarivanja pokazuju da je rukovanje strojevima za

elektrootporno zavarivanje koji najčešće koriste niske napone kod dodira čovjeka bezopasno, ali opasnost dolazi od prskanja kapljica metala, topline itd. Proizvodnja istosmjerne struje i jednostavnih prekidača za toliku jakost struje u kratkom vremenu veoma je složena. Zato se za elektrootporno zavarivanje uglavnom koristi izmjenična struja [6].

Grupi postupaka elektrootpornog zavarivanja pripada čitav niz više ili manje korištenih postupaka zavarivanja. Naravno, svi oni za zagrijavanje i taljenje metala koriste toplinu nastalu uslijed električnog otpora, koja je neophodna da bi nastao zavareni spoj. Osim topline, za nastanak zavarenog spoja, kod mnogih postupaka, potreban je i pritisak. Dovođenje struje može biti konduktivno (neposrednim dodirom) ili induktivno (bez dodira elektroda i radnih komada). Postoji još niz kriterija prema kojima bismo mogli podijeliti postupke elektrootpornog zavarivanja ali su ove dvije podjele najvažnije. Podjela konduktivnih postupaka zavarivanja (koji se najviše i primjenjuju) dana je u Tablici 1.3 [6].

Tablica 1.3 Podjela osnovnih postupaka elektrootpornog zavarivanja [6]

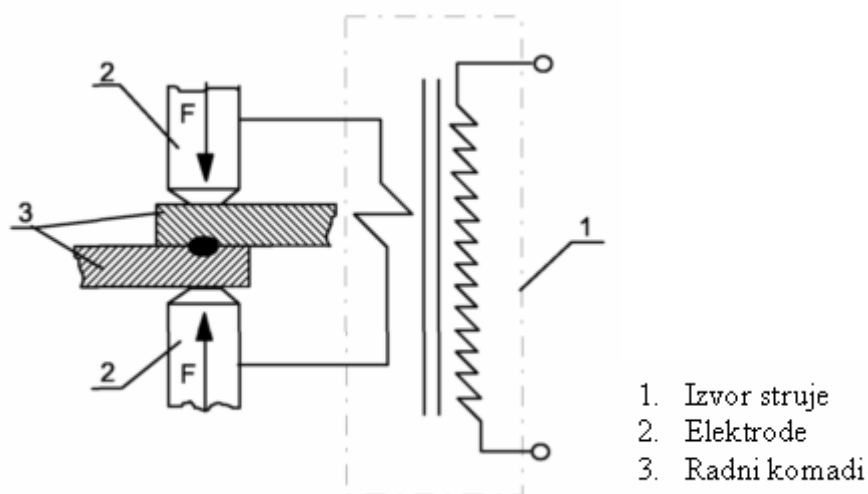
Vrsta spoja	Postupak zavarivanja	Način izvođenja	Način zagrijavanja
Preklopni	Točkasto	Pomoću jednog para elektroda	Na principu električnog otpora
		Pomoću više pari elektroda	
		Pomoću kolutova	
	Šavno (kolutno)	S dva koluta S jednim kolutom i »ramom«	
	Bradavičasto	Na stroju za bradavičasto zavarivanje	
Sučeljeni	Sučeljeno zavarivanje čistim otporom	Na stroju za sučeljeno zavarivanje	Na principu električnog otpora
	Sučeljeno zavarivanje iskrenjem		Iskrenjem

Naravno, svi postupci elektrootpornog zavarivanja jednako se ne primjenjuju, ali se može reći da su najšire primjenjivani postupci slijedeći:

- točkasto zavarivanje,
- bradavičasto zavarivanje,
- šavno (kolutno) zavarivanje i
- sučeljeno zavarivanje: - elektrootporno sučeljeno tupo
 - elektrootporno sučeljeno iskrenjem

a) Točkasto zavarivanje

Kod *točkastog zavarivanja*, čija je shema dana na slici 1.54, toplina se razvija uslijed otpora proticanja struje na dodirnim površinama radnih komada koji su pritisnuti elektrodama. To zavarivanje može biti jednotočkasto i višetočkasto. Kod višetočkastog zavarivanja struja prolazi kroz više točaka, tako da se dobiva više zavarenih mjesta. Najšire primjenjivan slučaj točkastog zavarivanja je jednotočkasto dvostrano zavarivanje pri kome se struja zavarivanja dovodi sa obje strane radnih komada (slika 1.54). Osnovni utjecajni faktori kod točkastog zavarivanja ovisni o vrsti i debljini materijala su: sila pritiska između elektroda, jakost struje zavarivanja i vrijeme prolaska struje [6].



Slika 1.54 Točkasto zavarivanje [6]

Postupak oblikovanja točkasto zavarenog spoja prilično je složen kako s toplinskog tako i metalurškog aspekta i logično je pitanje pod kojim uvjetima će se dobiti optimalna kvaliteta spoja, odnosno kakav je odnos potrebno uspostaviti između spomenutih (i nekih drugih) promjenljivih veličina - parametara točkastog zavarivanja, da bi se postigao željeni cilj.

Za postizanje kvalitetnog točkasto zavarenog spoja potrebno je uspostaviti optimalni odnos

između:

- jakosti struje zavarivanja i vremena njenog prolaska kroz zavarivane komade,
- veličine sile elektrode i njene vremenske promjene,
- dimenzija i oblika (geometrije) vrha elektroda.

Osim ovih, postoji niz drugih utjecajnih veličina između kojih se, po značenju, mogu izdvojiti:

- debljina zavarivanih komada i njihov oblik,
- električni otpor materijala,
- toplinska vodljivost materijala,
- stanje kontaktne površine komada (oksidi, nečistoće te hrapavost, od kojih ovisi otpor kontakta),
- mehanička svojstva materijala,
- kemijski sastav materijala,
- materijal elektrode,
- neke fizikalne karakteristike materijala kojeg se zavaruje (latentna toplina taljenja, specifična toplina, itd) i
- metalurška svojstva materijala, te neke druge utjecajne veličine.

Navedeni parametri su međusobno ovisni tako da promjena jednog od njih može izazvati promjenu vrijednosti više drugih parametara, što njihovo proučavanje čini još složenijim [6].

Utjecaj parametara zavarivanja na oblikovanje zavarene točke

Na proces oblikovanja zavarene točke odlučujući utjecaj imaju slijedeći parametri zavarivanja:

- jakost struje zavarivanja,
- vrijeme prolaska struje,
- sila na elektrode,
- oblik i dimenzije vrhova elektroda te materijal elektroda,
- promjena sile pritiska za vrijeme ciklusa zavarivanja,
- oblik strujnog vala (zagrijavanja, hlađenje),
- vrijeme različitih faza u ciklusu zavarivanja.

To su parametri zavarivanja koji se mogu podešavati i kontrolirati. Njihov izbor

ovisi o prirodi, obliku i dimenzijama materijala koji se zavaruje. Općenito vrijedi za utjecaj tih parametara:

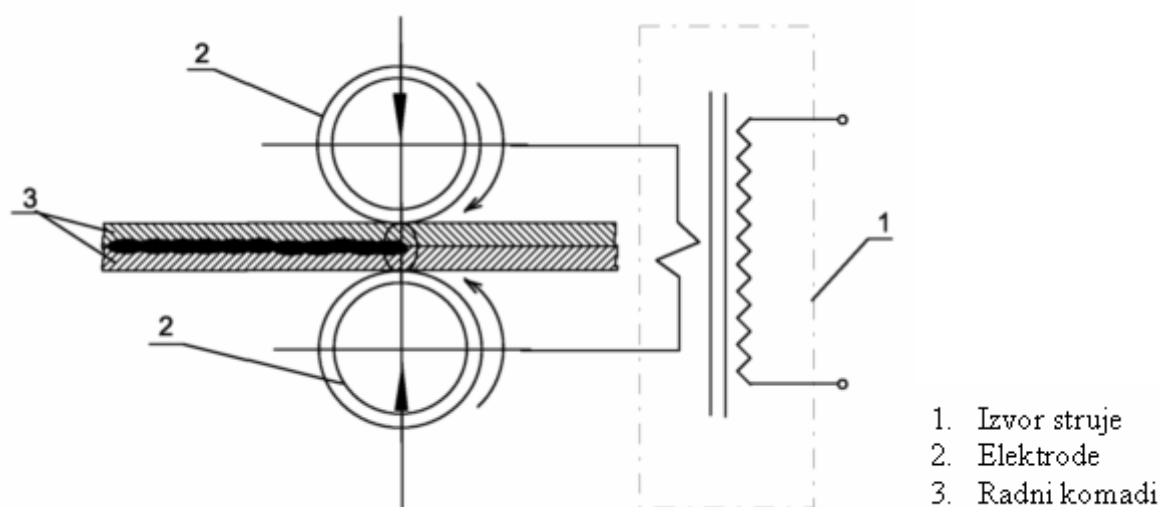
- struja zavarivanja određuje veličinu, a time najviše i čvrstoću točke,
- povećanje sile na elektrode dovodi do smanjenja promjera točke i do plosnatije leće (manja penetracija zavarene točke u limove),
- optimalno vrijeme zavarivanja, u osnovi, ovisi samo od debljine komada i utječe na čvrstoću točke manje nego promjena jakosti struje [6].

b) Šavno (kolutno) zavarivanje

Šavno zavarivanje slično je točkastom, a kod njega se dva lima koja treba zavariti stavljaju između elektroda koje imaju oblik koluta i mogu se okretati oko svoje osi.

Kada na elektrode dođe napon, struja prolazi kroz radne komade i to kroz trenutno mjesto dodira i kroz već zavarene točke. Uslijed velikog kontaktnog otpora između limova, određeni volumen metala oko točke trenutnog dodira se zagrijava i tali. Budući da elektrode određenom silom pritišću radne komade, oblikovat će se zavareni spoj točkastog, odnosno lećastog oblika [6].

Ako zamislimo da se elektrode (kolutovi) ne okreću, zavarivanja bi teklo jednako kao i kod točkastog zavarivanja. Bitna razlika između ta dva postupka elektrootpornog zavarivanja je što se kod šavnog zavarivanja omogućuje kontinuirano zavarivanje točkama u nizu, čiji se razmak može po volji mijenjati. Razmak između pojedinih točaka ovisi od brzine zavarivanja i od vremenskog razmaka između impulsa struje koja se propušta kroz elektrode i kroz radne komade. Oblik spoja također ovisi i od oblika impulsne struje koja protječe kroz elektrode i radne komade (slika 1.55) [6].



Slika 1.55 Šavno zavarivanje [6]

Ukoliko su točke udaljene jedna od druge, postiže se mjestimično zavareni spoj, kod manjeg razmaka točaka možemo govoriti o čvrstom spoju. Ukoliko se točke međusobno preklapaju možemo govoriti o nepropusnom spoju [6].

U osnovi se sve ove vrste spojeva mogu izvesti na uređaju za točkasto zavarivanje. To se najčešće i radi na nepristupačnim mjestima kada bi kolut trebao biti toliko malen da dolazi u pitanje njegovo hlađenje [6].

Okretanja elektroda u toku procesa šavnog zavarivanja izvodi se konstantnom brzinom, a njihovo okretanje vrši pravolinijsko kretanje zavarenih komada. U slučaju kada nije moguće obuhvatiti elektrodama zavareni element sa obje strane, šavno zavarivanje se izvodi jednostrano, slično kao jednostrano točkasto zavarivanje [6].

Šavnim zavarivanjem postiže se zadovoljavajući kvalitet zavarenog spoja ako se izvodi u obliku niza zavarenih točaka koje se međusobno preklapaju. Tako izvedeni spojevi su nepropusni za tekućine i plinove [6].

Pri šavnom zavarivanju struja se uključuje poslije pritiska komada kolutovima koji se okreću stalno (neprekidno zavarivanje) ili periodično (prekidno zavarivanje). Isto tako pri neprekidnom okretanju kolutova struja se može uključivati u impulsima (slika 1.55). Pri tome se oblikuje red točaka. Smanjenjem pauza između impulsa struje može doći do preklapanja granica susjednih točaka odnosno do formiranja neprekidnog spoja. Pri neprekidnom za-

varivanju moguće je zavarivati dijelove 1 - 2 mm debljine [6].

Izbor režima šavnog zavarivanja

U zavarivačkoj praksi ponekad se pomoću stroja za šavno zavarivanje izvodi zavarivanje točkastih zava s nepokretnim elektrodama. Usporedimo li proces zavarivanja jedne točke sa cilindričnim elektrodama i elektrodama u obliku koluta dolazimo do zaključka da nema principijelne razlike između ta dva postupka [6].

Praktično se može smatrati da je šavno zavarivanje u stvari, točkasto zavarivanje, pri čemu su zavarene točke tako razmještene da se međusobno djelimično preklapaju. Međutim, velika međusobna blizina zavarenih točaka dovodi do pojave povećanog šentiranja struje što zahtijeva strojeve veće snage nego pri točkastom zavarivanju elemenata iste debljine [6].

Broj parametara šavnog zavarivanja veći je nego kod točkastog zavarivanja. Svaka promjena jednog od parametara obavezno ima za posljedicu promjenu vrijednosti više drugih parametara. Sva teoretska i praktična razmatranja, provedena u slučaju točkastog zavarivanja, mogu se analogno primjeniti i u slučaju šavnog zavarivanja [6].

Što se tiče utjecaja sile kod šavnog zavarivanja, za razliku od točkastog, zavarivanje se vrši konstantnom silom na elektrode (kolutove) i to zato što inercija zavarivačke glave ne omogućava da se ostvare dovoljno brze promjene sile na elektrode. U tom smislu eksperimentiralo se s primjenom zavarivačkih glava izloženih djelovanju vibracija ali ta ispitivanja nisu pokazala zadovoljavajuće rezultate, pa ciklus konstantne sile na elektrode ostaje opće pravilo na svim strojevima za šavno zavarivanje. Općenito uzevši, sila na kolutove je ista ili za 10-30 posto veća nego pri točkastom zavarivanju istog materijala [6].

Sila na elektrode koja se koristi kod šavnog zavarivanja ima statički karakter i jednaka je težini glave za zavarivanje plus opterećenje uređaja za ostvarivanje sile na elektrode.

Zbog šentiranja struje kod šavnog zavarivanja potrebna je veća jakost struje na sekundaru transformatora nego kod točkastog zavarivanja. Za prevladavanje najvećih problema kod šavnog zavarivanja ponekad se koristila smanjena sila na kolutove. Međutim, to dovodi do povećanog habanja kolutova. Prema tome, prihvatljivije je koristiti povećane sile na elektrode kako bismo nadoknadili utjecaj zagrijavanja koji potječe iz povećane jakosti struje na sekundaru transformatora i smanjene brzine zavarivanja [6].

2 IZBOR REPREZENTANTA

Za reprezentanta je izabran jednozglobni kompenzator HS 2/800/4/TRS/1 . Njegove karakteristike su:

- nazivni promjer	800 mm
- radni tlak	0.2 MPa
- ispitni tlak	1.1 MPa
- radna temperatura	943 K
- ispitna temperatura	293 K
- kutni pomak	± 2
- dodaci	rukavac
- materijal harmonike	X6CrNiMoTi17-12-2
- medij koji protiče	pregrijana vodena para

Jednozglobni kompenzator HS 2/800/4/TRS/1 prikazan je na nacrtu Tvornice kompenzatora broj 70-68-01 sa pripadajućim pozicijama u prilogu I.

2.1 IZBOR MATERIJALA ZA REPREZENTANTA

Izabrani materijali za jednozglobni kompenzator HS 2/800/4/TRS/1 su austenitni čelici:

1. X6CrNiMoTi17-12-2

2. X6CrNiTi18-10

Izabrani materijal prikazan je u Tablici 2.1.

