

TEHNOLOGIJA IZRADE PLAŠTA CISTERNE

Marija Stoić¹, Josip Gavran², Branko Grizelj³, Maja Čuletić Čondrić⁴, Slavica Kladarić⁴, Olivera Maglić⁵

^{1, 3, 4, 5} Sveučilište u Slavenskom Brodu, Tehnički odjel
² Đuro Đaković Specijalna vozila d.d.

Ključne riječi: plazma rezanje, savijanje, MAG zavarivanje, tehnologija, cisterna

Key words: metal bellows, technology, forming, rigidity of the bellows

Sažetak: Rad opisuje tehnologiju izrade plašta vagonске cisterne za prijevoz kalcijevog karbonata u tekućem stanju. Zbog agresivnosti medija koji se prevozi postavljen je i poseban zahtjev na materijal izrade plašta koji treba biti korozijski postojan. Za izradu plašta odabran je korozijski postojan čelik X2CrNi18-9. Dan je detaljan opis postupaka pojedinih tehnologija kao što je postupak rezanja na plazma rezačici, postupci predsavijanja i savijanja te postupak zavarivanja. Za svaki od postupaka dani su odgovarajući parametri korišteni pri obradi odnosno zavarivanju plašta. Stroj za rezanje plazmom, hidraulička preša i valjci za savijanje korišteni pri obradi su CNC strojevi, a MAG postupak zavarivanja je automatiziran. U svrhu lakšeg provođenja zavarivanja, a zbog specifičnosti konstrukcije, izrađena je naprava za zavarivanje segmenata plašta.

Abstract: The paper describes the technology of making a mantle of a wagon tank for the transport of calcium carbonate in the liquid state. Due to the aggressiveness of the media being transported, a special requirement has been placed on the material of the mantle, which should be corrosion-resistant. Corrosion-resistant steel X2CrNi18-9 was chosen to make the mantle. A detailed description of the processes of certain technologies is given, such as the process of cutting on a plasma cutter, the processes of pre-bending and bending, and the process of welding. For each of the procedures, the appropriate parameters used in the processing or welding of the mantle are given. The plasma cutting machine, hydraulic press and bending rollers used in the machining are CNC machines and the MAG welding process is automated. In order to facilitate the welding, and due to the specifics of the construction, a device for welding the segments of the mantle was made.

1 UVOD

Vagon cisterna (slika 1.) namijenjena je za prijevoz kalcijevog karbonata u tekućem stanju. Kalcijev karbonat u prirodi je najrašireniji spoj kalcija, a nalazi se, na primjer, u vapnencu, mramoru i glavni je sastojak školske krede. Između ostalih mnogobrojnih primjena kalcijev karbonat se koristi za izradu papira obzirom da je jeftiniji od drvenih vlakana. Zadaća spremnika je prijevoz kalcijevog karbonata u tvornice za proizvodnju papira. Spremnik je toplinski izoliran zato što se kalcijev karbonat transportira u toplom tekućem stanju radi lakšeg kasnijeg istovara. Plašt spremnika izrađen je od korozijski postojanog čelika Cr-Ni čelika zbog agresivnosti kalcijevog karbonata.

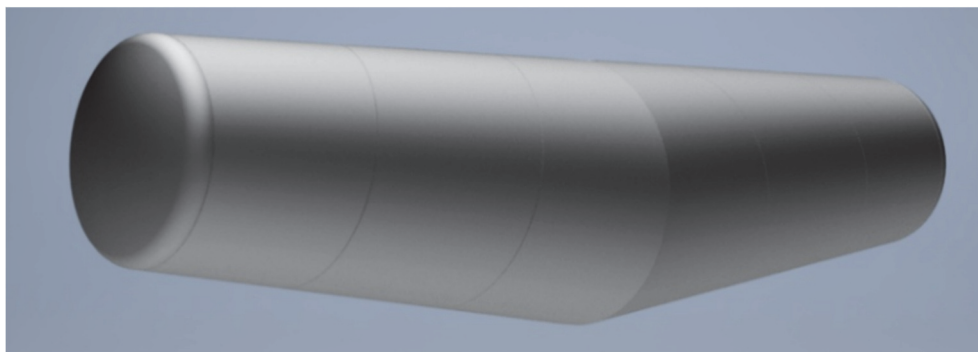


Slika 1. Vagon cisterna [1]

Plašt cisterne (slika 2.) se izrađuje kroz nekoliko faza proizvodnje koristeći tehnologije oblikovanja metala deformiranjem, obradu odvajanjem čestica, zavarivanje i površinsku zaštitu. Kao poluproizvod koriste se limene ploče koje se režu postupkom plazma rezanja. Unapređenje postupka plazma rezanja omogućava djelotvornu primjenu ovog postupka za rezanje raznih vrsta i debljina korozijski postojanih čelika.

