

## TEHNOLOGIJA IZRADE KONZERVATORA TRANSFORMATORA

### Application of welding technology in the transformer conservator manufacturing process

Valnea Starčević<sup>1</sup>, Domagoj Đaković<sup>2</sup>, Denis Bobičanec<sup>3</sup>, Veljka Žugec<sup>3</sup>, Sara Radojičić<sup>1</sup>,  
Ivan Samardžić<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Strojarški fakultet u Slavonskom Brodu, Sveučilište J. Jurja Strossmeyera u Slavonskom Brodu,

<sup>2</sup> Đuro Đaković Montaža d.o.o., Dr. Mile Budaka 1, Slavonski Brod

<sup>3</sup> Metal dekor d.o.o., Ivanovec, Pavleka Miškina 24, Čakovec

**Ključne riječi:** konzervator, transformatorski sustav, proces zavarivanja, kontrola kvalitete, nepropusnost na ulje

**Keywords:** conservator, transformer system, welding process, quality control, oil tightness

#### Sažetak:

Suvremeni život u 21. stoljeću bez električne energije gotovo je nezamisliv. Kao jedan od ciljeva koji se postavlja je osiguravanje što veće dostupnosti električne energije uz minimalne gubitke. Zbog prilagodbe jakosti i napona struje trošilima potrošača energiju je potrebno transformirati, što omogućuju transformatori. Prilikom rada, zbog povišenja radne temperature ulje unutar transformatorskog sustava mijenja svoj volumen, stoga je (naročito) kod transformatora velikih dimenzija potreban odvojeni prostor u kojemu će se neometano moći odvijati navedene promjene. Iz navedenog razloga na transformator se ugrađuje dio koji se naziva konzervator. Konzervator je metalni spremnik cilindričnog oblika montiran na nosačima konzervatora na poklopcu kotla, stranicama ili rashladnom sustavu, koji također sadrži i rezervu ulja za kontinuirani rad transformatora. U radu biti će predstavljen tehnološki proces izrade spremnika za prihvata transformatorskog ulja – konzervatora s posebnim osvrtom na tehnologiju zavarivanja. Na crtežu konzervatora dan je shematski prikaz načina svih standardnih dijelova s ciljem smanjivanja količine dokumentacije potrebne za zavarivanje pozicija konzervatora. Osim izrade konzervatora, u radu su opisane i metode kontrole kvalitete zavarenog spoja te finalne aktivnosti.

#### Abstract:

Modern life in the 21<sup>st</sup> century is almost unthinkable without electric energy. One of the goals set is to ensure higher availability of electricity with minimal losses. Due to the adjustment of current and voltage to consumers appliance, it's necessary to transform an energy, which is enabled with transformers. During the work, due to the increase of working temperature, the oil inside transformers system changes its volume, therefore (especially) in large - diameter transformers requires a separate space in which above - mentioned changes can be unhindered. From above - mentioned reasons, the transformer contains a part called the conservator. The conservator is a cylindrical shaped metal container mounted on the retainer supports on the boiler cover plate, sides or in the cooling system, which also contains an oil reserved for continuous work of transformer. This paper presents a technological process for the manufacturing of transformer oil container – conservator, with a special review on welding technology. The conservator's drawing provides a schematic view of the way of all standard parts in order to reduce the amount of documentation needed to weld the conservator's position. Besides manufacturing process, paper describes methods of quality control of welded joint and final activities in the manufacturing process.

## 1. Uvod

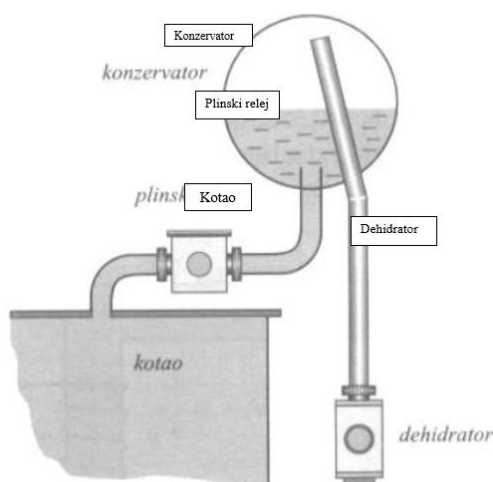
Sustav opskrbe električne energije privatnih i poslovnih korisnika ubraja se među najkompleksnije i najveće tehno – ekonomske sustave današnjice. Sastavljeni su od velikog broja komponenti, na ogromnim lokacijama i visoke cijene izrade, ali bez njih suvremeni način življenja i funkcioniranja naprosto nije moguć. Primarna funkcija energetskih sustava je osiguravanje funkcionalne, racionalne, kvalitetne i prije svega pouzdane opskrbe električne energije uz uvjet minimalnih troškova.

