

TEHNOLOŠKI POSTUPAK IZRADE KOMPENZATORA U ZAVARENOJ IZVEDBI

TECHNOLOGICAL PROCESS CONSTRUCTION OF BELLOW IN THE WELDING VERSION

Josip Majić¹⁾, Josip Pavić¹⁾, Dejan Marić¹⁾, Ivan Samardžić²⁾,

¹⁾Duro Đaković Kompenzatori d.o.o.

²⁾Mechanical engineering faculty, University of Osijek, 35000 Slavonski Brod

Ključne riječi: oblikovanje harmonike, zavarivanje, kompenzatori

Key words: accordions shaping, welding, compensators

Sažetak :

Ovaj rad se bavi primjenom strojarskih tehnologija u izradi kompenzatora u zavarenoj izvedbi. Najzastupljenije strojarske tehnologije u izradi kompenzatora su oblikovanje deformiranjem i zavarivanje. Prikazan je slijed proizvodnih i kontrolnih aktivnosti u izradi kompenzatora. Detaljnije su obrazloženi postupci izrade valova kompenzatora postupcima koji su raspoloživi u Tvrkti kompenzatora (Mandrel, Solar, Oliver).

Abstract:

This paper deals with the application of engineering technology in the preparation of the bellows welding. The most frequent mechanical technology in the bellows design forming and welding. Presented is the sequence of production i control activities in making bellows. Detailed procedures are explained making bellows procedures that are available in the company's Bellows (Mandrel, Solar, Oliver).

1. UVOD

Kompenzacija izduženja cijevi izloženih pomicanju uslijed djelovanja temperature, tlaka i vanjskih izvora dugo je godina bila rješavana na razne načine. Najefikasniji način je bio upotrijebiti svojstvo prirodne fleksibilnosti cijevnog sistema iskorištavajući koljena i tako oblikovati prirodne lire.

Ubrzo su ekspanzione lire postale skupe u pogledu materijala i zauzimanja prostora a bile su ograničene i dopuštenim naprezanjima cijevi na savijanje.

Da bi riješili taj problem otkriveno je da se pažljivim hladnim valjanjem tankostijene cijevi može oblikovati kompenzator koji može biti stisnut ili rastegnut bez izazivanja prekomjernog naprezanja materijala ili stvaranja neprihvatljivih protu-sila koje bi djelovale na čvrste točke cijevi. Daljnji razvoj je doveo do univerzalnog prihvaćanja tih kompenzatora kao stalnog sastavnog dijela cijevnog sustava.

Najtanji dio kompenzatora predstavlja harmonika, debljine između 0,8mm i 3mm.

Kod odabira kompenzatora pažnju obraćamo na sljedeće varijable:

1. Tlak- radni,projektirani i ispitni
2. Temperatura- radna i projektirana
3. Medij koji teče kroz cijev
4. Sustav cjevovoda
5. Pomake
6. Tip kompenzatora

O tlaku djelomično ovisi konstrukcija kompenzatora, bilo da je on pozitivni ili negativni. Važno je znati projektirane, radne i ispitne tlakove kojima će kompenzatori biti podvrgnuti.

O temperaturi ovisi pomak cjevovoda i važno je procijeniti efekte instalacijskih uvjeta u pojedinim okolnostima, posebno u uvjetima temperatura ispod nule za primjenu kod tekućih plinova itd.

Standardni assortiman kompenzatora je izrađen od nehrđajućeg čelika koji je pogodan za veliki broj uvjeta ali treba imati na umu da za primjene gdje je prisutan korozioni medij kompenzatori se izrađuju i iz drugih materijala.

Razmještaj cjevovoda i položaj glavnih dijelova uređaja biti će već određen i na osnovu toga možemo odrediti položaj čvrstih točaka i zatim izduženja raznih dijelova cjevovoda.

Kod pomaka je najbitnije imati na umu da je kompenzator živi uređaj i da mijenja svoj oblik u skladu sa silama koje djeluju na njega. Pomak kompenzatora izražava se kvantitativno: kao aksijalni, poprečni ili kutni i iz poznatih faktora temperature i toplinskog koeficijenta izduženja materijala lako je i jednostavno izračunati pomake koje treba preuzeti kompenzator. Pomak uzrokovani vanjskom fizičkom silom također mora biti određen jer u nekim slučajevima to može biti primarni uzrok pomaka.