Izrezani segmenti obrađuju se dalje savijanjem na valjcima. Zbog elastičnog povrata materijala, ali i zbog ograničenja stroja za savijanje, izvodi se predsavijanje lima na hidrauličnoj preši.

Nakon oblikovanja lima u konusne segmente plašta, segmenti se spajaju zavarivanjem u cjelinu i tako tvore plašt cisterne. Za zavarivanje je korišten MAG postupak elektrolučnog zavarivanja taljivom elektrodom u zaštitnoj atmosferi aktivnog plina.



Slika 2. Plašt cisterne

2 MATERIJAL IZRADE PLAŠTA CISTERNE

Plašt se izrađuje od korozijski postojanog čelika X2CrNi18-9 zbog agresivnosti kalcijevog karbonata.

X2CrNi18-9 je jedan od najčešće primjenjivanih austenitnih čelika s niskim sadržajem ugljika. Austenitni korozijski postojani čelici uglavnom sadrže 0,02-0,15% C, 15-20% Cr, 7-20% Ni, uz moguće dodavanje određene količine molibdena, titana, niobija, tantala, dušika. Svi dodaci, osim dušika, dovode do pojave ferita u mikrostrukтури.

Ovi materijali su dobro zavarljivi, a budući da sadrže više od 12% Cr otporni su na koroziju i oksidaciju. Tablica 1 prikazuje mehanička svojstva te oznake odabranog čelika prema različitim standardima.

Tablica 1. Oznake po standardima i mehanička svojstva X2CrNi18-9 čelika [2]

	standardi			Mehanička svojstva			
	EN	HRN	AISI	$R_m / \text{N/mm}^2$	$R_{p0,2} / \text{N/mm}^2$	$A_5 / \%$	KV / J
X2CrNi18-9	1.4307	Č45701	304 L	450-700	175	50	85

Nakon izrade spremnika i postavljanja na ostatak konstrukcije na plaštu spremnika se provodi pasivizacija. Pasivizacija je rijetko potrebna za poboljšanje antikorozijskih svojstava i nije potrebna ako je materijal pravilno pripremljen i obrađen no pasivizacija je efektivan način da se osigura čista površina materijala koja može biti kontaminirana prašinom iz pogona. Takva prašina može sadržavati čestice čelika koji nemaju antikorozijska svojstva npr. iz nekih drugih procesa proizvodnje što može uzrokovati koroziju na površini.

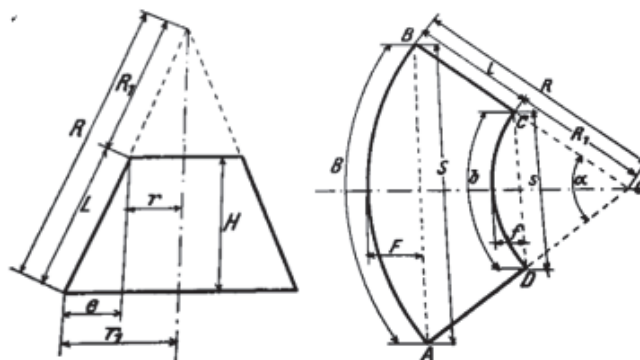
Alat koji se koristi pri izradi plašta bi trebao biti izrađen od austenitnog korozijski postojanog čelika, ali i dodirne površine naprave za zavarivanje, alati i potrošni materijal poput brusnih ploča, moraju biti od materijala koji neće prouzrokovati koroziju na materijalu plašta. Debljina ploča za izradu plašta je 5,5 mm.

3 TEHNOLOGIJA IZRADE PLAŠTA

3.1 Izrezivanje segmenata plašta

Plašt cisterne izrađen je od dva ista konusna plašta (slika 2.), a svaki konus je izrađen od tri (četiri) segmenata plašta, dizajnirana tako da pri rezanju lima ostaje što manje otpada uzimajući u obzir relativno visoku cijenu limenih ploča od materijala X2CrNi18-9.

Prije izrezivanja segmenata potrebno je izračunati dimenzije istih. Pri izračunu dovoljno je izračunati samo jednu polovicu plašta, a prikaz razvijenog oblika dan je na slici 3.