Kako bi proizvodni lanac, prijenos te primjena električne energije mogao funkcionirati potrebni su transformatori. Transformatori imaju veliku i značajnu ulogu u sustavu distribucije električne energije, karakterizira ih pouzdanost, ekonomičnost te sigurnost za prijenos i pretvorbu električne energije, a najčešće se primjenjuju za povišenje, odnosno sniženje vrijednosti napona struje uz vrlo male gubitke. [1]

Transformator se sastoji od dijelova koji mogu biti pasivni i aktivni. Transformatori malih snaga sastoje se samo od aktivnih dijelova iz razloga što su malih dimenzija i štiti ih kućište uređaja u koji se ugrađuju, stoga im pasivni dijelovi nisu potrebni. Energetski transformatori koji se ugrađuju u trafostanice velikih su snaga te osim aktivnih dijelova imaju i pasivne dijelove. U aktivne dijelove transformatora ubrajaju se željezna jezgra i namoti koji služe za transformaciju električne energije, dok se u pasivne dijelove (koji ne služe za transformaciju električne energije, ali omogućuju njeno odvijanje) transformatora ubrajaju kotao, konzervator, transformatorsko ulje, hladnjak rashladne tekućine, visokonaponska sabirnica, priključnice na primarnoj i sekundarnoj strani itd.

## 2. Spremnik transformatorskog ulja - konzervator

Spremnik transformatorskog ulja – konzervator spremnik je cilindričnog oblika koji sadrži rezervu transformatorskog ulja i montiran je na vrhu transformatora. Konzervator se ubraja se u konstrukcijske dijelove transformatora, uz kotao, poklopac i priključke. Na slici 1 dan je prikaz jednog konzervatora.



Slika 1 Prikaz konzervatora u transformatorskom sustavu [2]

Primarna funkcija konzervatora je prihvatanje svih promjena volumena transformatorskog ulja i omogućavanje širenja ulja kao posljedice rada transformatora. Širenjem ulja, određeni dio zraka se izbacuje iz konzervatora, dok se prilikom hlađenja dio zraka iz okoline uzima iz okolne atmosfere. Na

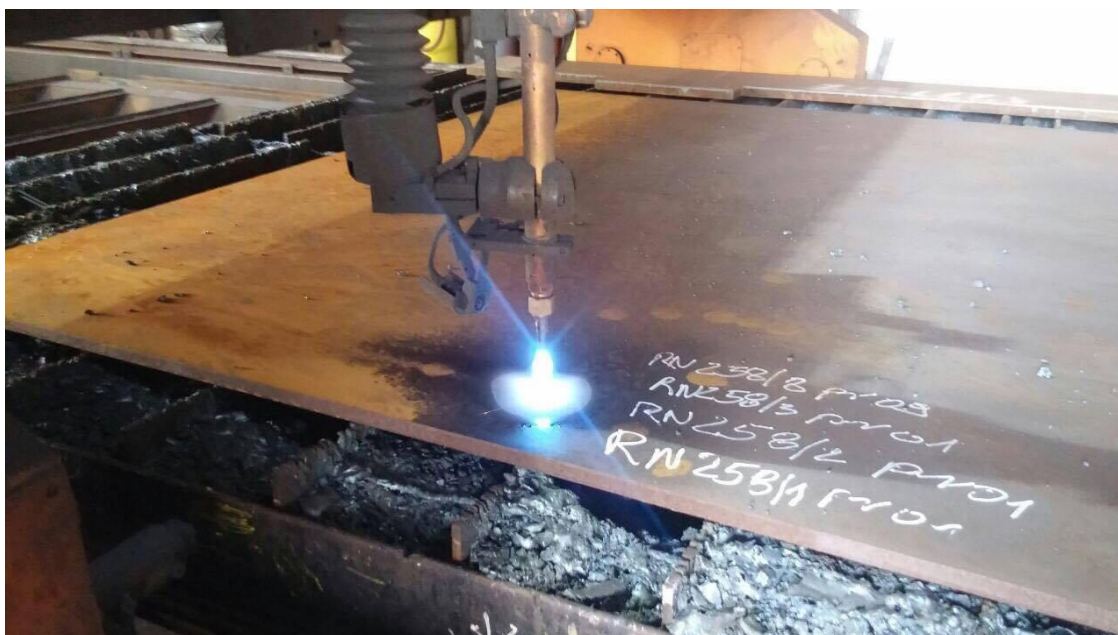
obje strane konzervatora ugrađeni su revizijski otvori čime se olakšava čišćenje i održavanje unutrašnjosti konzervatora. [3]