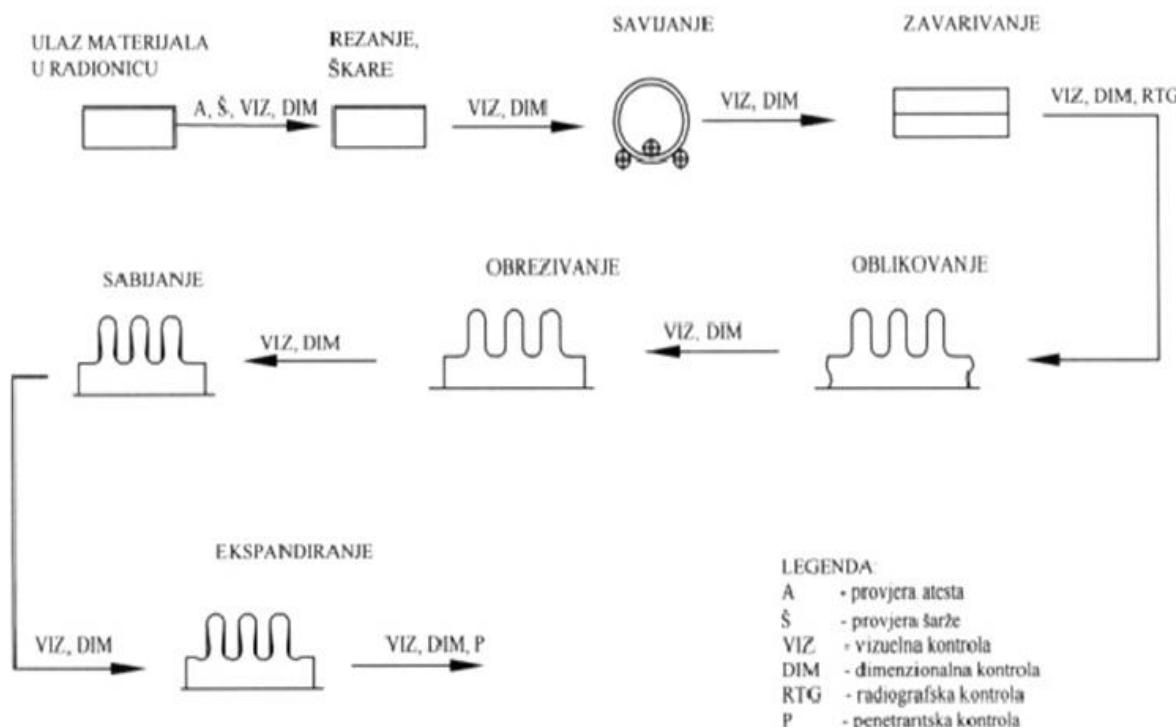
2. PROIZVODNI POSTUPCI U IZRADI KOMPENZATORA

U proizvodnji kompenzatora je zastupljeno nekoliko tehnologija kao npr. obrada odvajanjem čestica i obrada materijala deformiranjem na posebnim strojevima za tu namjenu (Mandrel, Solar, Oliver).

Obrada odvajanjem čestica

Obrada odvajanjem čestica odvija se u sljedećim fazama:

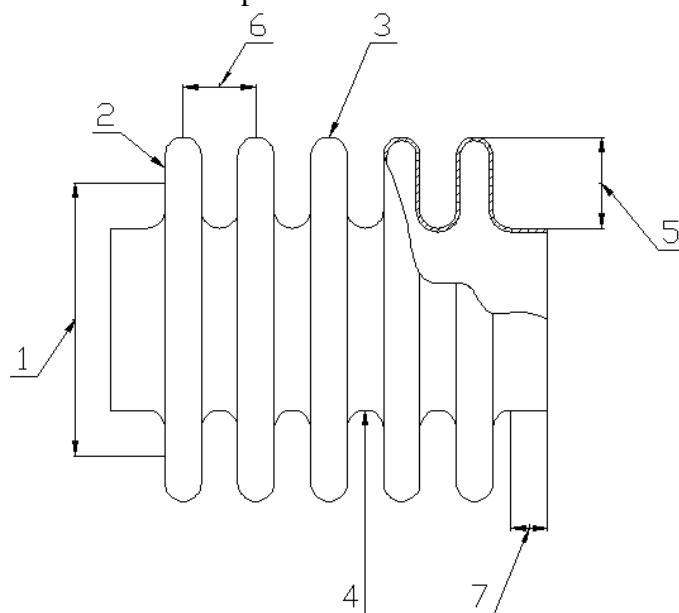
1. Sječenje lima- lim se pomoću škara siječe na određene dimenzije, ako se radi o rezanju lima većih debljina od $3mm$ tada se rezanje vrši pomoću plazme ili plinskog rezanja nakon čega slijedi,
2. savijanje lima- ovom tehnologijom se mijenja ravni oblik lima u savijeni,
3. zavarivanje- zavarivanjem se vrši spajanje krajeva lima u jednu cjelinu,
4. oblikovanje harmonike- oblikovanje harmonike se vrši na strojevima MANDREL (do $250mm$), SOLAR (300 do $1200mm$) i OLIVER (preko $1000mm$),
5. obrezivanje harmonike- nakon oblikovanja vrši se obrezivanje tj. Dovođenje harmonike na mjeru ručnim alatima,
6. sabijanje- vrši se stiskanjem harmonike na određenu mjeru,
7. ekspandiranje- nakon izrade po potrebi promjer harmonike se ekspandira na određenu dimenziju.