Slika 3. Potrebne dimenzije za izračun razvijenog elementa, savijeni konus lijevo i razvijeni oblik konusa desno [3]

Razliku između manjeg i većeg promjera konusa računamo:

$$e = r_1 - r \quad (1)$$

Pri čemu je: r_1 - duljina između sredine konusa do ruba većeg promjera konusa, r - duljina između sredine konusa i ruba manjeg promjera konusa.

Bočne stranice konusa računamo:

$$L = \sqrt{e^2 + H^2} \quad (2)$$

Pri čemu je: e - razlika između manjeg i većeg promjera konusa, H - visina konusa.

Duljina od većeg kružnog luka do sjecišta stranica računamo:

$$R = \frac{L \cdot r_1}{e} \quad (3)$$

Pri čemu je: L - duljina stranice konusa.

Duljina većeg kružnog luka razvijenog konusa računamo:

$$B = 2 \cdot r_1 \cdot \pi \quad (4)$$

Duljina manjeg kružnog luka razvijenog konusa računamo:

$$b = 2 \cdot r \cdot \pi \quad (5)$$

Duljinu od ishodišta do manjeg kružnog luka:

$$R_1 = R - L \quad (6)$$

Kut stranica konusa se može računati:

$$\alpha = \frac{B}{\frac{2 \cdot R \cdot \pi}{360}} = \frac{180 \cdot B}{R \cdot \pi} = \frac{180 \cdot 2 \cdot r_1 \cdot \pi}{R \cdot \pi} = \frac{360 \cdot r_1}{R} = \frac{360 \cdot e}{L} \quad (7)$$

Duljina između točaka većeg kružnog luka, prema slici 3.2 veći luk je omeđen točkama A i B:

$$S = 2 \cdot \left[R \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \quad (8)$$

Duljina između točaka manjeg kružnog luka, prema slici 3.2 manji luk je omeđen točkama C i D:

$$s = 2 \cdot \left[R_1 \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \quad (9)$$

Visina većeg kružnog luka:

$$F = R \left[1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \quad (10)$$

Visina manjeg kružnog luka:

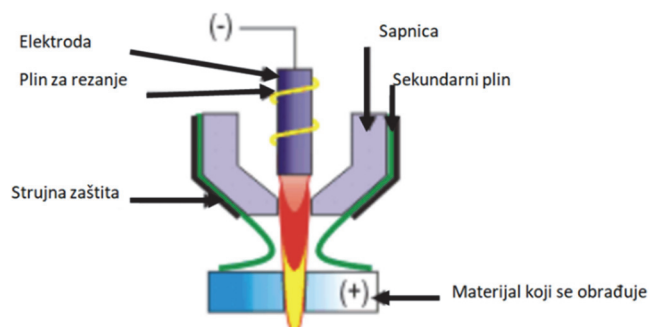
$$f = R_1 \left[1 - \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \right] \quad (11)$$

Rezanje segmenata plašta radi se na plazma rezačici.

3.1.1 Rezanje na plazmi

Plazma rezanje je nekonvencionalni postupak obrade materijala koji pripada tehnologiji obrade odvajanjem čestica.

Rezanje plazmom je postupak rezanja koji se zasniva isključivo na energiji dovedenoj izvana. Radni komad se tali, a nastalu talinu izbacuje mlaz plinova koji se koriste za stvaranje plazme. Plazmeni mlaz dobiva se tlačenjem određenog plina kroz električni luk. Električni luk se uspostavlja između volframove elektrode spojene na negativni pol izvora struje i radnog komada (preneseni luk) ili sapnice pištolja uređaja (nepreneseni luk) spojene na pozitivni pol. Slika 4. prikazuje rezanje plazmom.



Slika 4. Rezanje plazmom [1]

Glavni parametri rezanja plazmom su:

- snaga plazme,
- brzina rezanja, ovisi o debljini materijala,
- vrsta i količina/protok plazmenog (i sekundarnog) plina/plinske mješavine,
- udaljenost mlaznice od radnog komada

3.1.2 Parametri za izrezivanje segmenata plašta

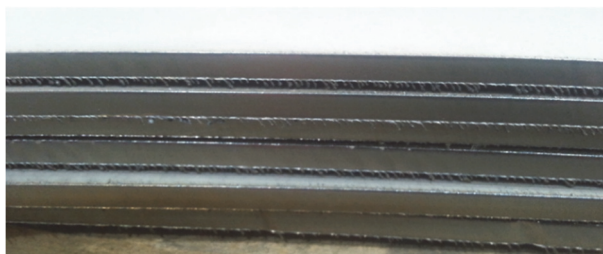
Materijal je rezan na plazma rezačici, model Suprarex HDX proizvođača ESAB.