## 2.1 Princip rada konzervatora

Prilikom rada transformatora, ulje prilikom zagrijavanja povećava svoj volumen za 0.8 % s povišenjem temperature već od 1°C. Kako promjene temperature u unutrašnjosti transformatora kreće oko 100 °C, volumen konzervatora mora biti veći od 10% volumena ulja unutar sustava transformatora u hladnom stanju. Volumen ulja unutar sustava uvjetovan je temperaturom, stoga unutar konzervatora struji zrak koji se širenjem ulja izbacuje, a prilikom hlađenja dio zraka iz okolne atmosfere se uzima i ponovno vraća u sustav. Kako bi se unutar konzervatora izbjegao kontakt zraka i transformatorskog ulja, unutar samog konzervatora ugrađuje se elastična membrana. Kontakt ulja i zraka je nepoželjan iz razloga što se na taj način unosi vlaga u rashladni sustav transformatora te dolazi do prijevremenog starenja ulja i gubitka njegove funkcije unutar sustava transformatora. [2,3]

## 3. Tehnološki proces izrade konzervator transformatora

U tehnološkom procesu izrade spremnika transformatorskog ulja zastupljen je niz tehnologija. Prvi korak u izradi konzervatora je izrezivanje plašta iz pločevine materijala plazma rezačem. Plašt konzervatora sastoji se iz dva dijela dimenzija 6 x 2 202 x 870 mm i 6 x 2 211 x 1 330 mm koji se međusobno spajaju uzdužnim i poprečnim zavarom. Materijal za izradu plašta je čelik S355J2.



Slika 2 Izrezivanje plašta konzervatora iz pločevine lima [4]

Dimenzije ploče i izrezi definirani crtežom programiraju se u softverskom programu „ZEUS“. Nakon programiranja naredbi, plazma rezač reže pločevinu lima prema zadanim koordinatama i parametrima (Slika 2). Prije nego se pristupilo izradi, sa površine materijala sačmarenjem je potrebno ukloniti naslage hrđe, prašine, masnoća i raznih naslaga koje su se nataložile tijekom vremena. Plazma rezač, osim izrezivanja plašta, primjenjuje se i za markiranje pozicija za razne priključke brzim prolazom, čime se ostvaruje ušteda vremena u izradi (slika 3).



Slika 3 Markiranje ploče konzervatora plazmom [4]

U drugoj fazi izrade, nakon savijanja i markiranja, vrši se predsavijanje i savijanje materijala plašta (slika 4 a. i b.). Prilikom predsavijanja plašta vrhove lima potrebno je savinuti na zadani unutarnji promjer plašta  $D_u = 700$  mm, nakon čega se dimenzijskom kontrolom provjerava primjenom šablone. Nakon izvršenog predsavijanje, plašt konzervatora savija se na zadanu dimenziju u nekoliko prolaza oko valjka kako bi se dobio i zadržao cilindrični oblik konzervatora.



a)



b)

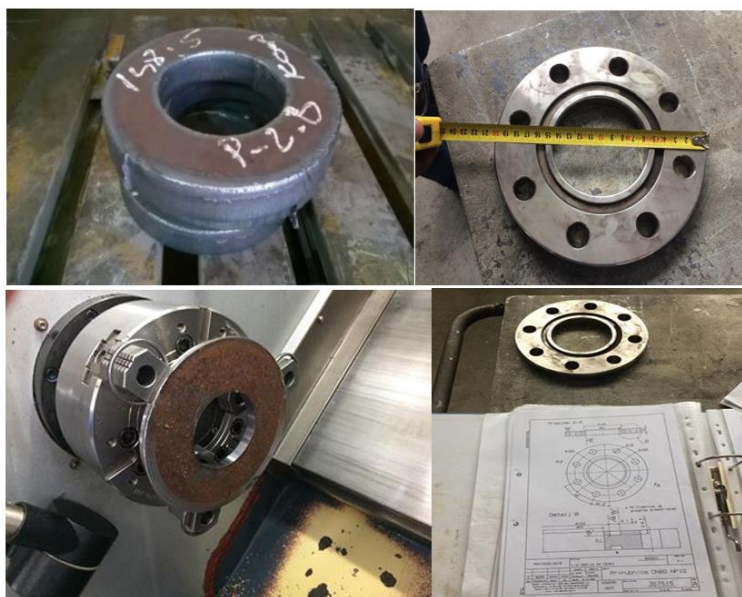
Slika 4 Faza predsavijanja (a) i savijanja (b) plašta konzervatora [4]