Tablica 2.1 Izbor materijala za reprezentanta[7, 8]

JUS	DIN		U S A		POZICIJE DIELOVA
	W.Nr.	Krat. oznak.	ASTM	AISI	
Č.4574	1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	-	316 Ti	1, 2, 3, 5
Č.4572	1.4541	X6CrNiTi18-10	A 276	321	sve ostale

Kemijski sastav i mehanička svojstva materijala izabranog za jednozglobni kompenzator prikazani su u Tablici 2.2 i Tablici 2.3.

Tablica 2.2 Kemijski sastav materijala za reprezentanta [7, 8]

OZNAKA	K E M I J S K I S A S T A V										
	C	P	S	N	Mn	Si	Cr	Ni	Mo	Cu	Ost.
Č.4574	0,08	0,045	0,03		2,0	1,0	16,5-18,5	10,5-13,5	2-2,5		Ti: 5x%C -0,8
Č.4572	0,08	0,045	0,03		2,0	1,0	17,0-19,0	9,0-12,0			Ti: 5x%C -0,8

Tablica 2.3 Mehanička svojstva materijala za reprezentanta [7, 8]

OZNAKA	Naprezanje tečenja Re(N/mm ²)	Vlačna čvrstoća Rm(N/mm ²)	Postotno produljenje A5 (%)	Standard
Č.4574	225	540...690	35	EN 17440
Č.4572	215	540...740	35	EN 17440

2.2 AUSTENITNI Cr-Ni KOROZIJSKI POSTOJANI ČELICI

Austenitni Cr-Ni korozijski postojani čelici sadrže krom koji daje otpornost na koroziju. Minimalan zahtjev za sadržaj kroma u korozijski postojanom čeliku je 12 % Cr . Niki osigurava austenitnu strukturu na svim temperaturama [9].

Ovi čelici su klasificirani po American Iron and Steel Institute (AISI). Njihov pregled i kemijski sastav prikazani su u Tablici 2.4.

Austenitni Cr-Ni korozijski postojani čelici često se primjenjuju jer posjeduju visoku čvrstoću i otpornost na oksidaciju na povišenim temperaturama. Također, često se upotrebljavaju za rad na nižim temperaturama (do -20 °C) jer i tada zadržavaju visoku čvrstoću i istezljivost [9].

Tablica 2.4 Klasifikacija austenitnih Cr-Ni korozijski postojanih čelika [9]

TIP	%C	%Cr	%Ni	% ostalih elemenata
201	0,15	16-18	3,5-5,5	N 0,25; Mn 5,5-7,5; P 0,06
202	0,15	17-19	4-6	N 0,25; Mn 7,5-10; P 0,06
301	0,15	16-18	6-8	
302	0,15	17-19	8-10	
302B	0,15	17-19	8-10	Si 2-3
303	0,15	17-19	8-10	S 0,15 min; P 0,2
303Se	0,15	17-19	8-10	Se 0,15 min
304	0,08	18-20	8-12	
304L	0,03	18-20	8-12	
305	0,12	17-19	10-13	
308	0,08	19-21	10-12	
309	0,20	22-24	12-15	
309S	0,08	22-24	12-15	
310	0,25	24-26	19-22	Si 1,5
310S	0,08	24-26	19-22	Si 1,5
314	0,25	23-26	19-22	Si 1,5-3
316	0,08	16-18	10-14	Mo 2-3
316L	0,03	16-18	10-14	Mo 2-3
317	0,08	18-20	11-15	Mo 3-4
321	0,08	17-19	9-12	Ti 5xC min
347	0,08	17-19	9-13	Cb+Ta 10xCmin
17-7PH	0,09	16-18	6,5-7,75	Mn 1; Al 0,75-1,5
17-10P	0,10-0,14	16,5-17,5	9,75-10,75	Mn 0,5-1; P 0,25-0,3; Si 0,06
17-4PH	0,07	15,5-17,5	3-5	Mn 1; Cu 3-5; Cb+Ta 0,15-0,45
15-7Mo	0,09	14-16	6,5-7,75	Mn 1; S 0,04; Al 0,75-1,5
AM-350	0,08-0,12	16-17	4-5	Mn 0,5-1,25; Si 0,5; Mo 2,5-3,25; N 0,07-0,13
AM-355	0,1-0,15	15-16	4-5	Mn 0,5-1,25; Si 0,5; Mo 2,5-3,25; N 0,07-0,13
A-286	0,08	13,5-16	24-27	Mn 1-2; Mo 1-1,5; Ti 1,75-2,35; V 0,1-0,5; Al 0,35; P 0,04

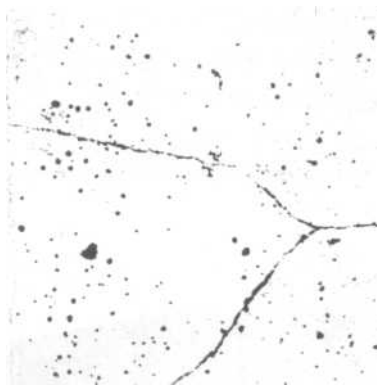
2.3 UTJECAJ KEMIJSKIH ELEMENATA

Austenitni Cr-Ni korozijski postojani čelici posjeduju otpornost na koroziju i oksidaciju. Za ova svojstva zaslužan je dodatak kroma u iznosu od 16 % do 25 % . Niki u ovim čelicima, osim što osigurava austenitnu strukturu na svim temperaturama, poboljšava otpornost na koroziju i čvrstoću na visokim temperaturama [9].

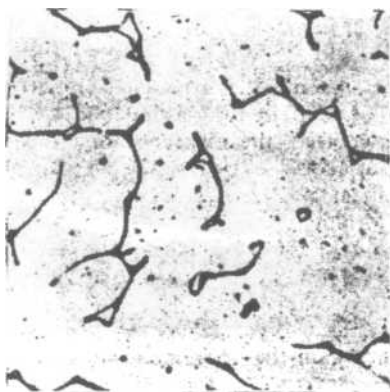
Magnezij, ugljik i dušik pospješuju djelovanje nikla prilikom stvaranja austenitne strukture. Molibden, kolumbij i titan pospješuju stvaranje delta ferita i formiranje karbida. Silicij povećava otpornost na oksidaciju na visokim temperaturama i utječe na bolju livljivost [9].

2.4 SIGMA FAZA I DELTA FERIT

Prisutnost ferita u strukturi zavarenog spoja u osnovi zavisi od sastava osnovnog i dodatnog materijala. Na slici 2.1 prikazana je mikrostruktura zavara koji je čisti austenit, dok se na slici 2.2 vidi mikrostruktura u kojoj se nalazi i delta ferita [9].



Slika 2.1 Mikrostruktura zavarenog spoja, austenit [9]



Slika 2.2 Mikrostruktura zavarenog spoja, austenit + delta ferit [9]

Zavar čija je struktura čisti austenit podložan je stvaranju toplih pukotina. Prisutnost delta ferita u mnogim slučajevima sputava tu tendenciju. Elektrode za zavarivanje austenitnih Cr-Ni korozijski postojanih čelika trebaju biti takvog kemijskog sastava da ostvare 5 - 12 % delta ferita u strukturi zavarenog spoja. Delta ferit je magnetičan te je moguće utvrditi njegovu prisutnost u zavarenom spoju magnetskim ispitivanjem. Toplinska obrada nakon zavarivanja može smanjiti ili potpuno eliminirati delta ferit iz zavara. Intermetalni spoj kroma i željeza, nazvan "sigma faza", nastaje transformacijom ferita hlađenjem u dugom vremenskom periodu u temperaturnom području 650-900°C [9]. Sigma faza može uzrokovati gubitak korozijske otpornosti. Međutim, obično se njezina prisutnost manifestira gubitkom žilavosti .

2.5 UVJETI EKSPLOATACIJE

Kompenzator je visoko specijalizirani proizvod te je važno njegovo sigurno i pouzdano funkcioniranje. Prilikom projektiranja i konstruiranja neophodno je poznavanje uvjeta eksploatacije i to:

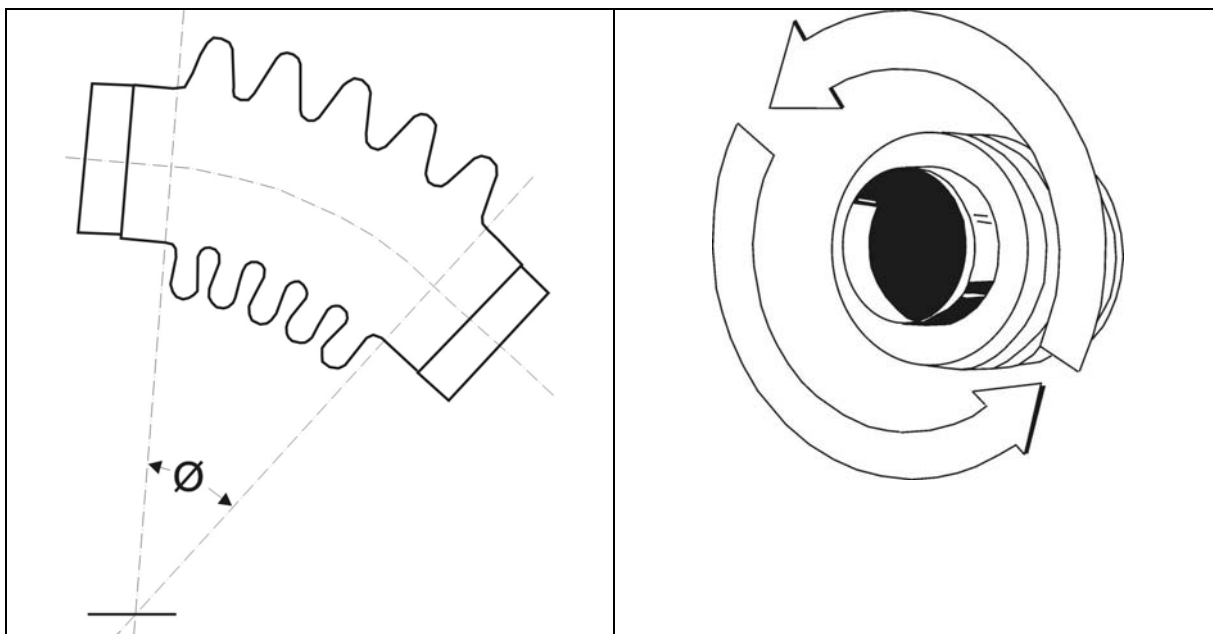
- promjer, odnosno veličina cjevovoda na koji se priključuje,
- tlak, i pri tome je važno znati projektni, radni i ispitni tlak,
- temperatura, kod koje također mora biti određena radna i ispitna,
- medij kojem je kompenzator izložen,
- pomak, koji se uvijek može izraziti kvantitativno kao aksijalni, poprečni ili kutni.

Aksijalni pomak «x» je pomak u smjeru uzdužne osi kompenzatora. Manifestira se u obliku izduženja ili skupljanja kompenzatora, slika 2.5.

Poprečni pomak «y» javlja se okomito na uzdužnu os kompenzatora, slika 2.6.

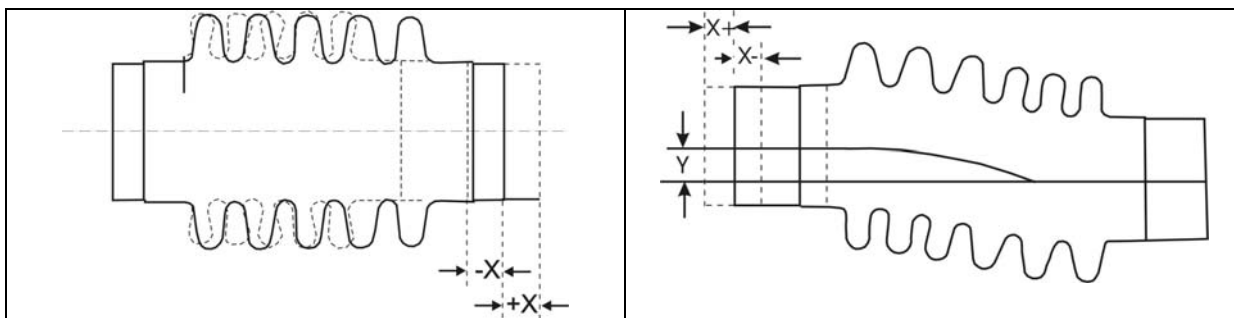
Kutni pomak Q rezultira zakretanjem osi kompenzatora, slika 2.3.

Zbroj aksijalnog i kutnog pomaka, slika 2.4, manifestira se u obliku torzionog zakretanja kompenzatora koje je nepoželjno i koje po mogućnosti treba izbjegavati [1].



Slika 2.3. Kutni pomak kompenzatora [1]

Slika 2.4. Torziono zakretanje kompenzatora [1]

*Slika 2.5. Aksijalni pomak kompenzatora [1]**Slika 2.6. Poprečni pomak kompenzatora [1]*

2.6 ZAHTJEVI ZA KVALITETU

Osiguranje kvalitete je izuzetno važan faktor u proizvodnji kompenzatora, a postiže se kroz faze izrade idejnog projekata, razrade konstrukcije i tehnologije, te odvijanja cjelokupnog procesa proizvodnje. Sistem održavanja i osiguranja kvalitete u tvornici ĐĐ Kompenzatori realizira se u skladu sa tvorničkim programom osiguranja kvalitete koji je baziran na zahtjevima ISO 9001-1992, te B.S. 5750 dio 1.

Sastavni dio programa su pisani postupci i instrukcije koji pokrivaju:

- narudžbu materijala i usluga,
- identifikaciju i kontrolu materijala,
- proces proizvodnje i kontrolu,
- procedure zavarivanja i kvalifikacije,
- testiranja, inspekcije i dokumentaciju,
- pripremu za pakovanje i isporuku,
- obnavljanje tipskih ispitivanja i odobrenja.

2.6.1 Pouzdanost i kvaliteta kompenzatora

Pouzdanost i kvaliteta kompenzatora utvrđuje se:

- a) ispitivanjima bez razaranja NDT (non destructive testing),
- b) ispitivanjima s razaranjem.

Ispitivanja bez razaranja uključuju:

- a) radiografiju (industrijski X-Ray izovolt 160 kW, 19 mA sa visokonaponskim ispravljačem 160 kV, primjer izvještaja prilog III),
- b) hidraulična i pneumatska tlačna testiranja,

- c) penetrantska ispitivanja (primjer izvještaja prilog III),
- d) ultrazvučna ispitivanja,
- e) helij "leak" test – test ispitivanja nepropusnosti.

Ispitivanja s razaranjem uključuju:

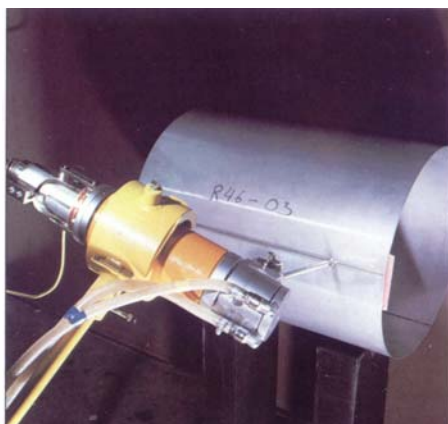
- a) test životnog vijeka,
- b) test rasprskavanja
- c) ispitivanja mehaničkih osobina materijala i zavora,
- d) ispitivanja kemijskih osobina,
- e) ispitivanja sile opružnog djelovanja,
- f) tipska ispitivanja (Lloyds Register of Shipping, Bureau Veritas, Det Norske Veritas, Hrvatski Registar).