Tijekom rezanja prema uputama proizvođača za odabrani materijal korišteni su sljedeći parametri:

- napon plazme 155 V, jakost struje 100 A,
- brzina rezanja za X2CrNi18-9 debljine 5,5 mm je 2160 mm/min,
- za plazmeni plin koristi se plin F5 (mješavina 95% dušika N_2 i 5% Vodika H), sekundarni plin je Dušik N_2 ,
- tlak plazmenog plina inicijalno 1,03 bar (samo N_2) te tijekom rezanja 3,79 bar,
- protok sekundarnog plina inicijalno i tijekom rezanja 5,66 m^3/min ,
- udaljenost mlaznice od radnog komada inicijalno 4 mm, tijekom rezanja 3,3 mm.

Kvaliteta reza na plazma rezačici: Definirana kvaliteta površine prema dokumentaciji iznosi Ra50. Iako su rubovi segmenta plašta odrezani pod kutom 65° , rez se naknadno dodatno obrađuje i oblikuje se žljeb za zavarivanje. Stoga se kvaliteta reza nakon rezanja plazmom provjerava vizualno. Ako su uočena veća odstupanja, pristupa se i dimenzionalnoj kontroli.

Prikaz reza nakon rezanja na plazma rezačici dan je na slici 5.



Slika 5. Izgled reza nakon rezanja na plazma rezačici

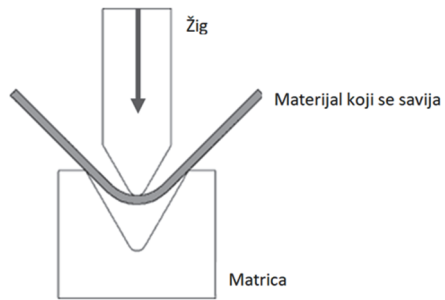
Na slici 5 vidljive su nečistoće na površini reza u obliku sloja oksidiranog, rastaljenog materijala naljepljenog na samoj površini reza ili na ivici reza. Ovakve nečistoće mogu prouzročiti greške u zavarenom spoju te se stoga radi dodatna priprema za zavar. Priprema žlijeba izvodi se brušenjem ručnim alatom, a za brušenje se preporuča korištenje brusnih ploča za brušenje korozijski postojanih čelika.

3.2 Predsavijanje

Predsavijanje se radi na dijelu lima koji nije moguće saviti na valjcima zbog ograničenja stroja. Predsavijanje se radi na hidrauličnoj preši za savijanje. A izvodi se metodom slobodnog savijanja. Kako bi se izbjegle pogreške pomoću odgovarajuće naprave obilježavaju se linije savijanja.

Slobodno savijanje na prešama se izvodi tako da materijal kojeg obrađujemo postavljamo na alat odnosno na dva oslonca, a žig određenom silom deformira materijal pritiskujući ga u alat ili između oslonaca, što je vidljivo na slici 6.

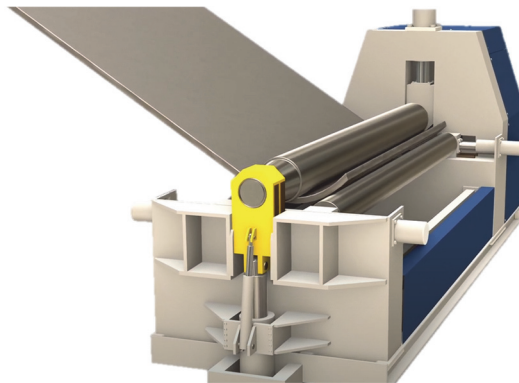
Radijus žiga nije bitan za postizanje određenog kuta jer kako žig prolazi (propada) dublje između oslonaca veći je i kut savijanja. Na taj način se s jednim žigom mogu saviti veći kutevi.