Slika 1 Shematski prikaz izrade harmonike

Oblikovanje metala deformiranjem

Osnovni elementi svake harmonike prikazani su na slici 2.



Slika 2 Osnovni elementi harmonike

Gdje su:

1. srednji promjer harmonike,

2. bok vala,
3. vrh vala,
4. korijen vala,
5. visina vala,
6. korak vala,
7. manžeta.

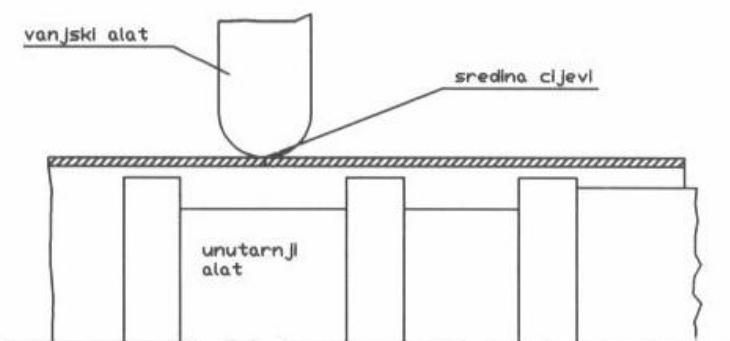
Princip izrade oblika valova kompenzatora je sljedeći : valja se prethodno izrađena cijev prema unutra (prema središnjoj osi cijevi), zatim redom van i unutra, dok se ne dobije željeni oblik vala.

Formiranje valova se vrši minimalno u tri faze. Nakon formiranja vala dolaze operacije formiranja manžete, te sabijanje harmonike na slobodnu dužinu.

Princip oblikovanja harmonike na strojevima tipa MANDREL se može vidjeti na slici 2.1 do 2.8. Postupak oblikovanja se provodi u nekoliko faza, uvelike ovisi o podacima navedenim na tehničkom listu i iskustvu samog operatera na stroju.

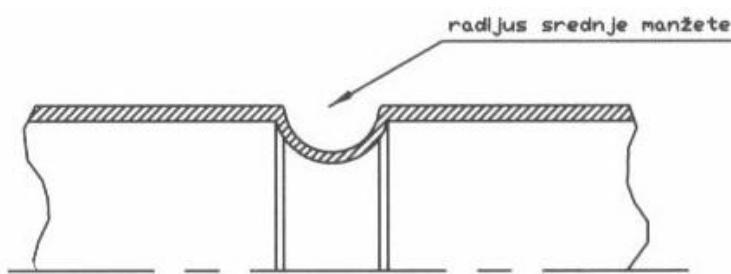
Slijed operacija oblikovanja je prikazan na slikama 2.1 do 2.8.