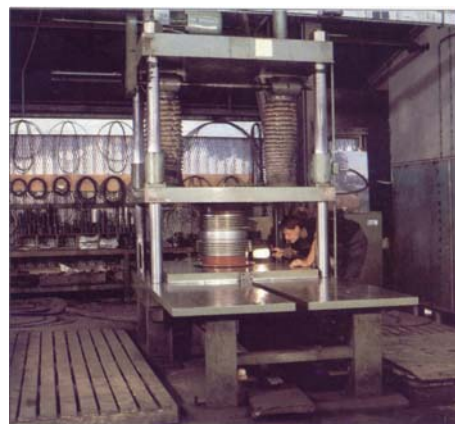
Slika 2.7 Ispitivanje životnog vijeka trajanja [1]



Slika 2.8 Ispitivanje mikrostrukture materijala [1]



Slika 2.9 Radiografsko ispitivanje zavora tankostijene cijevi [1]



Slika 2.10 Tlačna proba kompenzatora [1]

2.6.2 Preuzimanje po fazama proizvodnje

U skladu sa zahtjevima ugovora definira se tehnologija kontrole (za složenije proizvode) i / ili plan kontrole – prema zahtjevu kupca da prisustvuje pojedinim međufaznim kontrolama.

Obim, preuzimanje, ovjere i nadzor kakvoće obavljaju poslovođa i / ili kontrolor prema tehničko-tehnološkoj dokumentaciji. Za preuzimanje po fazama proizvodnje gdje se provode specijalna ispitivanja (ultrazvučna, radiografska, penetrantska, mjerni protokoli) Služba osiguranja kvalitete je dužna pravodobno isplanirati (sa tehničko-tehnološkom pripremom) sva potrebna ispitivanja, a kontrola kvalitete je obvezna provesti ispitivanja, te izraditi izvješća.

2.6.3 Završna kontrola i primopredaja proizvoda

Završna kontrola

Nakon međufazne kontrole, završne montaže, te informacije poslovođe o gotovosti proizvoda (nema odstupanja i neusklađenosti) pristupa se završnoj kontroli i izvješćivanju.

Primopredaja proizvoda

U skladu sa ugovorom, narudžbom može se izvršiti primopredaja proizvoda i dokumentacije :

- ovlaštenoj osobi kupca
- ovlaštenom klasifikacijskom društvu
- direktno slanje proizvoda.

Status kontroliranja i ispitivanja proizvoda

Postupci o dokumentaciji kontrole i označavanja materijala i dijelova može se utvrditi status kontrole i ispitivanja tijekom svih faza proizvodnje, tako da se u svakom trenutku može znati :

- koji je proizvod kontroliran i primljen
- koji je proizvod kontrolirani odbijen
- koji proizvod nije kontroliran

Utvrđeno stanje označava se: žigom, karticom, naljepnicom, dokumentom kontrole ili posebnom lokacijom proizvoda. Za provedbu označavanja i ispitivanja proizvoda odgovoran je poslovođa, a Odjel osiguranja kvalitete je odgovoran za utvrđivanje statusa kontroliranja i

ispitivanja, te nadzor provedbe istog.

Zapisi i izvješća o kvaliteti

Ovim dijelom definiraju se moguća mjesta / funkcije / odjeli gdje se ustanovljavaju, prikupljaju i analiziraju podaci o kvaliteti. Također se definira čuvanje i uništavanje dokumenata, te izvješće o kvaliteti.

Ustanovljavanje i prikupljanje podataka o kvaliteti

Podaci se ustanovljavaju putem ugovaranja, projektiranja, konstrukcija, specifičnih tehnoloških postupaka, a provjere, testiranja i nadzor provode se prema tehnologiji izrade i / ili kontrole ili plana kontrole kvalitete.

Podaci se interpretiraju kroz dokumente navedene u prilogima pojedinih postupaka, kao na primjer :

- kontrola ugovora / narudžbe
- kontrola dizajna
- prijemni list kontrole
- tehnološki list
- kontrolni list
- primopredajni zapisnik
- reklamacija
- izvješće za direktora poduzeća
- dozvole odstupanja
- prijavni list kontrole itd.

Analiza podataka i izvješćivanje o kakvoći

Podaci o kvaliteti dobivaju se iz dokumenata navedenih u prethodnom naslovu i usmjeravaju se na:

- nivo posloводства
- nivo rukovoditelja funkcija

Dokumenti se dostavljaju (po potrebi) mjesečno, kvartalno, te zbirno godišnje – izvješće za posloводство. Za analizu i izvješćivanje o kakvoći odgovoran je Odjel osiguranja kvalitete, a za rasprave po izvješćima direktor i posloводство poduzeća.

2.7 SLIJED PROIZVODNIH I KONTROLNIH AKTIVNOSTI U IZRADI KOMPENZATORA

Za primjer tehnološke izrade kompenzator odabrano se kompenzator tipa **HS 2/800/4/TRS/1** (sastavnicu materijala i tehnološko – kontrolni list vidi u prilogu II).

Tablica 2.5 – Tehnološka izrada kompenzatora

RB	RADNO MJESTO	OPIS OPERACIJE
1	11E	SASTAVITI HARMONIKU I NASTAVKE TE PRIPOJITI
2	11A	PRIKLJUČNO ZAVARITI
3	9C	TLAČNA PROBA
4	11E	UBACITI RUKAVAC TE PRIPOITI
5	11A	PRIKLJUČNO ZAVARITI
6	11	OČISTITI ZAVARE
7	11E	MONTIRATI PODMETAČE I ST. VUNU TE PRIPOITI PODMETAČ
8	14A	ZAVARITI PODMETAČE
9	11E	MONTIRATI NOSAČE ZAŠTITE TE PRIPOITI
10	14A	ZAVARITI
11	11E	MONTIRATI POLUGE POZ. 7 i 8, SVORNJAK I OSIGURAČ TE PRIPOJITI
12	14A	ZAVARITI
13	25	OZNAČITI PREMA T.U.200-11
14	20A	ZAVRŠNA KONTROLA

Tablica 2.6 – Tehnološka izrada harmonikastog sloja

NAZIV DJELA	KOM.	BROJ NACRTA	POZ.	DIMENZIJA	KAKVOĆA MATERIJALA
HARMONIKA 1 SLOJ	4	701-68-01	1.1	0,7x2570,4x625	X6CrNiMoTi17-12-2
HARMONIKA 2 SLOJ	4	701-68-01	1.2	0,7x2576,4x625	X6CrNiMoTi17-12-2

Tablica 2.7 – Tehnološki postupak izrade harmonike po crtežu 701-68-01

RB	RADNO MJESTO	OPIS OPERACIJE
1	1A	REZATI ZA NAVARIVANJE
2	3B	NAVARITI
3	1A	REZATI NA MJERU
4	2C	SAVITI U CILINDAR
5	3B	PODUŽNO ZAVARITI
6	2C	CENTRIRATI
7	21A	ISPITATI 100% RTG
8	2C	UBACITI CIJEV U CIJEV
9	5B	OBLIKOVATI HARMONIKU
10	7A	ŠAVNO ZAVARITI SA PREKIDOM
11	19	SUŠITI
12	7A	ŠAVNO ZAVARITI PREKID
13	8A	OBREZATI HARMONIKU
14	9A	SABITI I DOTJERATI NA MJERU
15	10B	EKSPANDIRATI

Tablica 2.8 – Tehnološka izrada cijevnog nastavka sloja

NAZIV DJELA	KOM.	BROJ NACRTA	POZ.	DIMENZIJA	KAKVOĆA MATERIJALA
CIJEVNI NASTAVAK	8	705-68-01	2	12x2537x347	X6CrNiMoTi17-12-2

Tablica 2.9– Tehnološki postupak izrade cijevnog nastavka po crtežu 705-68-01

RB	RADNO MJESTO	OPIS OPERACIJE
1	15A	REZATI NA MJERU
2	26	IZRADITI KOSINU I KOSINU ZA ZAVAR
3	13B	PREDSAVITI I SAVITI
4	14A	ZAVARITI IZNUTRA
5	26	BRUSITI
6	14A	ZAVARITI IZVANA
7	26	PORAVNATI ZAVAR ISPITATI 100% RTG PODUŽNOG ZAVARA
8	13B	CENTRIRATI
9	26	OBRUSITI ZA ZAVAR HARMONIKE

Tablica 2.10 – Tehnološka izrada rukavca

NAZIV DJELA	KOM.	BROJ NACRTA	POZ.	DIMENZIJA	KAKVOĆA MATERIJALA
RUKAVAC	4	191-68-24	3	1,5x2460x182	X6CrNiMoTi17-12-2

Tablica 2.11 – Tehnološki postupak izrade rukavca po crtežu 191-68-24

RB	RADNO MJESTO	OPIS OPERACIJE
1	1A	REZATI ZA NAVARIVANJE
2	3B	NAVARITI
3	1A	REZATI NA MJERU
4	2C	STAVITI U CILINDAR
5	3B	PODUŽNO ZAVARITI
6	2C	CENTRIRATI
7	10B	EKSPANDIRATI

Tablica 2.12 – Tehnološka izrada sloja

NAZIV DJELA	KOM.	BROJ NACRTA	POZ.	DIMENZIJA	KAKVOĆA MATERIJALA
STAKLENA VUNA	16	70-68-01	4	3x200x361	

Tablica 2.13 – Tehnološki postupak izrade po crtežu 70-68-01

RB	RADNO MJESTO	OPIS OPERACIJE
1	11	REZATI NA MJERU

Tablica 2.14– Tehnološka izrada podmetača sloja

NAZIV DJELA	KOM.	BROJ NACRTA	POZ.	DIMENZIJA	KAKVOĆA MATERIJALA
PODMETAČ	16	70-68-01	5	12x200x361	X6CrNiMoTi17-12-2

Tablica 2.15 – Tehnološki postupak izrade podmetača po crtežu 70-68-01

RB	RADNO MJESTO	OPIS OPERACIJE
1	15A	REZATI NA MJERU
2	13B	PREDSAVITI PREMA NASTAVKU

Tablica 2.16 – Tehnološka izrada lijevog nosača sloja

NAZIV DJELA	KOM.	BROJ NACRTA	POZ.	DIMENZIJA	KAKVOĆA MATERIJALA
NOSAČ LIJEVI	16	794-01-48	6.1	20x125x150	X6CrNiTi18-10

Tablica 2.17 – Tehnološki postupak izrade lijevog nosača po crtežu 794-01-48

RB	RADNO MJESTO	OPIS OPERACIJE
1	15A	REZATI NA MJERU
2	26	IZRADITI KOSINU S DONJE STRANE

Tablica 2.18 – Tehnološka izrada desnog nosača sloja

NAZIV DJELA	KOM.	BROJ NACRTA	POZ.	DIMENZIJA	KAKVOĆA MATERIJALA
NOSAČ DESNI	16	794-01-48	6.2	20x125x150	X6CrNiTi18-10

Tablica 2.19 – Tehnološki postupak izrade desnog nosača po crtežu 794-01-48

RB	RADNO MJESTO	OPIS OPERACIJE
1	15A	REZATI NA MJERU
2	26	IZRADITI KOSINU S DONJE STRANE

Tablica 2.20 – Tehnološka izrada poluga sloja

NAZIV DJELA	KOM.	BROJ NACRTA	POZ.	DIMENZIJA	KAKVOĆA MATERIJALA
POLUGA	16	793-03-91	7	12x210x425	X6CrNiTi18-10

Tablica 2.21 – Tehnološki postupak izrade harmonike po crtežu 793-03-91

RB	RADNO MJESTO	OPIS OPERACIJE
1	15A	REZATI NA MJERU
2	18A	OBRADITI PROVRT

Tablica 2.22 – Tehnološka izrada poluge

NAZIV DJELA	KOM.	BROJ NACRTA	POZ.	DIMENZIJA	KAKVOĆA MATERIJALA
POLUGA	8	793-03-92	8	20x210x425	X6CrNiTi18-10

Tablica 2.23 – Tehnološki postupak izrade poluge po crtežu 793-03-92

RB	RADNO MJESTO	OPIS OPERACIJE
1	15A	REZATI NA MJERU
2	18A	OBRADITI

Tablica 2.24 – Tehnološka izrada svornjaka sloja

NAZIV DJELA	KOM.	BROJ NACRTA	POZ.	DIMENZIJA	KAKVOĆA MATERIJALA
SVORNJAK	32	692-03-11	9	Ø 70x70	X6CrNiTi18-10

Tablica 2.25 – Tehnološki postupak izrade svornjaka po crtežu 692-03-11

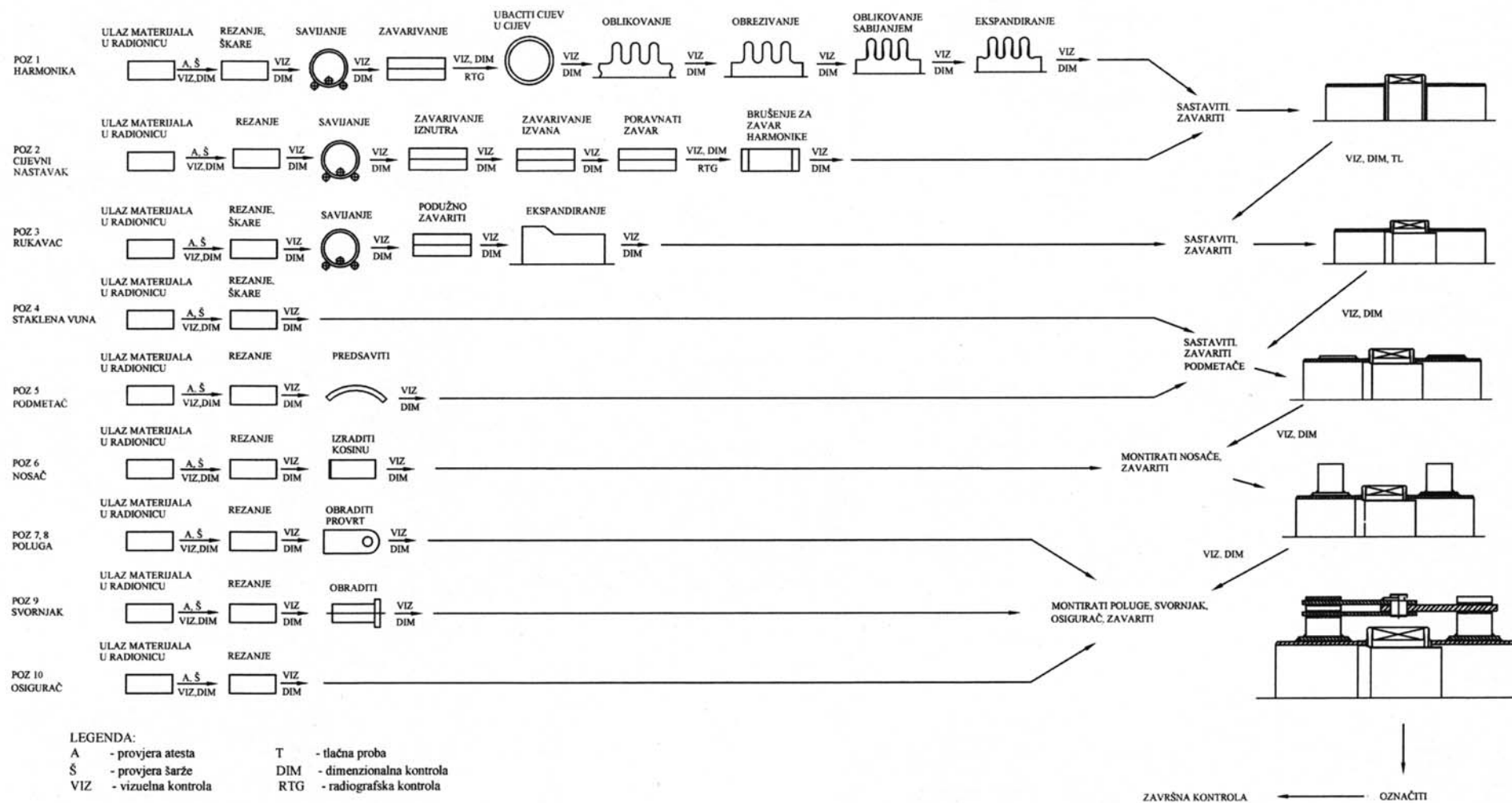
RB	RADNO MJESTO	OPIS OPERACIJE
1	15A	REZATI NA MJERU
2	18A	OBRADITI

Tablica 2.26 – Tehnološka izrada osigurača

NAZIV DJELA	KOM.	BROJ NACRTA	POZ.	DIMENZIJA	KAKVOĆA MATERIJALA
OSIGURAC	8	799-00-25	10	5xØ100	X6CrNiTi18-10

Tablica 2.27 – Tehnološki postupak izrade harmonike po crtežu 799-00-25

RB	RADNO MJESTO	OPIS OPERACIJE
1	18A	OBRADITI PREMA NACRTU
2	18A	REZATI NA MJERU
3	15G	RAZREZATI



SLIJED PROIZVODNIH I KONTROLNIH AKTIVNOSTI U IZRADI KOMPENZATORA

2.8 IZBOR POSTUPKA ZAVARIVANJA

Zavarljivost izabranog materijala na dvostrukom nespregnutom kompenzatoru biti će razmatrana s obzirom na podjelu iz poglavlja 2.1.