Slika 6. Skica slobodnog savijanja [1]

3.3 Savijanje plašta

Savijanje preko valjaka se primjenjuje kod izrade cilindričnih posuda većeg promjera D u odnosu na debljinu lima s . Izvodi se na strojevima za savijanje koji se sastoje od tri ili četiri (ovisi o modelu stroja) paralelno postavljena valjka. Slika 7. prikazuje stroj za savijanje koji se sastoji od dva donja i jednog gornjeg valjka, a slika 8 prikazuje savijanje plašta cisterne. Donji valjci služe kao oslonac i mogu se pomicati po visini i širini, ovisno o promjeru koji se savija te se time određuje polumjer savijanja. Osim polumjera savijanja moguće je dobiti i željeni oblik poput savinutih ploča, konusa, cilindara ili cijevi.

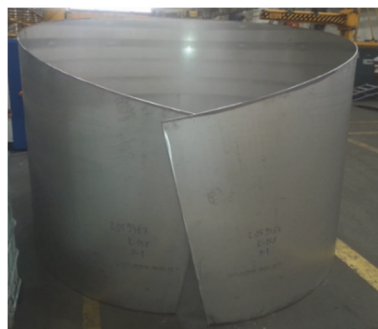


Slika 7. Savijanje preko valjaka [1]



Slika 8. Savijanje plašta cisterne

Slika 9. prikazuje savijeni segment plašta.



Slika 9. Savijeni segment plašta

3.4 Zavarivanje plašta

Zavarivanje je spajanje dvaju ili više, istorodnih ili raznorodnih materijala, taljenjem ili pritiskom, sa ili bez dodavanja dodatnog materijala, na način da se dobije homogen zavareni spoj (zavareni spoj bez grešaka sa zahtjevanim mehaničkim i ostalim svojstvima). Zavareni spoj je cjelina ostvorena zavarivanjem, koja obuhvaća dodirne dijelove zavarenih komada, a karakterizirana je međusobnim položajem zavarenih dijelova i oblikom njihovih zavarenih krajeva.

Prednosti zavarenih spojeva:

- Velika nosivost; nosivost je približno jednaka nosivosti osnovnog materijala.
- Tanje stjenke zavarenih konstrukcija u odnosu na lijevane, kovane ili zakovične spojeve (konstrukcije).
- Masa zavarenih konstrukcija je i do 50% manja u odnosu na lijevane, kovane i zakovične spojeve konstrukcija, a pri tome se zadržavaju dobra mehanička svojstva.
- Jednostavnije oblikovanje konstrukcija u odnosu na one dobivene kovanjem ili lijevanjem.
- Nisu potrebni modeli ili kalupi.
- Ekonomičnost, posebno za mali broj proizvoda.

Nedostatci zavarenih spojeva:

- Zavarivanje materijala s jednakim ili približno jednakim svojstvima.
- Mogućnost pojave zaostalih naprezanja na mjestu spoja zbog lokalnog zagrijavanja i neravnomjernog rastezanja i skupljanja materijala, a kako bi se otklonila, obradak treba podvrgnuti postupku toplinske obrade nakon zavarivanja.
- Potrebne su pripreme obradka za postupak zavarivanja (oblikovanje žlijeba, čišćenje materijala).
- Zavarene konstrukcije su podložnije koroziji te je potrebna dodatna zaštita od korozije.
- Manja je sposobnost prigušenja vibracija.
- Nije pogodno za složene oblike konstrukcija.
- Kvaliteta spoja ovisi o iskustvu i sposobnostima zavarivača.

Za zavarivanje plašta cisterne koristi se MAG postupak zavarivanja. MAG (eng. Metal Active Gas) je postupak elektrolučnog zavarivanja kod kojeg taljenje metala nastaje djelovanjem topline električnog luka uspostavljenog između žice (DM, dodaje se konstantnom brzinom kroz pištolj za zavarivanje) i materijala kojeg zavarujemo (OM), a cijeli proces se izvodi u zaštitnoj atmosferi plina koji se pod određenim tlakom dodaje kroz sapnicu pištolja.

Prednosti i nedostaci MAG zavarivanja

Prednosti MAG zavarivanja:

- mogućnost zavarivanja svih vrsta metala,
- pogodan i za pojedinačnu i za masovnu proizvodna,
- može se zavarivati u svim položajima,
- nema gubitka vremena zbog izmjene elektrode,
- mogućnost automatizacije i robotizacije,
- ostvaruje se zavar dobre kvalitete i dobrih mehaničkih svojstava.

Nedostaci MAG zavarivanja:

- kod poluautomatskog zavarivanja kvaliteta zavara ovisi o vještini zavarivača,
- zbog plinova pri zavarivanju treba voditi računa o dobroj ventilaciji,
- kod loše postavljenih parametara dolazi do „prskanja“ i stvaranja naljepaka.