1. operacija formiranja valova:



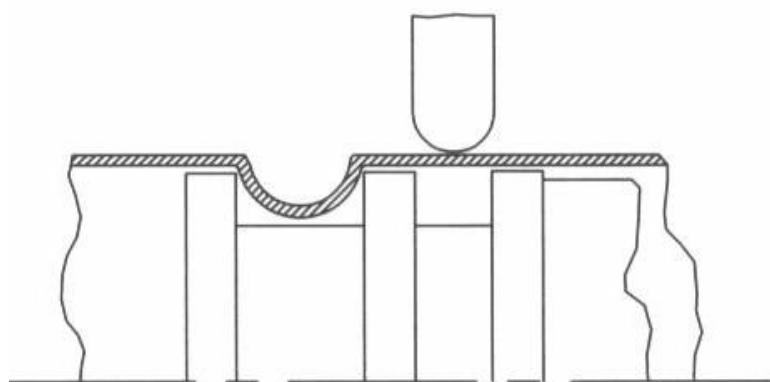
Slika 2.1 Postupak oblikovanja

2. Podesiti valjke na potrebnu visinu i širinu,
3. centrirati gornji alat točno između unutarnjih razmaka donjeg alata,
4. postaviti cijev u sredinu iznad donjeg alata,
5. postaviti graničnik kada smo došli do potrebne dubine



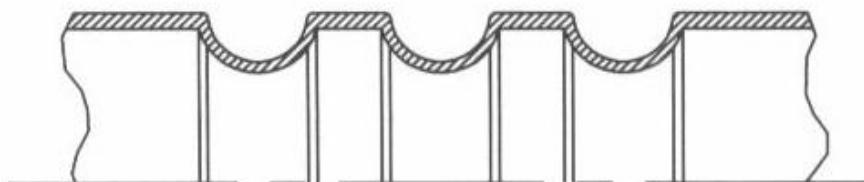
Slika 2.2 Oblik prvog vala

1. Promjeniti gornji alat i staviti alat za standardnu prvu operaciju,
2. Pomaknuti cijev u prethodni položaj i pokrenuti stroj



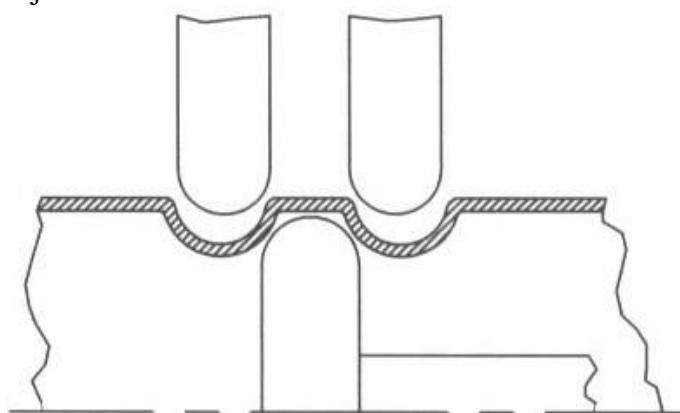
Slika 2.3 Formiranje drugog vala

1. Zaustaviti stroj kada je postignuta dovoljna dubina,
2. Okrenuti cijev i ponoviti prethodna 2 zahvata



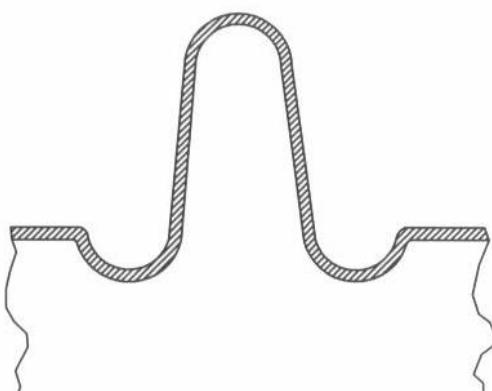
Slika 2.4 Izgled valova nakon prvog prolaza

2. operacija formiranja valova:



Slika 2.5 Prva faza druge operacije

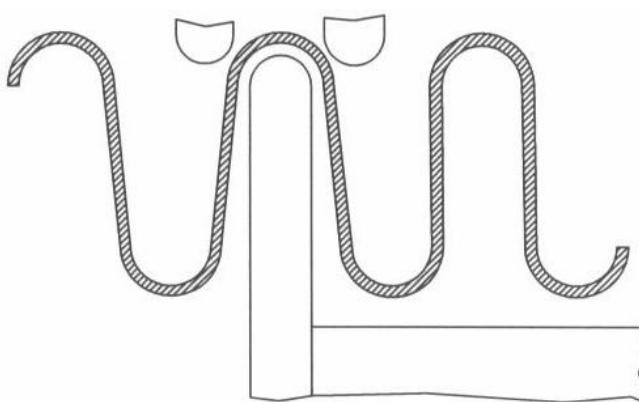
1. Kompletirati valove utiskivanjem gornjeg alata i istiskivanjem materijala između donjih alata da bi se povećao promjer i dobio traženi oblik
2. Za vrijeme rada cijev skladno rotira u lijevoj ruci, a desna je zauzeta pomicanjem gornjeg alata