2.8.1 Zavarivanje austenitnih Cr – Ni korozijski postojanih čelika

Najbolji postupak za zavarivanje ovih čelika je onaj koji daje odličnu zaštitu taline i unosi malo topline. Zavarivanje ovih čelika izvodi se bez predgrijavanja.

Najčešće primjenjivani postupci zavarivanja austenitnih Cr-Ni korozijski postojanih čelika su REL, MIG, TIG i EPP postupak (vidi Tablicu 2.28.).

Tablica 2.28 Klasifikacija dodatnog materijala prema AWS [9]

Klasifik. poAWS	Vlačna čvrstoća Rm(N/mm ²)	Postot. produlj. A5(%)	%C	%Cr	%Ni	%Mo	ostatak %
E308	550	35	0,08	18-21	9-11		
E308L	520	35	0,04	18-21	9-11		
E309	550	30	0,15	22-25	12-14		
E309Cb	550	30	0,12	22-25	12-14		0,7-1 Cb
E309Mo	550	30	0,12	22-25	12-14	2-3	
E310	550	30	0,20	25-28	20-22		
E310Cb	550	25	0,12	25-28	20-22		0,7-1 Cb
E310Mo	550	30	0,12	25-28	20-22	2-3	
E312	650	22	0,15	28-32	8-10		
E16-8-2	550	35	0,10	15-16	8-9	1-2	
E316	520	30	0,08	17-20	11-14	2-2,5	
E316L	480	30	0,04	17-20	11-14	2-2,5	
E317	550	30	0,08	18-21	12-14	3-4	
E318	550	25	0,08	17-20	11-14	2-2,5	Cb=6xC
E320	550	30	0,07	19-21	32-36	2-3	3-4 Cu Cb=8xC
E330	520	25	0,25	14-17	33-37		
E347	550	30	0,08	18-21	9-11		Cb=8xC
E349	690	25	0,13	18-21	8-10	0,4-0,6	1,5 W

TIG zavarivanje, zavarivanje u zaštiti inertnog plina netaljivom elektrodom.

Izbor dodatnog materijala prvenstveno ovisi o čvrstoći osnovnog materijala. Najčešće korišteni zaštitni plinovi su argon, argon + kisik, ugljikdioksid, argon + ugljikdioksid. Parametre zavarivanja treba mijenjati prema uvjetima zavarivanja. Prijenos metala prilikom zavarivanja ostvaruje se kratkim spojevima i štrcajućim lukom i ovisi o zaštitnom plinu koji se primjenjuje.

TIG postupak upotrebljava netaljivu volframovu elektrodu za uspostavljanje luka. Dodatni materijal se može ili ne mora upotrebljavati. Argon, helij, ili mješavina ova dva plina se upotrebljava kao zaštita [9].

Upotrebljava se za zavarivanje tankih limova sa visokim zahtjevima za kvalitetu, za zavarivanje korijenskih prolaza na cijevima gdje je moguć prilaz samo sa jedne strane vidi Tablicu 2.29.

MIG zavarivanje, zavarivanje u zaštiti inertnog plina ili mješavine inertnog i aktivnog plina taljivom elektrodom – žicom.

MIG postupak se često primjenjuje za zavarivanje ovih čelika. Izbor dodatnog materijala prvenstveno ovisi o čvrstoći osnovnog materijala. Najčešće korišteni zaštitni plinovi su argon, argon + kisik, ugljikdioksid, argon + ugljikdioksid. Parametre zavarivanja treba mijenjati prema uvjetima zavarivanja. Prijenos metala prilikom zavarivanja ostvaruje se kratkim spojevima i štrcajućim lukom i ovisi o zaštitnom plinu koji se primjenjuje [9].

Tablica 2.29 Dodatni materijala za MIG postupak zavarivanja [9]

AISI Tip osnovnog materijala	AWS - ASTM Dodatni materijal
201	ER308
202	ER308
301,302,304,308	ER308
304L	ER 308L
309	ER309
310	ER310
316	ER316
316L	ER 316L
317	ER317
330	ER330
321	ER321
347	ER347
17-7 PH	W 17-7 PH
PH 15-7Mo	W PH 15-7 Mo
17-4 PH	17-4 PH
AM350	AM350
AM355	AM355
A 286	A 286

REL zavarivanje, ručno elektrolučno zavarivanje obloženom elektrodom

Izbor dodatnog materijala ovisi o:

- zahtjevima zavarenog spoja,
- kemijskom sastavu materijala
- debljini
- geometriji spoja
- položaju zavarivanja

Penetracija ostvarena ovim postupkom nije velika u odnosu na EPP postupak zavarivanja.

Zavareni spoj obično je bogatiji kromom i niklom od osnovnog materijala i sadrži 5-12 % delta ferita.

EPP zavarivanje, zavarivanje pod zaštitom praška

Izbor dodatnog materijala ovisi o:

- kemijskom sastavu,
- debljini,
- čistoći osnovnog materijala,
- zahtijevanim mehaničkim osobinama.

Upotrebljava se za zavarivanje teških sekcija zbog velike penetracije koju ostvaruje. Zavareni spoj ostvaren ovim postupkom je , čvrst, temeljit, ujednačen u kvaliteti i izvrsnog izgleda. Oprema koja se koristi za zavarivanje austenitnih Cr-Ni čelika ista je kao i za zavarivanje ugljičnih čelika. Prilikom zavarivanja treba uzeti u obzir da austenitni Cr-Ni korozijski postojani čelici imaju veće toplinske deformacije, nižu toplinsku i električnu vodljivost, te da su osjetljivi na pojavu toplih pukotina [9].

2.9 LEGURE S VISOKIM SADRŽAJEM NIKLA

Legure na bazi nikla su konstrukcijski materijali kod kojih je osnova nikal ili je nikal glavni legirajući element. Postotak nikla u tim materijalima se kreće od 32-97% . Najčešći legirajući elementi uz nikal su bakar, krom i željezo. U znatno manjim količinama, ali ne manje značajni pojavljuju se magnezij, molibden, bor, volfram, cezij, cirkonij, niobij, aluminij, kobalt, mangan i ugljik [10].

Takav kemijski sastav ovih legura rezultira nizom vrlo važnih osobina za tehničku praksu, od kojih su najvažnije :

- velika otpornost na koroziju, čak kada je materijal izložen agresivnom mediju i niskim temperaturama,

- visoka vrijednost mehaničkih osobina na visokim temperaturama,
- visoka vrijednost mehaničkih osobina na niskim temperaturama (žilavost),
- dobra zavarljivost,
- jednostavna obrada raznim tehnologijama.

Prema načinu proizvodnje legure sa visokim sadržajem nikla klasificirane su u dvije grupe, kako je prikazano u Tablici 2.30., na legure očvrsnute legiranjem (u svrhu dobivanja supstitucijskih mješanaca u krutom rastvoru) i legure očvrsnute precipitacijski (legure očvrsnute reakcijom Al-Ti ili Al-Ti-Cb pomoću toplinske obrade) [10].

Tablica 2.30 Podjela legura sa visokim sadržajem nikla prema načinu proizvodnje [10]

Način proizvodnje	T I P / O Z N A K A			
Legure očvrsnute legiranjem	Ni / 200	NiCu / 400	NiCr / 600	NiFeCr/ 800
Legure očvrsnute precipitacijski	Ni / 300	NiCu / 500	NiCr / 700	NiFeCr/ 900

U prošlosti identifikacija legura sa visokim sadržajem nikla bila je trgovačkim imenima, vojnim ili preko raznih asocijacija. U zadnje vrijeme većina proizvođača koristi se troznamenkastim broječanim sustavom za grupiranje legura kakav se primjenjuje u SAD.

Kratki pregled najviše primjenjivanih legura s visokim sadržajem nikla s komercijalnim nazivom prikazan je u Tablici 2.32. iz koje je vidljivo da je većina legura označena troznamenkastim broječanim sustavom. Pored navedenih često se primjenjuju i slijedeće legure: UDIMET, RENE 41, ASTROLOY i WASPALOV.

Tablica 2.32 Grupe nekih legura sa visokim sadržajem nikla

Naziv grupe legura	Tip legure	Oznaka	Orijentacijski kemijski sastav	Specifične karakteristike
NIKL	Ni	200,201	99,5 % Ni	Korozijaska otpornost
		205,212,222		Spec.fizikalna svojstva
		240		Rad na visokim temperaturama
MONEL	NiCu	400,402,403 R-405,474 K-500,501	67 % Ni 32 % Cu	Korozijaska otpornost
INCONEL	NiCr	600	53-76 % Ni	Korozijaska otpornost i rad na visokim temperaturama
		601,617,706 718,X-750 MA-754	16-22 % Cr 7-20 % Fe	Rad na visokim temperaturama
		625		Korozijaska otpornost
INCOLOY	NiFeCr	800,800 H DS,MA-956	32-43 % Ni	Rad na visokim temperaturama
		825,825-CP	34-46 % Fe	Korozijaska otpornost
		903	13-20 % Cr	Spec.fizikalna svojstva
NIMONIC	NiCrCoMo	75,8A,81,86, 90,91,101, 105,115,263, 901,AP1, PE11,PE13, PE16,PK33	39-76 % Ni 12-30 % Cr 14-20 % Co 3-10 % Mo	Rad na visokim temperaturama
NILO	NiCr	36,42,48	36-48 % Ni 52-64 % Cr	Spec.fizikalna svojstva: koeficijent toplinskog istezanja 1,7-10,4 10 ⁻⁶ °C
	NiFeCo	K	29%Ni,53% Fe,17%Co	
BRIGHTRAY	NiCrFeSi	B, C, F, S, 35	35-79 % Ni 16-20 % Cr 22-43 % Fe 0.5-2.3% Si	Rad na visokim temperaturama
HASTELLOY	NiMoCrFe	B, D, F, G, N, R-235,W	46-82 % Ni 5-28 % Mo 1-32 % Cr 5-20 % Fe	Korozijaska otpornost
		C, C-276, X		Rad na visokim temperaturama

2.9.1 Inconel legure

U Tablici 2.32 je vidljivo da jednu grupu čine legure tipa Ni-Cr, serije 600 (legure očvrsnute legiranjem) i 700 (legure očvrsnute precipitacijski). Ove legure su poznate pod zajedničkim nazivom INCONEL legure.

U Tablici 2.33 je dan pregled većine upotrebljavanih INCONEL legura s orijentacijskim kemijskim sastavima, mehaničkim svojstvima, općim karakteristikama, područjem primjene i oznakama važećih standarda. Od svih INCONEL legura najviše se primjenjuju: INCONEL 600, INCONEL 625, INCONEL 718, INCONEL X-750. Pored legura navedenih u Tablici XI još se primjenjuju: INCONEL 606, INCONEL 671, INCONEL 700, INCONEL 702, INCONEL 706, INCONEL 721 i INCONEL 722 [10].

2.9.2 Inconel 600

Izraziti predstavnik i najviše upotrebljavana legura s visokim sadržajem nikla je INCONEL 600. U odnosu na ostale legure INCONEL 600 je klasificiran dvostruko, kao korozijski otporan i kao toplinski otporan. Upotrebljava se u različitim oblicima od limova, cijevi, otkivaka, odljevaka, traka, folija, pa sve do žica. INCONEL 600 je 1931. razvio Paul D. Merica u The International Nickel Company (SAP). Do 1950-te godine upotrebljavan je u kemijskoj industriji i termotehnici, da bi od tada postao standardni materijal u nuklearnoj tehnici [10].

Područje primjene INCONELA 600 se kreće od -196°C do 1200°C i u uvjetima gdje se zahtjeva visoka čvrstoća. Otporan je na oksidaciju i naugljičenje na visokim temperaturama zbog čega se upotrebljava za dijelove industrijskih peći i opreme za toplinsku obradu. Koristi se u postrojenjima za nitriranje, u morskoj i slanoj vodi, za prijenos lužine, u sumpornim atmosferama do 600°C , u kontaktu sa mnogim anorganskim kiselinama, u pari do 815°C , itd.

Zbog korozijske otpornosti na pukotine pod naprezanjem u prisustvu klorid-iona, te otpornosti na primarnu i sekundarnu vodu upotrebljava se kao standardni materijal u nuklearnoj tehnici [10].

Fizikalna svojstva INCONELA 600 u odnosu na austenitni Cr-Ni korozijski postojani čelik tipa 18/10 i nisko-ugljični čelik, predložena su u Tablici 2.34.

Tablica 2.34 Usporedba fizikalnih svojstava INCONELA 600, austenitnog Cr-Ni korozijski postojanog čelika tipa 18/10 i niskougljičnog čelika [11]

Svojstva	Oznaka	Jedinica	M A T E R I J A L					
			INCONEL 600		Austenitni čelik, 18/10		Niskougljični čelik (0,2%C)	
Gustoća	ρ	kgm^{-3}	8,42		7,88		7,85	
Područje taljenja	v	$^{\circ}\text{C}$	1370-1425		1399-1445		cea 1520	
Koeficijent toplinskog istezanja	α	10^6 K^{-1}	20 do 95 $^{\circ}\text{C}$	20 do 650 $^{\circ}\text{C}$	0 do 100 $^{\circ}\text{C}$	0 do 500 $^{\circ}\text{C}$	0 do 100 $^{\circ}\text{C}$	0 do 500 $^{\circ}\text{C}$
			13,3	15,5	16,0	18,0	12,0	14,1
Koeficijent toplinske vodljivosti	λ	$\text{Wm}^{-1} \text{ K}^{-1}$	14,86		20		50	
Specifični toplinski kapacitet	c	$\text{KJkg}^{-1} \text{ K}^{-1}$	0,461		0,502		0,460	
Magnetičnost			Nemagnetičan		Nemagnetičan		Magnetičan	

Iz Tablice 2.34 je vidljivo da su koeficijenti toplinskog istezanja INCONELA 600 i niskougljičnog čelika približno jednaki, dok austenitni Cr-Ni korozijski postojan čelik ima veći koeficijent za 20-30 % od nisko-ugljičnog čelika. Dok je specifični toplinski kapacitet kod sva tri materijala približne vrijednosti, koeficijent toplinske vodljivosti austenitnog čelika je 1/4, a ugljičnog čelika čak 3.5 puta veći, što ima za posljedicu veći toplinski gradijent, odnosno veća naprezanja.