Nakon što su faze predsavijanja i savijanja plašta uspješno izvedene slijedi uzdužno zavarivanje jednog i drugog plašta i povezivanje u jednu cjelinu. U slijedećem koraku, na CNC rezaču vrši se rezanje bočnih stijena konzervatora i nožišta konzervatora, koje se zatim savija pod definiranim kutem (slika 5).



Slika 5 Savijanje nožišta konzervatora [4]

Sve prirubnice koje se zavaruju odnosno montiraju na poklopac također se izrezuju iz pločevine lima pomoću CNC rezača na zadanu mjeru. Nakon izrezivanja, dobiveni sirovac dalje se obrađuje postupcima odvajanja čestica (slika 6).



Slika 6 Izrada prirubnice konzervatora [4]

Sljedeća faza je izrada okrugle ploče bočnih stijena konzervatora. Okrugla ploča bočne stijene dio je konzervatora koji se veže izravno na prirubnicu. Radi lakše i preciznije izrade i montaže, okrugla ploča stijene konzervatora buši se na radijalnoj bušilici zajedno sa prirubnicama (slika 7).



Slika 7 Bušenje prirubnica bočne stijene konzervatora [4]

Nakon što su prirubnice na okrugloj ploči bočne stijene konzervatora izbušene, slijedeći korak predstavlja rezanje cijevi na zadanu mjeru pomoću tračne pile. Pomoću regulacijskih vijaka izrađene prirubnice pozicioniraju se na okruglu bočnu stijenu konzervatora. Primjenom odgovarajućih naprava s vijcima, prirubnice se postavljaju u horizontalni položaj, a visina na koju se montira prirubnica definirana je sklopnim crtežem, a zatim se na njih dodatno montiraju izrezane cijevi (slika 8).



Slika 8 Montiranje prirubnice konzervatora na cijev [4]

Nakon montiranja cijevi i prirubnica, potrebno je montirati prirubnice na plašt konzervatora (slika 9). Nakon što je bočna prirubnica montirana slijedi montiranje nožišta konzervatora na plašt i ostalih elemenata.



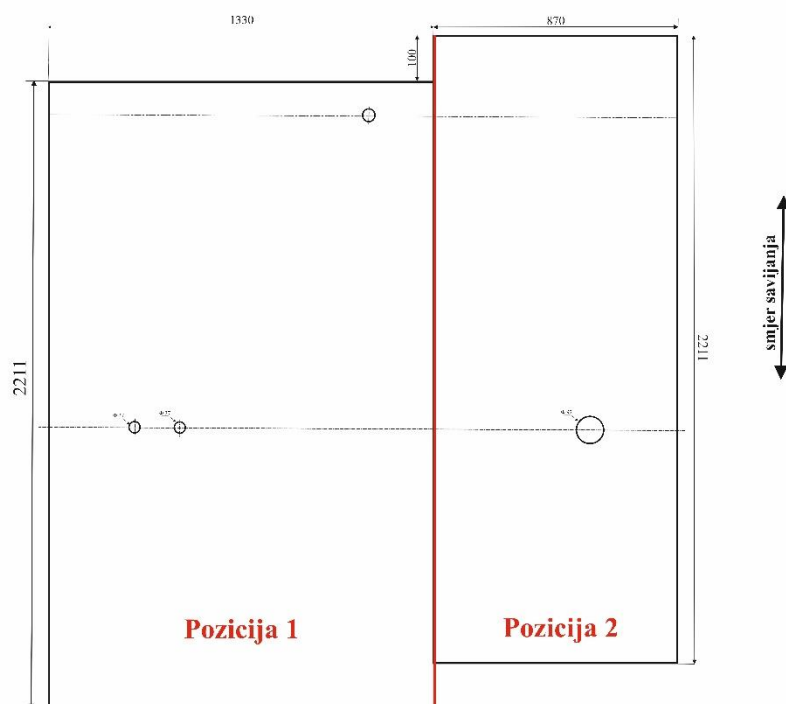
Slika 9 Montiranje prirubnice na plašt konzervatora [4]