Slika 2.6 Izgled vala

- postaviti graničnik kada je gornji radius završen, što se prepoznaće kada je raspoloživi materijal iz prve operacije potpuno povučen u zakriviljenost vala

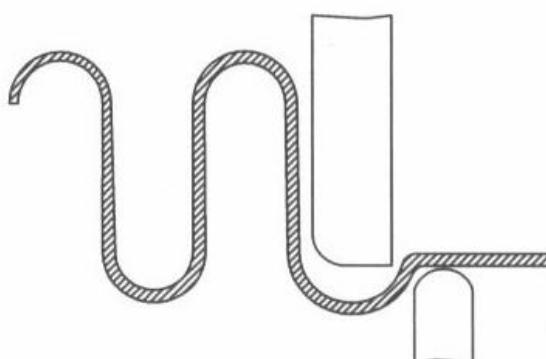
3. operacija formiranja vala – završno formiranje harmonike:



Slika 2.7 Završno formiranje harmonike

1. Nakon postavljanja i centriranja nastaviti rad kao u operaciji 2,
2. nakon valjanja provjeriti promjene harmonike prema nacrtu, ako se trebaju izvršiti korekcije onda uvjek radimo tako da ponovimo operaciju 1, a nakon nje i operacije 2 i 3

4. operacija – formiranje manžete



Slika 2.8 Formiranje manžete

1. Prvo obavljamo obrezivanje manžete na istim strojevima uz upotrebu alata za obrezivanje,
2. sabijanje harmonike na slobodnu dužinu ručnim alatom

Na slici 2.9 je prikazan stvarni slučaj oblikovanja harmonike u Tvornici kompenzatora.



Slika 2.9 Formiranje valova harmonike

Za veće promjere harmonike koriste se strojevi za hladno deformiranje tipa SOLAR i OLIVER.

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

U slučaju kada nazivni promjer harmonike ne odgovara standardnom promjeru bubenja koriste se navlake.

Prije nego se prijeđe na postupak rada potrebno je spomenuti dva faktora koja se ne mogu teorijski precizirati već ih određuje operater 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 određen na osnovu iskustva i demonstracijama od iskusnijeg operatora.

Drugi od faktora je tzv. STRETCH FAKTOR, tj. zazor između gornjih alata i cijevi (slika 2.10)

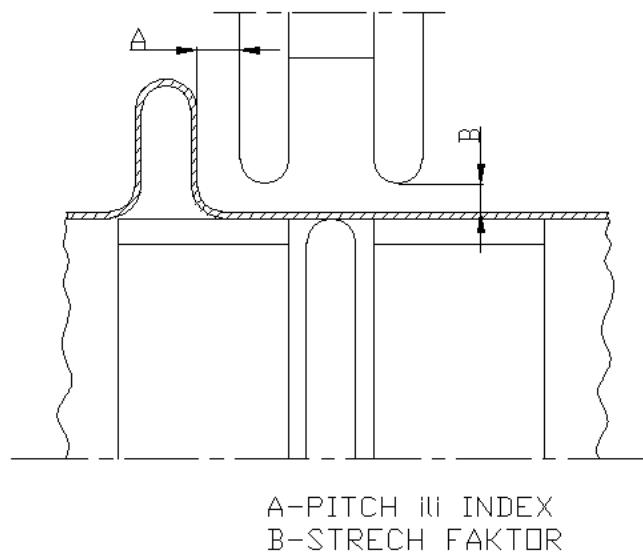
Svaki od ovih faktora određuje sam operater na osnovi debljine materijala, broja slojeva, zazora između slojeva. Ovi faktori naročito su važni kod oblikovanja jednoslojnih harmonika, jer njihov nepravilan izbor može izazvati niz neugodnosti od nejednakog koraka među valovima, pucanja lima, do nemogućnosti skidanja harmonike s bubenja.