2.10 PRIPREMA ZA ZAVARIVANJE

2.10.1 Priprema rubova za zavarivanje

Čišćenje rubova limova za zavarivanje obavlja se turpijom, brusnim papirom i acetonom. Ukoliko je na rubovima limova prisutan povećani srh (od rezanja na škarama), prvo grubo uklanjanje srha vrši se turpijom od nehrđajućeg materijala. Ostatak srha treba skinuti finim brusnim papirom. Posljednja faza čišćenja je pranje rubova acetonom pomoću natopljene meke krpe koja ne ostavlja dlačice (šifon). Nakon postavljanja u stroj vrši se ispuhivanje komprimiranim zrakom. Vrlo je važno da čišćenje bude neposredno prije zavarivanja. Ukoliko očišćeni lim stoji duže vrijeme na očišćenoj površini dolazi do ponovnog stvaranja oksida i nakupljanja nečistoća iz zraka što uzrokuje pojavu grešaka u zavaru [12].

2.10.2 Priprema stroja za zavarivanje

Radi postizanja kvalitetnih zavara bitno je držati stroj uvijek čistim. Ovo se posebno odnosi na letve za zavarivanje. Ukoliko se na letvama pojavi mehaničko oštećenje od električnog luka potrebno ga je ukloniti brušenjem finim brusnim papirom, te očistiti acetonom [12].

2.10.3 Prostor za zavarivanje

Prostor u kojem se obavlja zavarivanje treba da bude bez promaje, odnosno bez strujanja zraka. Ukoliko je u prostoru prisutna prašina (od REL zavarivanja, plinskog rezanja...) preporučuje se rad u drugoj smjeni [12].

2.10.4 Postavljanje rastojanja među limovima

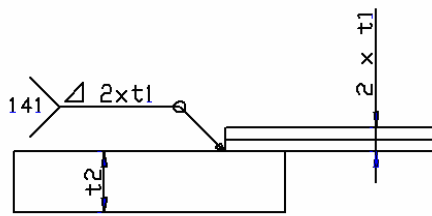
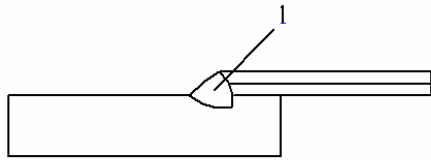
Razmak na početku je nula, a na kraju limova razmak je jednak debljini lima koji se zavaruje. Navedeno pravilo je približno, a stvarna vrijednost utvrđuje operater na stroju zajedno sa kontrolorom.

U slučaju da se ne postavi dovoljno veliki razmak prilikom zavarivanja može doći do nasjedanja ruba na rub što rezultira nedozvoljenim zadebljanjem zavara. Ova pojava je naročito izražena kod tanjih (do 0,6 mm) limova. Prevelik razmak ima za posljedicu veliko stanjenje zavara, u odnosu na debljinu osnovnog materijala, ili čak može dovesti do propaljivanja [12].

2.11 TEHNOLOŠKI POSTUPCI ZAVARIVANJA ZAVARIVANJE

Tablica 2.35 TIG postupak

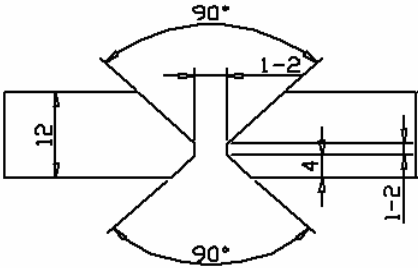
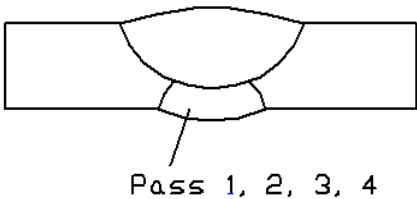
		SPECIFIKACIJA POSTUPKA ZAVARIVANJA (SPZ) EN 288-3 / 1992 ; EN 287-1 / 1992		SPZ br. TR 10/05 EN	
Atest postupka broj		Osnovni materijal			
Postupak zavarivanja	TIG postupak	Oznaka	Grupa	Debljina (mm)	Promjer (mm)
Položaj zavarivanja	Horizontalan (PB)	EN 10088 x6CrNiMoTi 17-12-2	9	12 mm	--
Vrsta spoja	Kutni spoj	EN 10088 x6CrNiMoTi 17-12-2	9	2 x 0,7 mm	--

Oblik spoja		Redosljed zavarivanja	
			

Parametri zavarivanja									
Prolaz br.	Postupak	Promjer DM (mm)	Jakost struje (A)	Napon (V)	Vrsta/polaritet	Protok plina (l/min)	Brzina zavarivanja (cm/min)	Brzina žice (m/min)	Unos topline (KJ/cm)
1.	141	2	130 - 150	12 - 15	(-) pol	8 - 10	--	--	--
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

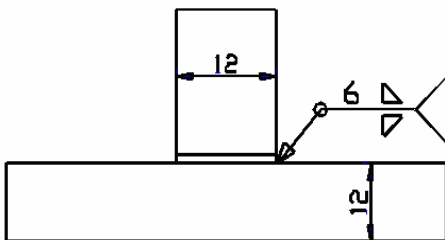
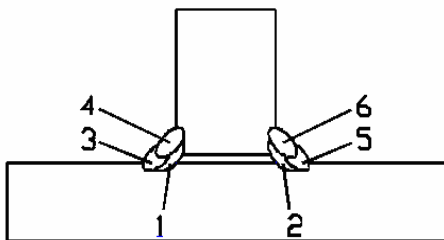
Dodatni materijal		Toplinska obrada poslije zavarivanja		--			
Naziv i proizvođač		INERTFIL 25 20 Oerlikon		Temperatura predgrijavanja		--	
Klasifikacija		DIN 8556: SG x12CrNi 25 20 AWS A-5.9: E 310		Međuslojna temperatura		--	
Tip obloge		--		Max. širina – njihanje		--	
Sastav praha		--		Početno i međuslojno čišćenje		Brušenje + Aceton	
Promjer i vrsta W-elektrode		3,2 mm (1% Th)		Ostalo			
Zaštitni plin/Zaštita korjena		Argon Ar (99,996%)					

Tablica 2.36 TIG + REL postupak

		SPECIFIKACIJA POSTUPKA ZAVARIVANJA (SPZ) EN 288-3 / 1992 ; EN 287-1 / 1992		SPZ br. R 10/05 EN					
Atest postupka broj		Osnovni materijal							
Postupak zavarivanja		Oznaka	Grupa	Debljina (mm)	Promjer (mm)				
Položaj zavarivanja		EN 10088 x6CrNiMoTi 17-12-2	9	12	---				
Vrsta spoja		Sučeonni spoj	---	---	---				
Oblik spoja 		Redosljed zavarivanja 							
Prolaz br. 5 nakon žljebljenja									
Parametri zavarivanja									
Prolaz br.	Postupak	Promjer DM (mm)	Jakost struje (A)	Napon (V)	Vrsta/polaritet	Protok plina (l/min)	Brzinazavarivanja (cm/min)	Brzina žice (m/min)	Unos topline (KJ/cm)
1	141	2	140 – 160	12 – 16	(-) pol	8 – 10	---	---	---
2	141	2	140 – 160	12 – 16	(-) pol	8 – 10	---	---	---
3	141	2	140 – 160	12 – 16	(-) pol	8 – 10	---	---	---
4	141	2	140 – 160	12 – 16	(-) pol	8 – 10	---	---	---
5	111	3,25	100 – 120	---	(+) pol	---	---	---	---
6	111	4	140 – 160	---	(+) pol	---	---	---	---
7	111	4	140 – 160	---	(+) pol	---	---	---	---
8	111	4	140 – 160	---	(+) pol	---	---	---	---
Dodatni materijal				Toplinska obrada poslije zavarivanja		--			
Naziv i proizvođač		SUPRANOX 316L Oerlikon		Temperatura predgrijavanja		--			
Klasifikacija		DIN EN 1600: E 19 12 3 LR 12 AWS A-5.4: E 316 L-16		Međuslojna temperatura		max. 175 °C			
Tip obloge		rutilni		Max. širina – njihanje		Max. 4 x promjera elektrode			
Sastav praha		--		Početno i međuslojno čišćenje		Četkanje, brušenje			
Promjer i vrsta W-elektrode		3,2 mm (1% Th)		Ostalo Žljebljenje korjena: brušenje					
Zaštitni plin/Zaštita korijena		Argon Ar (99,996%)							

Tablica 2.37 MAG postupak

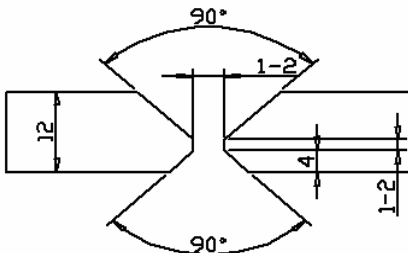
		SPECIFIKACIJA POSTUPKA ZAVARIVANJA (SPZ) EN 288-3 / 1992 ; EN 287-1 / 1992			SPZ br. MAG 10/05 EN	
Atest postupka broj		Osnovni materijal				
Postupak zavarivanja	MAG postupak	Oznaka	Grupa	Debljina (mm)	Promjer (mm)	
Položaj zavarivanja	Horizontalan PB	EN 10088 x6CrNiMoTi 17-12-2	9	12 mm	---	
Vrsta spoja	Kutni spoj	EN 10088 x6CrNiMoTi 17-12-2	9	12 mm	---	

Oblik spoja		Redoslijed zavarivanja	
			

Parametri zavarivanja									
Prolaz br.	Postupak	Promjer DM (mm)	Jakost struje (A)	Napon (V)	Vrsta/polaritet	Protok plina (l/min)	Brzina zavarivanja (cm/min)	Brzina žice (m/min)	Unos topline (KJ/cm)
1. – 2.	136	1,2	180 – 210	26 – 30	(+) pol	10 - 12	---	7 – 9	---
3. – 6.	136	1,2	180 – 210	26 - 30	(+) pol	10 - 12	---	7 – 9	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Dodatni materijal		Toplinska obrada poslije zavarivanja		--			
Naziv i proizvođač		FLUXINOX 316L Oerlikon		Temperatura predgrijavanja		--	
Klasifikacija		EN 12073: T 19 12 3 LRM2 AWS A-5.22: E 316 LT-1		Međuslojna temperatura		Max. 175 °C	
Tip obloge		---		Max. širina – njihanje		---	
Sastav praha		rutilni		Početno i međuslojno čišćenje		Četkanje, brušenje	
Promjer i vrsta W-elektrode		---		Ostalo			
Zaštitni plin/Zaštita korijena		Ar/CO2 (82/18)					

Tablica 2.38 TIG + EPP postupak

		SPECIFIKACIJA POSTUPKA ZAVARIVANJA (SPZ) EN 288-3 / 1992 ; EN 287-1 / 1992			SPZ br. EPP 10/05 EN				
Atest postupka broj						Osnovni materijal			
Postupak zavarivanja		TIG postupak + EPP postupak		Oznaka	Grupa	Debljina (mm)	Promjer (mm)		
Položaj zavarivanja		Horizontalan PA		EN 10088 x6CrNiMoTi 17-12-2	9	12	---		
Vrsta spoja		Sučeoni spoj		---	---	---	---		
Dužik spoja 				Redosljed zavarivanja  Pass 1, 2, 3, 4					
Prolaz br. 5 nakon žljebljenja									
Parametri zavarivanja									
Prolaz br.	Postupak	Promjer DM (mm)	Jakost struje (A)	Napon (V)	Vrsta/polaritet	Protok plina(l/min)	Brzinazavarivanja(cm/min)	Brzina žice (m/min)	Unos topline (KJ/cm)
1	141	2	140 - 160	12 - 16	(-) pol	8 - 10	---	---	---
2	141	2	140 - 160	12 - 16	(-) pol	8 - 10		---	---
3	141	2	140 - 160	12 - 16	(-) pol	8 - 10		---	---
4	141	2	140 - 160	12 - 16	(-) pol	8 - 10	---	---	---
5	141	2	140 - 160	12 - 16	(-) pol	8 - 10	---	---	---
6	121	2,4	250 – 280	30 – 32	(+) pol	---	16 – 20	---	---
7	121	2,4	250 – 280	30 – 32	(+) pol	---	20 – 24	---	---
8	121	2,4	250 – 280	30 – 32	(+) pol	---	22 – 26	---	---
Dodatni materijal					Toplinska obrada poslije zavarivanja		--		
Naziv i proizvođač		INERTFIL 25 20 Oerlikon OE 24 12 nC Oerlikon Flux BB 202 BOHLER			Temperatura predgrijavanja		--		
Klasifikacija		DIN 8556: UP X2CrNi 24 12			Međuslojna temperatura		max. 175 °C		
Tip obloge		--			Max. širina – njihanje		---		
Sastav praha		osnovni			Početno i međuslojno čišćenje		Četkanje, brušenje		
Promjer i vrsta W-elektrode		3,2 mm (1% Th)			Ostalo Žljebljenje korjena: brušenje				
Zaštitni plin/Zaštita korjena		Argon Ar (99,996%)							

2.12 POMOĆNE NAPRAVE ZA ZAVARIVANJE

U mehanizaciji proizvodnje zavarivanja posljednjih je godina izvršen veliki napredak. Međutim, još uvijek postoji veliki broj zavarivačkih radova koji su zbog neprikladnog oblika i dimenzija ili tehnološke nelogičnosti konstrukcije ne mogu automatski zavariti. Stoga mnogi pogoni i nadalje ovise o dobro izobraženim zavarivačima.

Zavarivanje u prisilnom (nepodesnom) položaju zahtjeva velike fizičke napore zavarivača, što značajno smanjuje produktivnost rada. Stoga se teži da se nađe najpovoljniji položaj za zavarivanje. Taj položaj je tzv. "položeni položaj", a to je položaj u kojem rastaljeni materijal nema mogućnosti otjecanja, kao npr. u zavaru nad glavom.

Dovođenje predmeta u položaj zavarivanja izvodi se napravama, dok se upotreba dizalice ograničava samo za namještanje, pritezanje i otpuštanje predmeta.

Vrste naprava koje se primjenjuju u Tvornici kompenzatora su:

1. Okretne naprave (okretaljke) na kojima se predmet okreće oko jedne osi,
2. Okretno-nagibni stolovi za zavarivanje,
3. Nosači glava ili automata za zavarivanje,
4. Razni podesti (platforme) koji omogućavaju zavarivačima ugodniji rad prilikom zavarivanja,
5. Stezne naprave pomoću kojih se predmeti stežu i drže zajedno u određenoj poziciji radi pripajanja (heftanja) ili zavarivanja.

Tvornica kompenzatora posjeduje:

1. automate za TIG zavarivanje:
 - a) za zavarivanje podužnih zavora na tankostijenim materijalima (do 3 mm debljine)
 - b) za zavarivanje priključnih zavora harmonike na cijevne nastavke (predmet rotira),
2. automate za elektrootporno šavno zavarivanje,
3. automat za EPP zavarivanje.

3. NAJČEŠĆE GREŠKE U ZAVARENIM SPOJEVIMA TIJEKOM IZRADE KOMPENZATORA, TE MJERE ZA SPREČAVANJE NASTAJANJA GREŠAKA

Greške u zavarenim spojevima izvedenim taljenjem, prema EN 288-3: 1992, svrstane su u ove skupine:

1. Pukotine:

- mikropukotina,
- uzdužna pukotina (u materijalu zavara, na granici rastapanja, u zoni utjecaja topline, u osnovnom materijalu),
- poprečna pukotina (u materijalu zavara, u zoni utjecaja topline, u osnovnom materijalu),
- zrakaste pukotine (u materijalu zavara, u zoni utjecaja topline, u osnovnom materijalu),
- pukotina u krateru (uzdužna, poprečna, zvjezdasta),
- skupina odvojenih pukotina (u materijalu zavara, u zoni utjecaja topline, u osnovnom materijalu),
- razgranate pukotine (u materijalu zavara, u zoni utjecaja topline, u osnovnom materijalu).