#### 4. Tehnologija zavarivanja

Zavarivanje spremnika definirana je normama EN ISO 9692 i EN ISO 2553, a proizvođač je dužan pripremiti sve potrebne certifikate i dokumentaciju sukladno normi EN 729. Svi zavareni spojevi s unutarnje i vanjske strane moraju biti kontinuirani: na vanjskoj strani potrebno je izbjegavati koroziju a na unutrašnjoj strani spremnika izbjegavati ostatke nečistoća nakon zavarivanja i brušenja i prašinu. Najčešći procesi zavarivanja koji se primjenjuju za spajanje pozicija tijekom izrade konzervatora transformatora su MAG (135) i TIG (141) procesi zavarivanja.

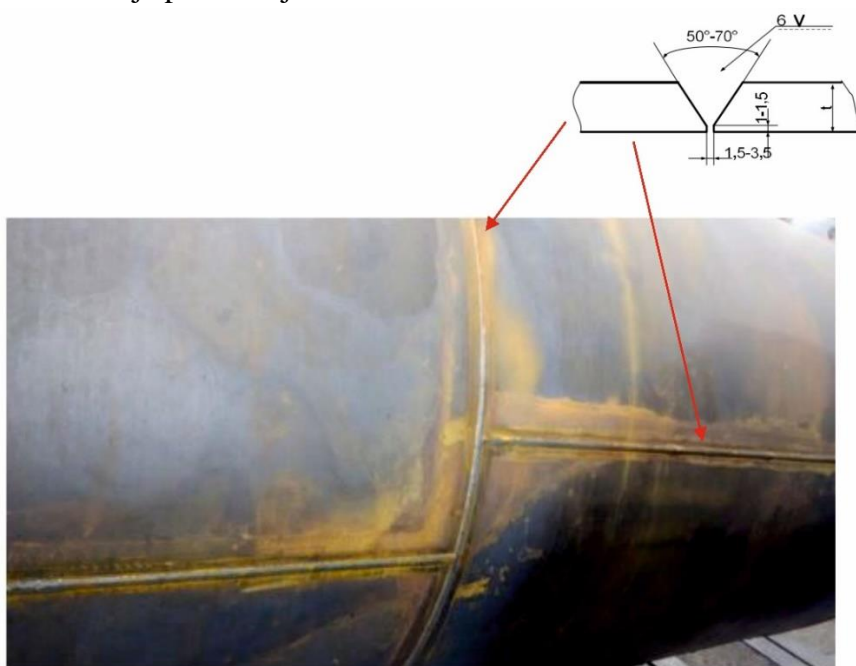
##### 4.1 Spoj plašteva:

Kao što je već navedeno, plašt konzervatora sastoji se od dvije pozicije koje se spajaju procesom zavarivanja. Prilikom izbora pozicije zavara potrebno je voditi računa da se horizontalni i vertikalni zavari ne koncentriraju u jednoj točki. Zavareni spoj ne smije biti smješten na rupe, ovo je riješeno na način da se plašt 1 zamakne 100 mm u odnosu na plašt 2, a crvena linija predstavlja mjesto spajanja plašteva (slika 10).



Slika 10 Prikaz razvijenog oblika plašta konzervatora izrađenog iz dva dijela

Oba plašta konzervatora imaju debljinu od 6 mm i izrađeni su od nelegiranog čelika S355J2, kao dodatni materijal odabrana je žica EZ – SG3 promjera  $\Phi$  1,2 mm za MAG proces, položaj zavarivanja PA. Prije spajanja pozicija plašta izvedena je V- priprema žlijeba za zavarivanje. Zavar je izveden u dva prolaza u zaštiti plinske mješavine Ar (82 %) i CO<sub>2</sub> (18%) protoka 10 – 18 l/min, predgrijavanje prije samog zavarivanja se nije vršilo, a temperatura između slojeva iznosila je 200°C. Korištene jakosti struje bile su: korijenski prolaz (135 – 145 A), popuna (190 – 210 A). Spoj pozicija plašteva MAG procesom zavarivanja prikazan je na slici 11.