U Tvornici kompenzatora postoje dva tipa solara :

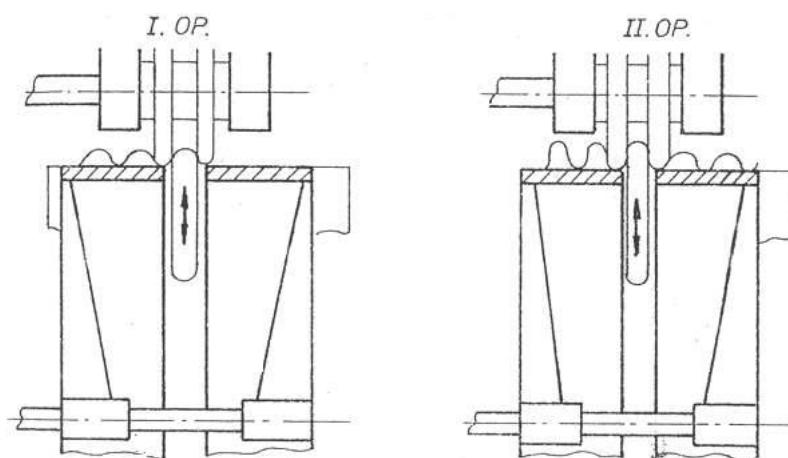
- SOLAR mali: promjer bubenja $D_{\min}=300$ mm,
- SOLAR veliki: promjer bubenja $D_{\max}=1200$ mm.

Stroj za oblikovanje SOLAR i OLIVER vidljivi su na slikama 3. i 4.

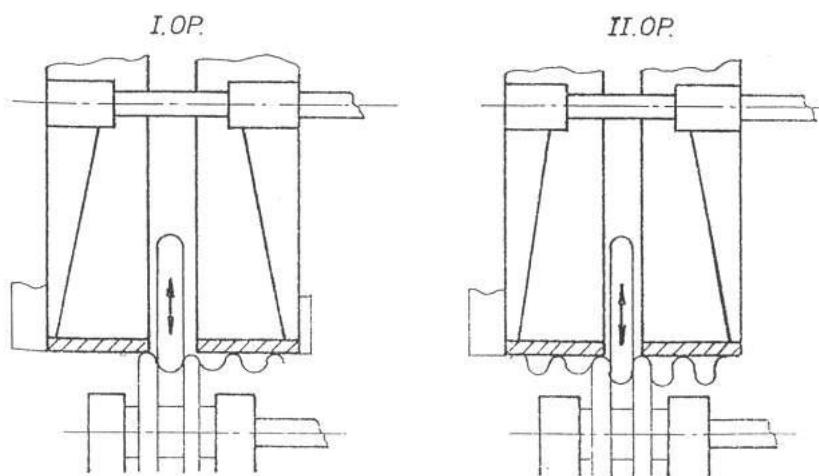
Shematski prikaz izrade harmonika na malom solaru prikazan je na slici 2.11, a na velikom solaru na slici 2.12.



Slika 2.10 Prikaz PITCH i STRECH faktora



Slika 2.11 Izrada harmonike na malom solaru



Slika 2.12 Izrada harmonike na velikom solaru



Slika 2.13 Stroj za oblikovanje SOLAR



Slika 4. Stroj za oblikovanje OLIVER

3. POSTUPCI ZAVARIVANJA U IZRADI KOMPENZATORA

REL postupak zavarivanja

Električni luk uspostavlja kratkim spojem – kresanjem između elektrode i radnog komada, tj. priključaka na polove električne struje (istosmjerne – Direct Current ili izmjenične – Alternating Current).

Nakon toga slijedi ravnomjerno dodavanje elektrode u električni luk od strane zavarivača, taljenje iste te formiranje zavarenog spoja.

Elektroda može biti obložena bazičnim, rutilnim ili celuloznim materijalom, a kako obloga izgara u procesu zavarivanja štiti električni luk i rastaljenu kupku metala zavara od atmosferskih utjecaja, stvarajući zaštitnu atmosferu te šljaku koja se skrućuje iznad novonastalog zavara.

REL postupak zavarivanja je uobičajen kod navarivanja, reparaturnog zavarivanja i ima široke mogućnosti primjene u proizvodnji. Postoje ograničenja i mane ovog postupka, ali također i prednosti kada se zavarivanje obavlja na otvorenom.

Istopljeni sastojci obloge se miješaju sa rastopljenim metalom, prije nego što isplivaju na površinu jer imaju manju gustoću od metalne kupke, i očvrsnu u obliku troske. Troska štiti metal zavara od utjecaja okoline i usporava njegovo hlađenje, a nakon zavarivanja se uklanja čekićem.