2. Uključci plina, šupljine:

- plinski mjehuri,
- plinski mjehuri jednoliko raspoređeni,
- gnijezdo plinskih mjehura,
- plinski mjehuri u nizu,
- izduženi plinski mjehuri,
- površinski plinski mjehuri,
- šupljina zbog stezanja,
- mikrošupljina zbog stezanja.

3. Uključci u krutom stanju:

- uključak troske (u liniji, izoliran),
- uključak praška (u liniji, izoliran),
- uključak oksida,
- pjena oksida,

- metalni uključak.

4. Naljepljivanje i nedostatak provara:

- naljepljivanje (bočno naljepljivanje na stranicama žlijeba, naljepljivanje između slojeva, naljepljivanje u korjenu zavora),
- nedostatak provara.

5. Pogreške oblika:

- nedostatak sličnosti geometrijskog oblika vanjske površine u odnosu na pravilan profil,
- zajedni,
- brazde u korjenu,
- preveliko nadvišenje,
- prevelika ispupčenost,
- prevelik provar,
- prokapljina,
- pogreška prijelaza,
 - preljevanje,
 - smaknuće,
 - odstupanje od pravca,
 - utonuće,
 - rupa,
 - nedovoljna debljina,
 - pogreška simetričnosti kutnog zavora,
 - neravnomjerno lice zavora,
 - šupljine uslijed stezanja u korjenu,
 - rohavost,
 - loš nastavak zavora.

6. Ostale pogreške:

- trag uspostavljanja električnog luka,
- prskanje,
- mjestimično čupanje (raslojavanje) metala,
- pretjerano brušenje.

3.1 GREŠKE KOD AUTOMATA ZA TIG ZAVARIVANJE

Na automatima za TIG zavarivanje zavaruju se najčešće tanki (do 3 mm) korozijski postojan ASME SA i SB čelici. Zavarivanje se izvodi u zaštiti argona bez dodatnog materijala. Najčešće pogreške u zavarenim spojevima koji su ostvareni na ovim automatima su:

- uključci plina,
- nedostatak provara,
- zajedi,
- centralno stanjenje,
- preveliko nadvišenje.

Uzroci nastajanja uključaka plina su: - nečistoće na mjestu zavarivanja (vlaga, masnoća, razni premazi, oksidi na površini, itd.),

- slaba zaštita kupke zavara,
- neodgovarajući parametri i uvjeti zavarivanja.

Uzroci nastajanja nedostatka provara su:

- nedovoljno unošenje energije (neodgovarajući parametri zavarivanja),
- neodgovarajuća priprema za zavarivanje.

Zajedi, centralno stanjenje i preveliko nadvišenje pojavljuju se uslijed:

- neodgovarajući parametri zavarivanja (struja, brzina zavarivanja, itd.),
- neodgovarajuća tehnika rada.

Pogreške zavarenih spojeva izvedenih na automatima za TIG zavarivanje eventualno se mogu otkloniti zavarivanjem još jednog prolaza. U pravilu, ako su zavari izvedeni na cijevima manjeg promjera (do 300 mm) te cijevi predstavljaju škart. Na cijevima većeg promjera zavari se isjecaju. Vršiti se navarivanje kako bi se osigurala razvijena dužina cijevi (promjer).

3.2 GREŠKE KOD REL I EPP POSTUPKA

Ovi postupci se koriste za zavarivanje ugljičnih čelika, rijede za zavarivanje austenitnih Cr-Ni korozijski postojanih čelika. Najčešće područje debljina za koje se koriste je 4-70 mm.

Najčešće pogreške u zavarenim spojevima koji su izvedeni ovim postupcima su:

- pukotine,
- uključci u krutom stanju (troska, prašak),

- nedostatak provara,
- naljepljivanje.

Uzroci nastajanja uključaka u čvrstom stanju su:

- nepravilno vođenje električnog luka,
- mala jačina struje zavarivanja,
- nedovoljno čišćenje prethodnih prolaza pri višeslojnom zavarivanju,
- loša priprema (mali kut skošenja ivice).

Jedan od uzroka nastajanja pukotina je vodik u rastaljenom metalu zavara. To nameće potrebu sušenja elektroda prije zavarivanja. Također prilikom zavarivanja potrebno je elektrode držati u zaštitnom tobovcu.

3.3 MODEL BAZE PODATAKA ZA AKVIZICIJU IZVJEŠTAJA KONTROLE BEZ RAZARANJA

3.3.1 Uvod

Radiografija se temelji na interakciji ionizirajućeg zračenja i materijala predmeta koji se prozračuje, s jedne i na interakciji propuštenog zračenja i rendgenskog filma, s druge strane. Propušteno zračenje sadrži informaciju o homogenosti prozračenog materijala koja se registrira na rendgenskom filmu. Informacija o homogenosti prozračenog materijala sadržana je u površinskoj raspodjeli gustoće zračenja ozračenog i obrađenog filma (radiograma).

Osnovni cilj u radiografiji je otkrivanje unutarnjih grešaka, što se postiže, prije svega, izradom kvalitetnog radiograma. Ostvarenje ovog cilja ovisi od niza parametara povezanih sa karakteristikama izvora ionizirajućeg zračenja, predmeta kontrole i radiografskog filma i njegove obrade, koji neposredno određuju osjetljivost primjene radiografske metode [13].

3.3.2 Radiografska metoda

Koristi se za otkrivanje grešaka u zavarenom spoju. Ona spada u metode bez razaranja. Prednost ove metode je što nema razaranja zavarenog spoja, a može se koristiti i u toku eksploatacije. Nakon snimanja ostaje radiogram (dokument) gdje se u svakom trenutku može utvrditi početno stanje zavara, tj. da li je greška nastupila nakon određenog vremena eksploatacije.

Princip ispitivanja se zasniva na promjeni intenziteta ionizirajućeg zračenja kroz materijal. Rezultat tih promjena su promjene u zacrnjenju radiograma. U slučaju postojanja grešaka u

zavarenom spoju na radiogramu će se javiti razlika zacrnjenja [13].

3.3.3 Oprema za provođenje ispitivanja

1. Izvor zračenja (rendgen ili zatvoreni izvor zračenja – izotop)
2. Radiografski film
3. Oznake (olovni brojevi i slova)
4. IKS (indikator kvalitete radiograma), žičani ili s provrtima
5. Kemikalije za kemijsku obradu filma (razvijatelj, fiksir, vodene kupke), za automatsku ili ručnu obradu
6. Iluminator za interpretaciju radiograma
7. Radiografski izvještaj o ispitivanju (standardi koji se koriste: EN 462-1 i EN 473)

3.3.4 Radiografsko ispitivanje harmonika

Nakon tehnoloških operacija rezanje na škarama, te savijanja na valjcima vrši se podužno zavarivanje cijevi za izradu harmonika za kompenzator. Nakon centriranja zavareni spojevi na cijevima se ispituju u obimu koji zahtjeva tehnološka dokumentacija (10% ili 100% od ukupne dužine zavarenih spojeva).

Kod zavarivanja potrebno je pridržavati se parametara određenih WPS-om (welding procedure specification). Kvalitet zavarenih spojeva mora zadovoljavati kriterije prihvatljivosti EN 12517 KLASA "B" LAVEL 1, te zahtjeve ispitivanja u skladu sa EN 1435, a karakteristike zavarivanja moraju zadovoljavati zahtjeve EN 25817.

Radiogrami moraju imati određene oznake da bi se mogla odrediti pripadnost određenom zavaru. Parametri ispitivanja moraju zadovoljavati prije spomenute standarde.

Pri interpretaciji radiograma također je potrebno, s obzirom na male debljine i specifičnost zavarivanja primijeniti kriterije za male debljine koje propisuje interni tvornički standard RI 202-E (izrađen na osnovu iskustva i određenih ispitivanja i mjerenja).

1. Dozvoljeno centralno stanjenje zavarivanja maksimalno 10%, a nadvišenje 20%
2. Poroznost nepravilnih i oštih oblika nije dozvoljena
3. Pukotine, preklopi, nepotpuna penetracija (ne provaren korijen), ugorine i oksidacija nije dozvoljeno
4. Dozvoljena veličina plinskih uključaka ukoliko su rijetki i zaobljeni maksimalno 10% debljine osnovnog materijala

Ukoliko kod interpretacije radiograma dođe do uočavanja grešaka na radiogramu koje prelaze dozvoljene veličine prema gore navedenim standardima, takav zavar je neuporabljiv te se pristupa izradi nove cijevi za kompenzator.

Nakon specifikacije, a ukoliko zavareni spojevi zadovoljavaju kriterije gore navedenih standarda pristupa se izradi izvještaja o radiografskom ispitivanju (prilog III).

3.3.5 Radiografsko ispitivanje cijevnih nastavaka

Postupak je u velikom dijelu identičan kao i kod radiografskog ispitivanja harmonika s tim što je osnovni kriterij za interpretaciju radiograma standard EN 25817 i EN 12517. Svi ostali parametri moraju zadovoljavati zahtjeve iz EN 1435.

Izvještaj mora sadržavati sve potrebne podatke kao i kod ispitivanja harmonika.

3.3.6 Radiografski izvještaj

Radiografski izvještaj se sastoji od:

1. Naziva izvođača koji vrši ispitivanje (naziv firme)
2. Podataka o objektu (oznaka, materijal, crtež, debljina materijala, izgled zavora, postupak zavarivanja)
3. Podataka o ispitivanju (vrijeme ispitivanja, klasa ispitivanja, tehnika ispitivanja i broj ekspozicija, broj filmova prema ekspoziciji, upotreba IKS-a, vrsta filma, debljina folije, radiografske ekspozicije, procesa kemijske obrade filma, zahtjevano zacrtnjenje filma, ime osobe s odgovarajućim certifikatom za izvođenje ispitivanja, vrijeme ispitivanja).

Primjer radiografskog izvještaja harmonike AB 4,5/2100/32/0 dan je u prilogu III kao i primjeri ne dozvoljenih grešaka na zavarenim spojevima harmonika.

3.3.7 Primjeri grešaka u zavarenim spojevima [14].

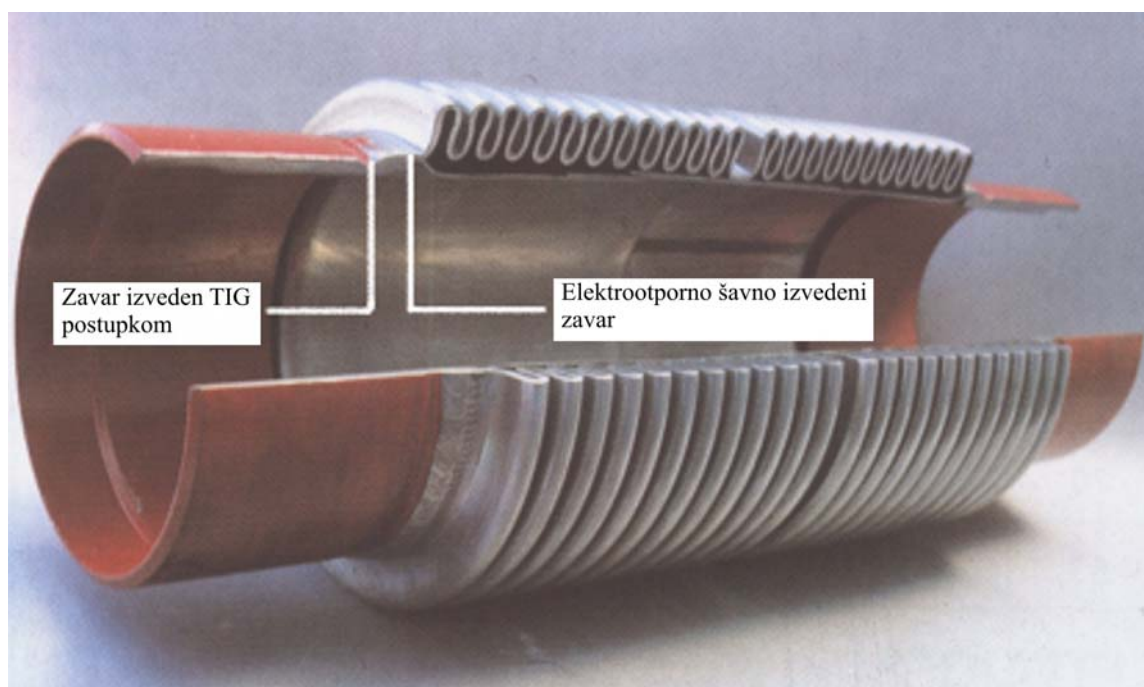
1. smaknuće ili demivelacija
2. smaknuće sa nedostatkom provara
3. nedovoljna debljina
4. prevelik provar
5. zajedi
6. brazda u korijenu
7. nedostatak provara (blago neprovaren korijen)
8. šupljine usljed skupljanja u korjenu
9. nedostatak provara (oštro neprovaren korijen)
10. pojedinačni uključci troske
11. nedostatak taljenja
12. mjestimično naljepljivanje
13. pojedinačni plinski mjehuri
14. gnjezdo plinskih mjehura
15. izduženi plinski mjehuri
16. poprečne pukotine
17. uzdužne pukotine
18. uzdužne pukotine u korjenu
19. uključci volframa

Slike navedenih grešaka nalaze se u prilogu IV.

4. EKSPERIMENTALNI DIO

4.1 PRIMJENA ELEKTROOTPORNOG ŠAVNOGA ZAVARIVANJA U IZRADI KOMPENZATORA

Za većinu primjena tankostijenih kompenzatora uspješno se koristi se austenitni korozijski postojani čelici Cr Ni 18 10 (DIN W.Nr. 1.4541 i DIN W.Nr. 1.4571). Elektrootporno šavno ili kolutno zavarivanje se koristi za izvođenje kružnih zavarenih spojeva jednoslojne ili višeslojne harmonike na odgovarajući cijevni nastavak ili tzv. rukavac za usmjeravanje medija. Na slici 4.1 se daje prikaz aksijalnog kompenzatora u presjeku, gdje se može uočiti elektrootporno šavno zavareni spoj harmonike na unutrašnji cilindrični dio za usmjeravanje medija, te nakon toga elektrolučno zavareni spoj sa prirubnicom.



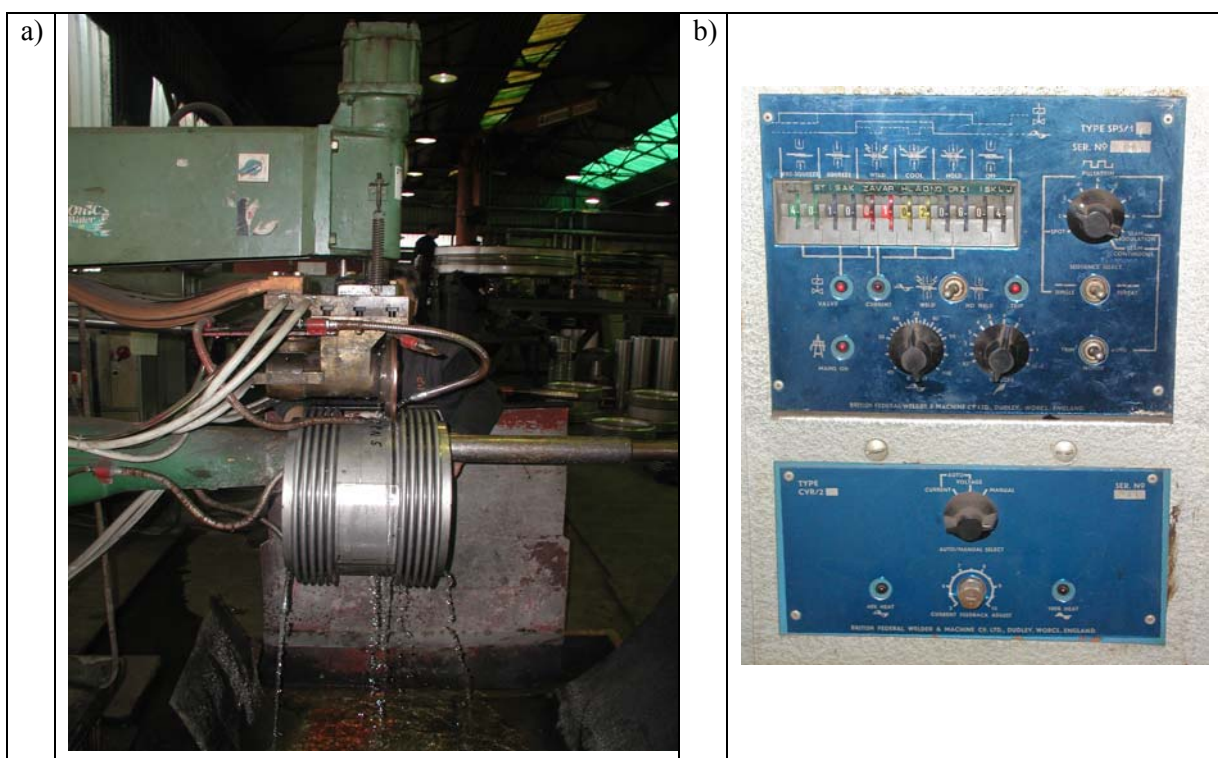
Slika 4.1 Aksijalni jednostruki kompenzator [1].