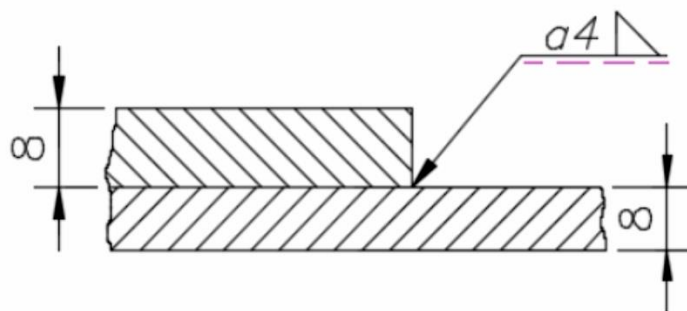


Slika 11 Prikaz zavarenog spoja plašteva MAG procesom

#### 4.2 Spoj plašta i nožišta:

Kako bi se konzervator mogao pričvrstiti na vrh transformatora potrebno je dodati nožište u podnožje konzervatora. Nožište je u stvari običan L – profil koji se zavaruje na područje markirano plazma rezačem na plašt konzervatora. Dobiveni L – profili se najprije vijcima pričvršćuju na noge konzervatora, te se zajedno namještaju na markirani dio ploče poklopca. Nakon što je cjelokupan sklop pričvršćen postavlja se u horizontalni položaj te zavaruje MAG procesom.

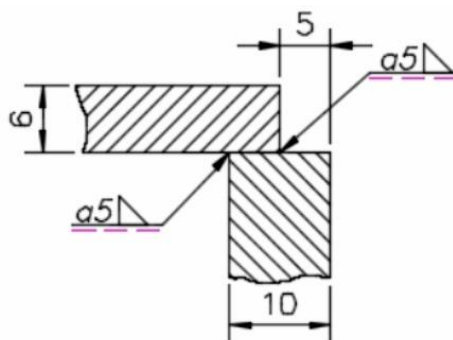
Materijal za izradu plašta i nožišta je jednak (nelegirani čelik S355J2), kao dodatni materijal odabrana je žica EZ – SG3 promjera  $\Phi$  1,2 mm za MAG proces, položaj zavarivanja PB. Zavar je izveden u jednom prolazu u zaštiti plinske mješavine Ferroline C 18 Ar + 18%CO<sub>2</sub> protoka 14 – 18 l/min, predgrijavanje prije samog zavarivanja se nije vršilo, a temperatura između slojeva iznosila je 200°C. Korištene jakosti struje kretale su se u rasponu od 205 – 235A. Spoj pozicija plašta konzervatora i nožišta MAG procesom zavarivanja prikazan je na slici 12.



Slika 12 Prikaz zavarenog spoja plašta i nožišta MAG procesom

#### 4.3 Spoj plašta i prirubnica:

Zavareni spoj plašta i prirubnica također se izvodio pomoću MAG procesa zavarivanja, prirubnica je od istog materijala kao i plašt konzervatora (nelegirani čelik S355J2). Od dodatnog materijala odabrana je žica EZ – SG3 promjera  $\Phi$  1,2 mm za MAG proces, položaj zavarivanja PB. Zavar je izveden u jednom prolazu u zaštiti plinske mješavine Ferroline C 18 Ar + 18%CO<sub>2</sub> protoka 12 – 18 l/min, predgrijavanje prije samog zavarivanja se nije vršilo. Korištene jakosti struje kretale su se u rasponu od 230 – 260 A. Spoj pozicija plašta konzervatora i nožišta MAG procesom zavarivanja prikazan je na slici 13.

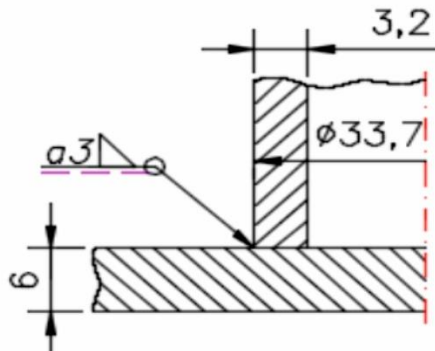


Slika 13 Prikaz zavarenog spoja plašta i prirubnice MAG procesom



#### 4.4 Spoj cijevnih priključaka i plašta:

Kao dodatni materijal koji se koristio za spajanje plašta konzervatora i priključka ( $D_u - 33,7$ ,  $s - 3,2$  mm) odabrana je wolframova crvena elektroda WT20 promjera  $\Phi 2,4$  mm za TIG proces, položaj zavarivanja PB. Zavar je izveden jednom prolazu u zaštiti Argona 4.8 protoka 9 – 12 l/min, predgrijavanje prije samog zavarivanja se nije vršilo. Korištene jakosti struje bile su 90 – 115 A. Spoj pozicija plašta i cijevnih priključaka TIG procesom zavarivanja prikazan je na slici 14.