Parametri

Glavni parametri kod REL zavarivanja su:

- napon zavarivanja (U), koji se tijekom zavarivanja orijentacijski kreće od 22 do 32 V;
- jakost struje zavarivanja (I), koja ovisi o promjeru elektrode (orientacijska vrijednost 40 × promjere elektrode, A)
- brzina zavarivanja (v), koja se kreće ovisno o primjenjenoj tehničici zavarivanja (povlačenje ili njihanje elektrode), promjeru elektrode i parametrima zavarivanja.

TIG postupak zavarivanja

Elektrolučno zavarivanje metaljivom volfram elektrodom u atmosferi zaštitnog plina je postupak spajanja metala topljenjem i očvršćavanjem dijela osnovnog metala i dodatnog metala

(žica za zavarivanje - ako se koristi), pri čemu se kao zaštita koristi inertni plin (aktivne plinove ne užimamo u obzir jer bi došlo do oksidacije vrha elektrode).

Ovaj postupak se skraćeno obilježava TIG ili WIG (T od tungsten, engleska riječ za volfram (W)-materijal elektrode, IG- inert gas) i prvo je uveden kao postupak zavarivanja Al i njegovih legura zahvaljujući efektu katodnog čišćenja. Ovaj efekt se sastoji od razbijanja i uklanjanja šljake teškotopljivog oksida Al_2O_3 iz metalne kupke ili sa njene površine djelovanjem elektrona koji se kreću od osnovnog materijala prema elektrodi, čime se sprječava njegovo taloženje u dnu metalnog šava i omogućava zavarivanje Al.

U današnje vrijeme primjena TIG postupka je znatno veća, najviše zbog vrhunske kvalitete zavarenog spoja koji se između ostalog, postiže boljom kontrolom unesene topline i dodatnog materijala zahvaljujući razdvajaju uloga dodatnog metala i elektrode.

Zavarivanje TIG postupkom moguće je i bez dodatnog materijala, što je posebno važno kod tankih limova. Iako je u osnovi ručni postupak, TIG postupak se može automatizirati, kako u smislu dovođenja žice tako i u smislu vođenja elektrode.

Proizvodnost TIG postupka može se povećati primjenom varijante sa zagrijanom žicom (TIP TIG postupak).

Parametri

Glavni parametri kod TIG zavarivanja su:

- napon zavarivanja (U),
- jakost struje zavarivanja (I), koja se pri zavarivanju kreće ovisno o vrsti i debljini materijala koji se zavaruje
- brzina zavarivanja (v), koja se kreće ovisno o primjenjenoj tehnici zavarivanja, vrsti i debljini materijala koji se zavaruje, te parametrima zavarivanja

MAG postupak zavarivanja

Elektrolučno zavarivanje topljivom elektrodom u atmosferi zaštitnog plina je postupak spajanja metala topljenjem i očvršćavanjem dijela osnovnog metala i dodatnog metala (elektroda) pri čemu se za zaštitu rastopljenog metala koriste inertni i aktivni plinovi, ili njihove mješavine. U ovisnosti od vrste zaštitnog plina elektrolučno zavarivanje topljivom elektrodom se skraćeno obilježava kao MAG (Metal Active Gas) ili MIG (Metal Inert Gas), pri čemu se kod MAG postupka kao zaštita koristi CO_2 (uglični dioksid) ili mješavina plinova koja se ponaša kao aktivni plin, a kod MIG postupka koristimo Ar, He (argon,helij) ili mješavina plinova koja se ponaša kao inertni plin.

Parametri:

Glavni parametri kod MAG zavarivanja su:

- napon zavarivanja (U), koji se tijekom zavarivanja orijentacijski kreće od 16 do 26V,
- jakost struje zavarivanja (I), koja se pri zavarivanju kreće ovisno o promjeru žice za zavarivanje (orijentacijske vrijednosti 75 do 190A),
- brzina zavarivanja (v), koja se kreće ovisno o primjenjenoj tehnici zavarivanja (povlačenje ili njihanje), promjeru žice za zavarivanje i parametrima zavarivanja
- orijentacijski od 2 do 4 mm/s.

EPP postupak zavarivanja

EPP postupak (slika 5) predstavlja elektrolučno zavarivanje taljivom elektrodom pod zaštitom praška (SAW- submerged arc welding). Za ovaj tip zavarivanja koristimo DC uređaje koji su složenih izvedbi koje se sastoje od izvora struje, dodavača žice i traktora. Imamo razne izvedbe EPP

zavarivanja kao npr. zavarivanje jednom žicom, dvjema paralelnim žicama, više žica poredanih jedna iza druge itd.