4.1.1 Opis elektrootpornog šavnog uređaja za zavarivanje

Uređaj za elektrootporno šavno zavarivanje koji se uspješno koristi u izradi kompenzatora je prikazan u radu na slici 4.2, a ima sljedeće karakteristike: [12]

- Snaga stroja pri intermitenciji od 50 % 125 KVA
- Max. snaga stroja 197,6 KVA max.
- Max. Jakost struje 24,5 KA max.

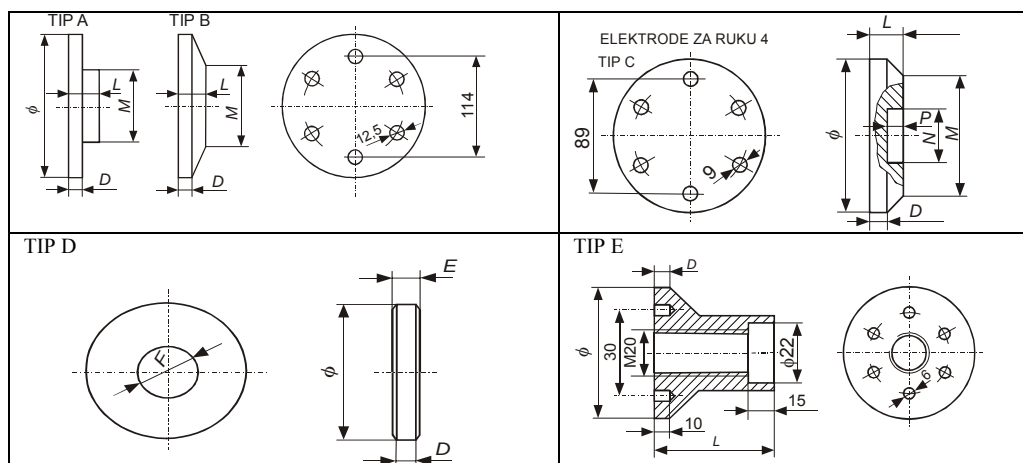
- Podr. regulacije jakosti struje	9800 – 24500 A
- Broj okretaja pogonske elektrode	Min. 0,25 ok/min
	Max. 0,8 ok/min
- Minimalni promjer izratka	40 mm
- Maksimalni promjer izratka	900 mm «na dole»
	3500 mm «na gore»
- Područje debljine lima	2 x 0,26 mm – 4 x 1,22 mm
- Područje tlaka	2 – 6 bara
- Sila između elektroda	Fel = 2400 – 7500 N
- Impuls grijanja	0 – 99 per.
- Impuls hlađenja	0 – 99 per.
	(1 period = 1/50 s = 0,02 s)



Slika 4.2 Detalj elektrootpornog šavnog zavarivanja dvije višeslojne harmonike sa cilindričnim međukomadom (a), te postavljeni parametri zavarivanja prikazani na komandnom displeju (b).

Na kvalitetu zavarenih spojeva kod elektrootpornog šavnog zavarivanja značajan utjecaj ima oblik i kvaliteta elektroda. Sve elektrode koje se koriste u pogonu su izrađene iz berilijeve bronce (CuCoBe) ili cirkonijeve bronce (CuCoZr). Ovi materijali su postojani na visokim temperaturama i otporni na trošenje što je neophodno, budući da se u procesu elektrootpornog zavarivanja javljaju dva spomenuta faktora.

S obzirom na tehnološke zahtjeve u proizvodnji se koristi nekoliko tipova elektroda. Dimenzije i oblik elektroda su prikazane na slici 4.3, a pripadajuće dimenzije elektroda su navedeni u tablici 4.1.



Slika 4.3 Tipovi elektroda uz uređaj za elektrootporno šavno zavarivanje prikazan na sl.4. 2 [12]

Tablica 4.1 Dimenzije različitih tipova elektroda prikazanih na slici 4.3 [12]

Tip elektrode	Ø	D	L	M	N	P	E	F
A 1	240	5	20	Ø 90				
A 2	180	5	20	Ø 42				
A 3	189	5	20	Ø 41				
A 4	177	5	20	Ø 42				
A 5	179	5	20	Ø 150				
A 6	183	5	20	Ø 150				
A 7	182	5	20	Ø 144				
A 8	202	5	20	Ø 145				
A 9	153	8	20	Ø 140				
A 10	248	5	20	Ø 190				
B 1	225	8	20	Ø 160				
B 2	225	6,5	20	Ø 205				
B 3	172	8	20	Ø 152				
B 4	200	6,5	25	Ø 169				
C 1	137	8	20	120	Ø 50	7		
C 2	129	8	12	-	Ø 50	7		
C 3	137	8	12	-	Ø 50	7		
C 4	237	8	20	213	Ø 50	7		
C 5	137	8	20	110	Ø 50	7		
D 1	197	8					20	Ø 20
D 2	116	7					16	Ø 20
D 3	95	6,5					13	Ø 20
D 4	48	6,5					10	Ø 20
D 5	50	6,5					17	Ø 20
D 6	43	6,5					15	Ø 20
D 7	43	6,5					13	Ø 20
D 8	38	6,5					13	Ø 20
D 9	37	6,5					15	Ø 20
D 10	36	6,5					12	Ø 20
D 11	38	6,5					15	Ø 20
D 12	36	6,5					14	Ø 20
D 13	37	5					10	Ø 20
D 14	65	6,5					15	Ø 20
E 1	40	6	30					
E 2	50	6,5	30					
E 3	60	6,5	30					

Tip elektrode A se koristi za zavarivanje srednjih rukavica i UD kompenzatora dok se tip elektrode B koristi za zavarivanje «manžetni». [12]

4.1.2 Postupak zavarivanja

Prije pristupanja zavarivanja određene serije proizvoda potrebno je pripremiti stroj za zavarivanje, a to u prvom koraku znači odabrati i postaviti odgovarajuću ruku i tip elektrode. Ruku je potrebno odabrati prema nacrtu kompenzatora birajući najjaču ruku koja se može promijeniti za zahtjevni kompenzator. Promjer elektrode odabire se prema promjeru kompenzatora, približno se rukovodeći sljedećom tablicom:

Tablica 4.2 Izbor preporučljivog promjera gornje i donje elektrode s obzirom na promjer harmonike kompenzatora koji se zavaruje na elektrootpornom šavnom uređaju za zavarivanje. [12]

Promjer harmonike	Preporučljivi promjeri gornje elektrode	Preporučljivi promjeri donje elektrode
150	232 - 250	Promjer harmonike minus 25 mm
150 – 230	220 – 235	115 – 130
230 – 300	210 – 230	130 – 200
300 – 460	200 – 215	130 – 200
460 – 750	190 – 205	150 – 250
750 – 1200	180 – 195	165 – 250
1200	180 - 195	180 - 320

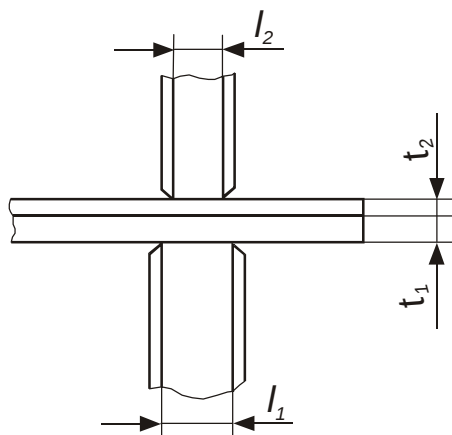
Ukoliko na crtežu nije drugačije propisano potrebno je načelno držati se podataka danih u tablici 4.3, gdje se širina elektrode odabire prema debljini materijala koji je u neposrednom kontaktu sa elektrodom u toku procesa zavarivanja.

Tablica 4.3 Izbor širine elektrode i minimalnog prijeklopa kod elektrootpornog šavnog zavarivanja. [12]

Debljina materijala	Širina elektrode	Minimalni prijeklop
0,13 – 0,26	4,0	5,5
0,27 – 0,91	4,8	6,3
0,92 – 1,5	5,5	7,0
1,5	6,5	9,0

Prilikom zavarivanja limova različite debljine, elektroda se izabire prema debljini lima sa kojima će elektroda biti u kontaktu, a da bi se postigla odgovarajuća toplinska ravnoteža

(slika 4.4).

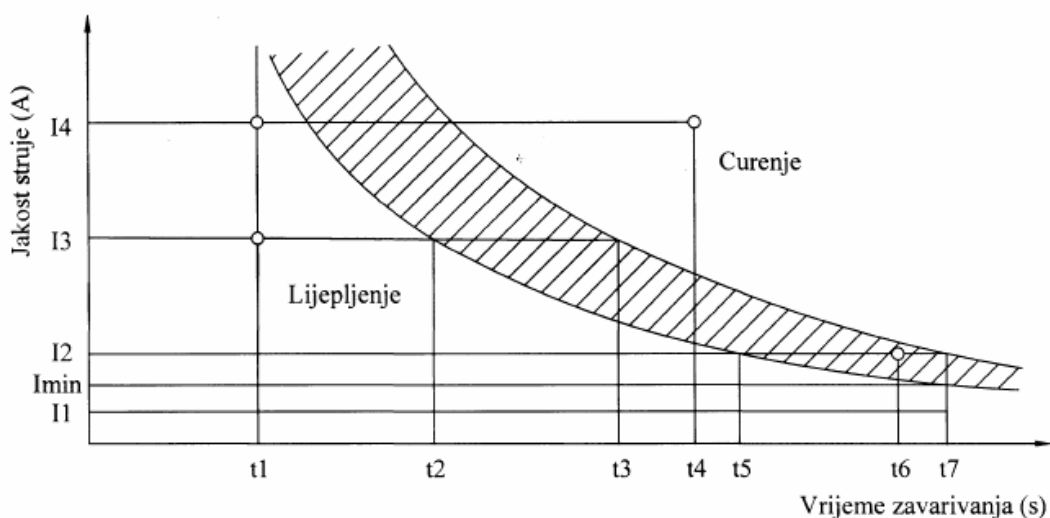


Slika 4.4 Shematski prikaz elektrootpornog šavnog zavarivanja limova različite debljine.

Prilikom zavarivanja više limova potrebno je povećati minimalni prijeklop za 30 %.

Sljedeći korak u provedbi postupka zavarivanja predviđa izbor i podešavanje parametara zavarivanja na stroju. Parametri zavarivanja su:

- o PRITISAK (sila) ZAVARIVANJA: - mora biti dovoljno velik da bi osigurao homogenost točaka prilikom zavarivanja, tj. da bi se izbjeglo stvaranje pukotina i pozornost u zavaru. Gornja granica pritiska je određena progibom donje ruke i dubinom utiskivanja elektrode u površinu materijala koji se zavaruje.
- o IMPULSI ZAVARIVANJA I HLAĐENJA - vrijeme zavarivanja treba biti izabrano kako bi se izbjegle eventualne greške u zavarenom spoju. Poželjno je da je vrijeme zavarivanja što kraće, ali svakako ne ispod određene vrijednosti. Ako je vrijeme zavarivanja prekratko, postoji mogućnost pojave greške naljepljivanja u zavarenom spoju. Predugo vrijeme zavarivanja može izazvati pretjerano omekšavanje, taljenje istiskivanje materijala na mjestu spoja. Isto tako može imati za posljedicu pozornost i pukotine. U slučaju da je vrijeme zavarivanja prekratko za debljine limova koji se zavaruju potrebno je raditi sa većom strujom, što opet za posljedicu ima izgaranje površine zavara, prskanje i veliko utiskivanje elektrode u površinu zavara (slika 4.5).
- o BRZINA ZAVARIVANJA I JAKOST STRUJE ZAVARIVANJA - brzinu i jakost struje zavarivanja trebaju podešeni tako da se dobije zavar u kojem se točke preklapaju između 10 – 30 %.



Slika 4.5 Ovisnost jakosti struje i vremena zavarivanja kod točkastog zavarivanja [6]

Navedeni parametri zavarivanja odabiru se iz tablice 5.4 i 5.5 ovisno o debljini vanjskih limova i broju slojeva materijala koji se zavaruje. Kada se na stroju podesila brzina, pritisak i trajanje impulsa zavarivanja, potrebno je podesiti jakost struje zavarivanja. Prvo podešavanje vrši se temeljem dosadašnjih vlastitih iskustvenih podataka stečenih u pogonu, a koja su raspoloživa kod operatera uređaja za zavarivanje. Sa ovako podešenim parametrima zavarivanja potrebno je izraditi probni uzorak. Tijekom zavarivanja obavezno mora prisustvovati kontrolor koji će dati ocjeni uzoraka i podešenih parametara, te voditi evidenciju o izvršenim ispitivanjima. Ako uzorak ne zadovoljava, potrebno je korigirati jakost struje zavarivanja da se dobiju zadovoljavajući zavareni spojevi na kojima se provode odgovarajuće aktivnosti kontrole, nakon čega kontrolor daje odobrenje da se pristupi zavarivanju serije proizvoda.

Prilikom zavarivanja tanjih limova (0,13 – 0,35 mm) vrlo često se javlja prskanje i odgor površine zava. Ovu pojavu može se spriječiti «glačanjem» dodirnih površina i elektroda za zavarivanje i postepenim smanjenjem jakosti struje zavarivanja do veličine na kojoj se ne javlja prskanje.

Ukoliko treba zavariti više limove ukupna debljina ne smije prelaziti četverostruku debljinu najtanjeg lima. Maksimalni omjer debljina između najtanjeg i najdebljeg lima u «sendviču» je 1 : 3. Dijelovi koji se zavaruju moraju biti očišćeni od masnoća i ostalih nečistoća, a tijekom zavarivanja elektrode moraju biti okomite na površinu koja se zavaruje.