Slika 14 Prikaz zavarenog spoja plašta i priključaka TIG procesom

#### 5. Završna kontrola kvalitete u izradi konzervator transformatora

Niti jedan proizvod ne dobiva status gotovog proizvoda i ne stavlja se u opticaj na tržište prije nego li sve radnje kontrole kvalitete definirane dokumentacijom ne budu izvršene na zadovoljavajući način i prije nego što vezana dokumentacija i podaci na njima ne budu dostupna i prihvaćena od strane odgovorne osobe. Uz vizualnu kontrolu kvalitete, za proizvode poput konzervatora također je potrebno provesti i ispitivanje nepropusnosti zavarenom spoja na trafo ulje primjenom penetrantskom metodom.

##### 5.1 Penetrantska metoda ispitivanja

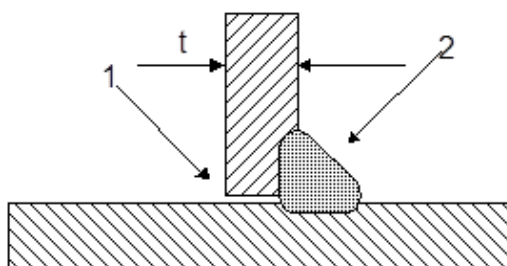
Penetrantska metoda ispitivanja primjenjuje se kako bi se ispitala nepropusnost zavarenih spojeva na trafo ulje, a zavareni spojevi koji se testiraju posebno su označeni unutar crteža ili u WPAR – u.

Postupci koji se provode su: [5]

- ◆ Postupak I: ispitivanja nepropusnosti na trafo ulje kutnih zavarenih spojeva,
- ◆ Postupak II: ispitivanja nepropusnosti na trafo ulje sučeljenih zavarenih spojeva,
- ◆ Postupak III: ispitivanja nepropusnosti na trafo ulje jednostranih i obostranih zavarenih spojeva

**Postupak I:** Ispitivanje nepropusnosti na trafo ulje kutnog zavarenog spoja [5]

Na pripremljenu površinu zavarenog spoja koji se ispituje nanosi se tanki sloj penetranta (florescentni HELLING" - MET – L – CHEK - FP93TU u primjeru ) našpricanjem (iz limenke) ili pomoću kista. Vrijeme penetracije, koje ovisi o temperaturi i stanju pripremljenosti ispitne površine zatim nastupa, višak penetranta uklanja se s površine i suši se. Na slici 15 dan je prikaz jednog kutnog zavarenog spoja koji se ispitivao Postupkom I.

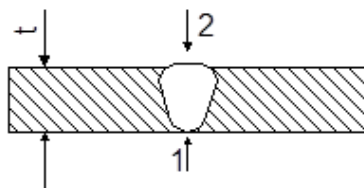


Slika 15 Primjer kutnog zavarenog spoja za ispitivanje Postupkom I

U slijedećem koraku na ispitnu površinu nanosi se razvijač, koji iz (eventualnih) defekata na površini izvlači penetrant nakon određenog vremena, koji pod djelovanjem ultra ljubičaste svjetlosti valne duljine 365 nm postaju uočljive. Procedura za izvođenja Postupka II i Postupka III identična je Postupku I. Nakon provedenog ispitivanja, sa površine je potrebno ukloniti ostatke penetranta i razvijača.

**Postupak II:** ispitivanja nepropusnosti na trafo ulje sučeonih zavarenih spojeva [5]

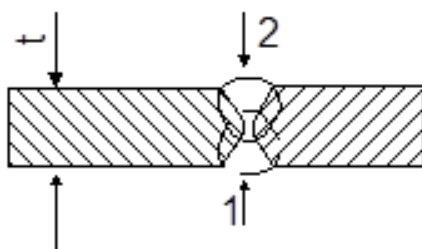
Na slici 16 dan je prikaz jednog sučeonog zavarenog spoja koji se ispitivao Postupkom II.



Slika 16 Primjer sučeonog zavarenog spoja za ispitivanje Postupkom II

**Postupak III:** ispitivanja nepropusnosti na trafo ulje jednostranih i obostranih zavarenih spojeva

Na slici x dan je prikaz jednog obostrano zavarenog spoja koji se ispitivao Postupkom III.