Uloga praška koji se dodaje tokom zavarivanja je zaštita taline, stabilizacija električnog luka, postizanje boljih mehaničkih svojstava i sl. Radi velike količine depozita kod ove vrste zavarivanja koristimo podloške. Kao podloške najčešće koristimo pločice od bakra ili keramike, podloške od praška, a u nekim slučajevima kao podlošku koristimo i sam zavar.

Greške koje se mogu pojaviti kod EPP zavarivanja su poroznost, nečistoće, vlaga, kontaminirani prašak, uključci, nepravilna geometrija i sl.

Parametri

Glavni parametri kod EPP zavarivanja su:

- napon zavarivanja (U), koji se tijekom zavarivanja orijentacijski kreće od 25V za dužinu luka oko 2mm; 30V za dužinu luka 4mm,
- jakost struje zavarivanja (I), koja se pri zavarivanju kreće ovisno o promjeru žice, (optimalna jakost se kreće između 600 i 800A; pa čak i do 5000A u nekim ekstremnim slučajevima).
- brzina zavarivanja (v), se kreće otprilike 16-40 m/h, a s posebnim prašcima zna doseći brzinu i do 1m /min



Slika 3.1 Jedan od postupaka zavarinja u Tvornici Kompenzatora (EPP)

Elektrootporno točkasto i elektrootporno šavno zavarivanje

Elektrootporno zavarivanje uključuje stvaranje topline prolaskom električne struje, koja ima otpor između dvije ili više metalne površine. Dovođenjem topline stvaraju se malene kupke rastaljenog metala, zbog vrlo jakih struja, ponekad 1000 do 100 000A.

To je efikasan postupak i stvara mala zagađenja, ali kvaliteta nije velika i oprema zna biti jako skupa.

Točkasto zavarivanje je jako zastupljeno u automobilskoj industriji, gdje je preklop limova do 3mm. Dvije elektrode stežu limove i zatim se propušta na kratko električna struja kroz njih. Koristi se mala količina energije, limovi nisu pretjerano deformirani, velika je produktivnost, moguća je automatizacija i ne treba dodatni materijal.

Šavno zavarivanje koristi dvije elektrode koje primjenjuju pritisak i električnu struju da spoji metale. To je kontinuirani proces, gdje elektrode u obliku kotača se kotrljaju i dovode materijal, što omogućava dugačke zavare. Prije se upotrebljavalo za izradu limenki za osvježavajuća pića, ali

danas sve manje. Prikaz tehnologije zavarivanja elektrootpornim točkastim i elektrootpornim šavnim zavarivanjem su prikazani na slikama 6. i 7.



Slika 3.2 Elektrootporno točkasto zavarivanje



Slika 3.3 Elektrootporno šavno zavarivanje

4. ZAKLJUČAK

Uobrađenim poglavljima opisana je tehnologija izrade odnosno tehnologija zavarivanja zavarenih spojeva kompenzatora. Svaki postupak obrade i oblikovanja je „poliran“ dugi niz godina te se uvelike temelji na iskustvenim podacima Tvornice Kompenzatora. Zbog specifičnosti kompenzatora kao proizvoda moralo se pristupiti prilagodbi postojećih, a u nekim slučajevima i pronalaženju novih tehnoloških rješenja za izradu.

Specifičnost kod zavarivanja predstavlja upravo zavarivanje TIG postupkom tankih limova što inače nije uobičajeni postupak te se moralo pristupiti detaljnem analiziranju postupku zavarivanja tokom godina uporabe.

Cilj ovakovog načina propisivanja tehnologije je pravilno izvođenje zavarenih spojeva, kako bi se zadovoljila kvaliteta i funkcionalnost predviđenog kompenzatora.

5. LITERATURA

- [1] ĐĐ Kompenzatori d.o.o., *Katalog kompenzatora*, Slavonski Brod, 2008.
- [2] Lukačević, Zvonimir: *Zavarivanje*. Slavonski Brod; Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 1998. 264 str.
- [3] Majić, Josip: *Projektiranje i primjenjene tehnologije u izradi kompenzatora PK 6133/5958/4/T/1*. Slavonski Brod; Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2011.
- [4] Ivan, Samardžić: [/www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/](http://www.sfsb.hr/kth/zavar/tii/), postupci 1 pdf.