Tablica 4.5 Parametri zavarivanja za elektrootporne šavne zavare austenitnih materijala iste ili različite debljine. [12]

Debljina materijala, mm		Ciklusi, per.		Brzina	Sila na elektrodi	Širina elektrode, mm		Širina zavora
Donji	Gornji	Grij.	Hlađ.	/mm/min	/N/	Donja	Gornja	mm
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1,63	1,63	8	8.	300	6 800	6,5	6,5	
1,63	0,22	8	8	300	5 400	6,5	5,5	
1,63	0,91	4	4	600	4 500	6,5	5,5	
1,63	0,71	4	4	600	4 100	5,5	4,8	
1,63	0,56	4	3	600	3 600	5,5	4,8	
1,22	1,22	5	5	600	4 700	5,5	5,5	
1,22	0,91	4	4	600	4 100	5,5	4,8	
1,22	0,71	4	4	600	3 600	5,5	4,8	
1,22	0,56	4	3	300	2 700	5,5	4,0	
1,22	0,46	4	3	300	2 000	5,5	4,0	
0,91	0,91	4	4	600	3 200	4,8	4,8	
0,91	0,71	4	3	600	3 200	4,8	4,8	
0,91	0,56	4	3	600	2 700	4,8	4,0	
0,91	0,46	4	3	460	2 000	4,8	4,0	
0,91	0,42	4	3	600	2 000	4,8	4,0	(3,2)
0,91	0,36	4	3	600	2 000	4,8	4,0	(3,2)
0,71	0,71	4	3	600	3 200	4,8	4,8	
0,71	0,56	4	3	600	2 500	4,8	4,8	
0,71	0,46	4	3	600	2 000	4,8	4,0	
0,71	0,42	4	3	600	2 000	4,8	4,0	
0,71	0,36	4	3	600	2 000	4,8	4,0	(3,2)
0,71	0,32	4	3	600	2 000	4,8	4,0	(3,2)
0,56	0,56	4	3	600	2 000	4,8	4,8	
0,56	0,46	4	3	600	2 000	4,8	4,8	
0,56	0,42	4	3	600	2 000	4,8	4,0	
0,56	0,36	4	3	600	2 000	4,8	4,0	
0,56	0,32	4	3	600	2 000	4,8	4,0	(3,2)
0,56	0,26	4	3	600	2 000	4,8	4,0	(3,2)
0,46	0,46	4	3	600	2 000	4,8	4,8	
0,46	0,42	4	3	600	2 000	4,8	4,8	
0,46	0,36	4	3	600	2 000	4,8	4,0	
0,46	0,32	4	3	600	2 000	4,8	4,0	
0,46	0,26	4	3	600	2 000	4,8	4,0	(3,2)
0,46	0,20	3	3	910	2 000	4,8	4,0	(3,2)
0,42	0,42	4	3	600	2 000	4,8	4,8	
0,42	0,36	4	3	600	2 000	4,8	4,8	
0,42	0,32	4	3	600	2 000	4,8	4,0	
0,42	0,26	4	3	600	2 000	4,8	4,0	
0,42	0,20	3	3	910	2 000	4,8	4,0	(3,2)
0,36	0,36	3	3	600	2 000	4,8	4,8	
0,36	0,32	3	2	600	2 000	4,8	4,0	
0,36	0,26	3	2	600	2 000	4,8	4,0	
0,36	0,20	2	2	910	2 000	4,8	4,0	(3,2)
0,32	0,32	3	2	600	2 000	4,8	4,8	
0,32	0,26	3	2	600	2 000	4,8	4,0	
0,32	0,2	2	2	910	2 000	4,8	4,0	
0,26	0,26	3	2	910	2 000	4,0	4,0	
0,26	0,2	2	2	910	2 000	4,0	4,0	(3,2)
0,2	0,2	2	2	910	2 000	4,0	4,0	
0,2	0,17	2	2	910	2 000	4,0	4,0	
0,2	0,13	2	2	910	2 000	4,0	4,0	
0,17	0,17	2	2	910	2 000	3,2	3,2	
0,17	0,13	2	2	910	2 000	3,2	3,2	
0,13	0,13	2	2	910	2 000	3,2	3,2	

Tablica 4.4 Parametri zavarivanja za «sendvič» i višeslojne elektrootporne šavne zavare. [12]

Ukupna debljina materijala, mm	Ciklusi		Brzina mm/min	Sila na elek. /N/	Širina elektrode, mm	
	Grijanje	Hlađenje			Donja	Gornja
do 0,35	2	2	910	2 000	4,0	3,2
0,35 – 1,4	3	2	910	3 200	4,8	4,0
1,4 – 1,8	4	4	610	4 500	5,5	4,0
1,8 – 2,4	5	5	450	5 400	6,5	4,8
2,4 – 3,1	6	6	380	6 800	6,5	4,8
3,1 – 4,1	8	8	300	6 800	8,0	5,5
4,1 – 5,3	11	11	230	8 100	8,0	5,5
5,3 – 6,5	15	15	150	9 000	9,5	6,3
6,5 i više	18	18	100	11 000	9,5	6,3

Probni uzorci se izrađuju prije izrade svake serije ili na početku smjene, ako radi na jednoj seriji duže od jedne smjene. Osim toka, uzroci se mogu raditi i onda kada kontrola ili operater smatraju da kvaliteta zavora ne zadovoljava. Izradu i kontrolu uzoraka obavljaju operater i kontrolor.

U cilju osiguranja kvalitete, prije svakog početka zavarivanja potrebno je utvrditi :

- da su dijelovi zadovoljavajuće čisti, bez masti, oksida i ostalih nečistoća,
- da su parametri zavarivanja podešeni na stroju u skladu sa propisanim parametrima (tehnologijom zavarivanja),
- da su elektrode u ispravnom stanju,
- da je rashladna voda čista i da ima odgovarajući protok.

Materijal za izradu uzoraka mora biti iste kvalitete, stanja površine i debljina, kao i dijelovi koji se nakon toga zavaruju. Nakon izrade uzoraka, kontrolor vodi parametre zavarivanja u knjigu o elektrootpornom šavnom zavarivanju.

Vizualnim pregledom uzoraka potrebno je utvrditi sljedeće :

- a) da je minimalni prijeklop limova u skladu sa zahtijevanim prijeklopom na crtežu,
- b) da površine zavora nisu pretjerano pregorene (crne), te da nema grešaka naljepljivanja i otkidanja površine materijala,
- c) da trag elektrode nema oštre prelazne (udubljenje) i da stanjenje materijala ne prelazi 10 % od ukupne debljine limova koje zavarujemo,

d) da su impulsi zavarivanja pravilni i ravnomjerno raspoređeni uzduž zavora.

U slučaju da ispitni uzorak zadovoljava gore navedene kriterije, vrši se izrada makro izbrusaka i proba odvajanja.

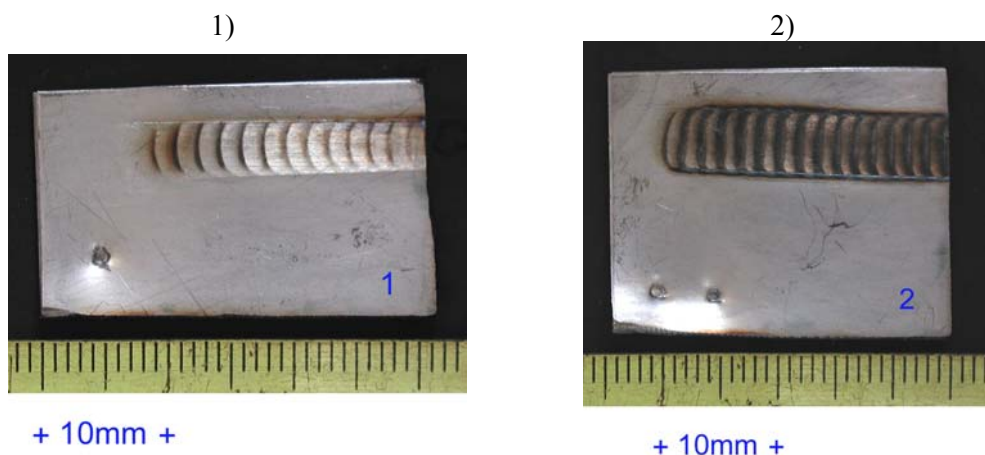
Nakon dobivenih zadovoljavajućih rezultata na ispitnim (probnim) uzrocima pristupa se zavarivanju serije. Prve komade iz serije potrebno je vizualno pregledati prema prethodno navedenim kriterijima.

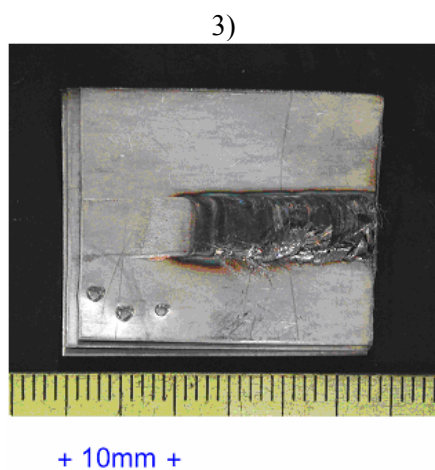
Zavarivanje mogu izvoditi samo verificirani (atestirani) zavarivači, a primjenjivati se mogu isključivo atestirani postupci zavarivanja. Osim toga strojevi za zavarivanje moraju imati uredne svjedodžbe o podobnosti za zavarivanje u skladu sa zakonom propisanim standardima.

4.2 MAKRO ANALIZA

Uzorke je potrebno brusiti brusnim papirima 220, 320, 400, 600 na rotirajućem disku, isprati te polirati na disku, presvučenim čvrstom tkaninom, sa glinicom (Al_2O_3) u vodenoj otopini. Nakon poliranja uzorke isprati u vodi, zatim u alkoholu i osušiti u struji toplog zraka.

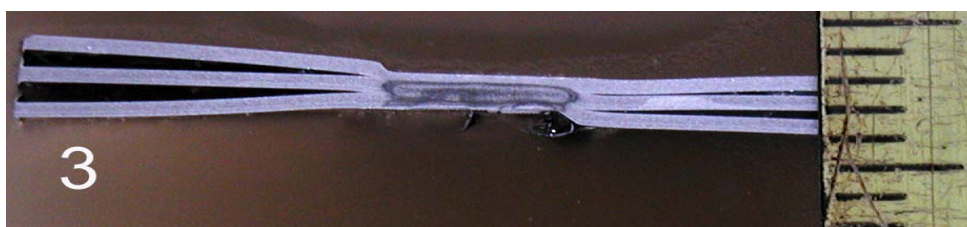
Kod zavora harmonika, mogu se prijelazna zona i pojedine zone zavora jasno razviti za makroskopska ispitivanja nagrizanjem sa Adlerovim reagensom. Adlerov reagens se sastoji od: 25 cm³ destilirane vode, 50 cm³ koncentrirane solne kiseline, 3 g bakar-amonij-klorida i 15 g željezo-klorida.





Slika 4.6 Makro fotografije zavora

- 1) *prenizak unos energije (preniska jakost struje)*
- 2) *ispravan unos energije (normalna jakost struje)*
- 3) *prevelik unos energije (prevelika jakost struje)*



Slika 4.7 Makrofotografije presjeka zavarenih spojeva

- 1) *prenizak unos energije (preniska jakost struje)*
- 2) *ispravan unos energije (normalna jakost struje)*
- 3) *prevelik unos energije (prevelika jakost struje)*

4.3 ZAKLJUČAK EKSPERIMENTALNOG DIJELA

Elektrootporno šavno zavarivanje se pokazalo kao tehnologičan postupak zavarivanja kružnih zavarenih spojeva kod jednoslojnih i višeslojnih komponenti kompenzatora. Kvaliteta zavarenih spojeva je zadovoljila sve zahtjeve koji su postavljeni na zavarene proizvode – kompenzatore u eksploataciji, prije svega u pogledu funkcionalnosti na radnim temperaturama, pri radnim tlakovima i u uvjetima različitih medija, te u pogledu pouzdanosti (sigurnosti) i kvaliteti zavarenih spojeva.

5. ZAKLJUČAK

Tema diplomskog rada je tehnologija izrade tankostijenih kompenzatora. Za reprezentanta je izabran jednozglobni kompenzator HS 2/800/4/TRS/1. Eksploatacija reprezentanta odvijati će se pri radnoj temperaturi od 670 °C, radnom tlaku 0,2 MPa (2 bar), radni medij koji prolazi kroz kompenzator je pregrijana vodena para. Prilikom eksploatacije namijenjen je za kompenzaciju kutnog pomaka u iznosu od ± 2 mm.

S obzirom na izbor materijala za reprezentanta razmatrane su karakteristike ugljičnih čelika s ~0,2% C, austenitnih Cr-Ni korozijski postojanih čelika i legura sa visokim sadržajem nikla.

U radu je obrađena tehnologija izrade reprezentanta, najčešće pogreške koje nastaju pri izradi, uzroci njihovog nastajanja kao i načini njihovog uklanjanja, te je obrađen model baze podataka za akviziciju izvještaja kontrole bez razaranja.

U eksperimentalnom dijelu obrađeno je šavno elektrolučno zavarivanje korozijski postojanog čelika, te opis korištene opreme prilikom zavarivanja, ispitivanje kvalitete zavarenog spoja i kriterije prihvatljivosti. Izvršeno je zavarivanje probnih uzoraka i ocjena kvalitete zavarenog spoja. Kraj eksperimentalnog dijela se sastoji od makro analize presjeka zavarenog spoja.

6. LITERATURA

- [1] Katalog, Kompenzatori, Tvornica kompenzatora d.o.o.
- [2] Katalog, Montažno – demontažni kompenzator, Tvornica kompenzatora d.o.o.
- [3] Radne instrukcije, Oblikovanje mandrel, Tvornica kompenzatora d.o.o.
- [4] Radne instrukcije, Oblikovanje solar, Tvornica kompenzatora d.o.o.
- [5] Ivan, Samardžić: /www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/, postupci 1 pdf., veljača 2005.
- [6] Zdenko, Kordić: Elektrootporno zavarivanje, društvo za tehniku zavarivanja hrvatske, Zagreb, 1987.
- [7] IPIM, Tehnički priručnik za procesnu industriju, I izdanje, Zagreb, 1993.
- [8] Bojan, Kraut: Strojarski priručnik, Tehnička knjiga, Zagreb, 1988.
- [9] Metals and their weldability, Welding handbook, part 65, Austenitic Chromium-Nickel alloys, AWS., 1972.
- [10] Metals and their weldability, Welding handbook, part 67, Nickel and high –nickel alloys, AWS., 1972.
- [11] Josip, Pavić: Diplomski rad, Strojarski fakultet, Sl. Brod, 1994.
- [12] Tehnološka dokumentacija, Tvornica kompenzatora d.o.o.
- [13] Institut za nuklearne nauke "Boris Kidrič", Vinča, Radiografija, Beograd, 1988.
- [14] Radiographer's weld interpretation reference, AGFA, Belgium, 1995.
- [15] Osiguranje kakvoće, RI-202 Instrukcija za radiografsko ispitivanje, Interni dokument, Tvornica kompenzatora d.o.o., 1994.
- [16] EN 288-3, Klasifikacija pogrešaka u zavarenim spojevima izvedenim taljenjem metala, 1992.
- [17] EN 25817, Klasifikacija izgleda zavora, te eventualna dozvoljena odstupanja, greške i oznake grupa grešaka, 1992.
- [18] EN 12517, Klasifikacija prihvatljivosti grešaka u zavarenom spoju ovisno o zahtjevanoj klasi zavora, 1992.
- [19] Zvonimir, Lukačević: Zavarivanje, Strojarski fakultet, Sl. Brod, 1998.

Gotovi seminarski, maturski, maturalni i diplomski radovi iz raznih oblasti, lektire , puškice, tutorijali, referati - specijalizovan tim za usluge visokokvalitetnog pisanja, istraživanja i obradu teksta za kompletan region Balkana.

Posetite nas na sajtovima ispod:

WWW.MATURSKIRADOVI.NET

WWW.SEMINARSKIRAD.ORG

WWW.MATURSKI.NET

WWW.MATURSKI.ORG

WWW.SEMINARSKIRAD.INFO

Dostupni smo Vam 24h 365 dana u godini.

Za gotove verzije rada obratiti se na mail:

maturskiradovi.net@gmail.com

061/ 11-00-105

Seminarski, diplomski, maturski radovi, prevodi na engleski i eseji...