Slika 17 Primjer obostrano zavarenog spoja za ispitivanje Postupkom III

#### Finalne aktivnosti u izradi konzervator transformatora:

U finalne aktivnosti prilikom izrade konzervator transformatora ubrajaju se slijedeće:

- ◆ antikorozivna zaštita površine konzervatora,
- ◆ pakiranje i označavanje,
- ◆ ostali zahtjevi,
- ◆ transport.

## 5.2 Anti korozivna zaštita (AKZ):

Najraširenija tehnologija zaštite konzervatora transformatora od korozije je zaštita premazima, ali u obzir dolaze i druge metode. Priprema površine prije daljnjih aktivnosti zaštite površine definirana je normama EN ISO 8501-1:2007 (Priprema čeličnih podloga prije nanošenja boja i srodnih proizvoda – Vizualna procjena čistoće površine – 1.dio) i EN ISO 12944 - 4 (Boje i lakovi – Zaštita od korozije čeličnih konstrukcija zaštitnim sustavom boja – 4.dio) te shodno tehničkim uputama od strane proizvođača zaštitnog premaza. Priprema površine konzervatora provodi se sačmarenjem mlazom lomljene sačme sve dok se sa površine materijala ne uklone tragovi hrđe, prašine i sl. Ukoliko se u roku od 8 h od provedenog AKZ – a ne pristupi daljnjoj zaštiti materijala potrebno je ponoviti proceduru pripreme površine. [5]

Bojanje konzervatora provodi se u dva koraka (slika 18):

- ◆ unutrašnjost spremnika boja se s premazom otpornim na ulje (zbog detekcije eventualnih oštećenja najčešće se svijetla boja),
- ◆ vanjska površina spremnika prvo se tretira temeljnim premazom, a nakon što se osuši, nanosi se završni sloj premaza u boji koju krajnji kupac definira.
- ◆ nakon što je nanešena boja, konzervator se suši na temperaturi do 120°C u vremenu od 2 – 2.5 h.



Slika 18 Zaštita vanjskih površina konzervatora premazom [4]

Nakon sušenja konzervatora potrebno je izvršiti provjeru debljine sloja premaza kako bi se utvrdio da li se kreće unutar definiranog raspona (slika 19). Odstupanja od traženih vrijednosti debljine sloja premaza toleriraju se isključivo teško dostupnim segmentima konzervatora i najviše 20  $\mu\text{m}$  od zahtijevane vrijednosti.



Slika 19 Mjerenje debljine sloja zaštitnog premaza [4]

## 6. Zaključak

U radu je prikazan tehnološki postupak izrade spremnika za trafo ulje odnosno konzervatora. Transformatorsko postrojenje predstavlja kompleksan proizvod sastavljen od velikog broja komponenti. Tehnološki postupak izrade navedenog proizvoda sastoji se od niza tehnologija, od kojih zavarivanje igra važnu ulogu. Proces zavarivanja predstavlja jednu od najvažnijih tehnika spajanja materijala koji su izloženi djelovanju agresivnog medija, promjenjivog opterećenja, visokim ili niskim temperatura i tlakova i sl. U mnogim slučajevima upravo se zavarivanje nameće kao najtehnološnije rješenje (spajanje uz najniže troškove i postizanje tražene razine kvalitete)

Za uspješnu i kvalitetnu izradu konzervatora osim primjene odgovarajuće tehnologije vrlo važan čimbenik je i izbor odgovarajućeg materijala te poštivanje zahtijeva koji su definirani normama. Sljedeći važan čimbenik je kvalitetan kadar visokog stupnja obrazovanja i poznavanja tehnologija zastupljenih u izradi konzervatora transformatora.

## 7. Literatura

- [1] Skalicki, Božidar; Grilec, Josip: *Električni strojevi i pogoni*, Fakultet strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu, 2005., 342 str.
- [2] Goić, Ranko.: *Distribucija električne energije*, interna skripta, Fakultet elektrotehnike, strojarstva i brodogradnje Split, 2008.
- [3] Jovičić Radomir et al. : Inspection, non-destructive tests and repair of welded pressure equipment, *Structural Integrity And Life* Vol. 16, No 3 (2016), ISSN 1451-3749, pp. 187–192
- [4] Đaković Domagoj: Tehnološki proces izrade konzervatora transformatora, diplomski rad, Strojarški fakultet u Slavonskom Brodu, 2016., pp. 45 - 52
- [5] Interna dokumentacija tvrtke Metal dekor d.o.o., Ivanovec