Kako bi se ostvarila željena kvaliteta zavara bitno je pravilno odrediti parametre zavarivanja koji utječu na način prijenosa materijala, stabilnost električnog luka, pojavu prskanja, geometriju zavara i kvalitetu spoja.

Glavni parametri kod MAG zavarivanja su:

- napon zavarivanja (U) - kreće se u granicama od 16 do 26 V,
- jakost struje zavarivanja (I) - ovisno o promjeru žice za zavarivanje, od 80 A do 180 A,
- brzina zavarivanja (v) - ovisi o primijenjenoj tehnici zavarivanja (povlačenje ili njihanje), promjeru žice za zavarivanje i parametrima zavarivanja, orijentacijski od 2 do 4 mm/s.

Zavarivanje plašta se izvodi na napravi za zavarivanje, slika 10. Naprava je konstruirana i proizvedena za potrebe izrade plašta cisterne. Prvo se sastavljaju i zavaruju polovice plašta što prikazuje slika 11. Nakon sastava svih segmenata plašta u spremnik, isti se postavlja u napravu koja rotira spremnik i segmenti se automatski zavaruju MAG postupkom, prikazano na slici 12.



Slika 10. Naprava za zavarivanje segmenata plašta cisterne



Slika 10. Zavarivanje jedne polovice spremnika u napravi



Slika 12. Zavarivanje dvaju polovica spremnika u napravi

Zavarivanje plašta izvodi se prema izrađenim uputama za zavarivanje (WPS):

- Naziv objekta - spremnik vagona.
- Broj crteža.
- Postupak zavarivanja - MAG.
- Tip procesa - djelomično mehanizirani.
- Vrsta spoja - sučeljeni.
- Skica spoja.
- Debljina materijala - lim 5,5.
- Materijal - 1.4307, X2CrNi18-9, AISI 304 L, S355J2.
- Simbol vrste spoja.
- Dodatni materijal, naziv i proizvođač te klasifikacija.
- Jakost struje - od 140 do 170 A.
- Napon - od 22 do 24 V.
- Zaštitni plin - 97,5 % Ar + 2,5 % CO₂.
- Temperatura predgrijavanja.
- Međuslojna temperatura.

Kontrola kvalitete obuhvaća vizualnu kontrolu zavara, radiografsku kontrolu uzoraka te nakon završetka montaže svih potrebnih dijelova koje čine sklop spremnika provodi se tlačno testiranje vodom u svrhu provjera propusnosti zavara.

4 ZAKLJUČAK

U radu je detaljno opisana tehnologija izrade plašta za vagonsku cisternu. Opisani su postupci pojedinih tehnologija koje su se koristile pri izradi plašta. Segmenti plašta reznani su iz ploča lima postupkom plazma rezanja te su u radu dani osnovni parametri korišteni u postupku rezanja. Izrezane segmente bilo je potrebno saviti u plašt na valjcima za savijanje. Zbog ograničenja stroja bilo je potrebno napraviti pedsavijanje na hidrauličkoj preši. Savijeni segmenti su zavareni u

plašt postupkom MAG zavarivanja. U radu su dani osnovni parametri zavarivanja. Zbog specifičnosti konstrukcije plašta bilo je potrebno izraditi napravu kako bi se olakšalo zavarivanje te smanjila mogućnost pojave grešaka.

Vagonska cisterna namijenjena je prijevozu kalcijevog karbonata u tekućem stanju. Zbog agresivnosti medija koji se prevozi cisternom, plašt se izrađuje od korozijski postojanog čelika X2CrNi18-9. Debljina materijala je 5,5 mm. Alat koji se koristi pri izradi plašta bi trebao biti izrađen od austenitnog korozijski postojanog čelika, ali i dodirne površine naprave za zavarivanje, alati i potrošni materijal poput brusnih ploča, moraju biti od materijala koji neće prouzrokovati koroziju na materijalu plašta.

5 REFERENCES

- [1] Gavran, Josip (2021). Tehnologija izrade plašta cisterne, Završni rad, Sveučilište u Slavanskom Brodu, Tehnički odjel
- [2] Kožuh, S., Skripta; Specijalni čelici, Sisak: Sveučilište u Zagrebu Metalurški fakultet, 2010.
- [3] Grizelj B.: Oblikovanje lima deformiranjem. Slavonski Brod: Strojarski fakultet u Slavanskom Brodu, 2009.
- [4] Atlija N.: MAG postupak zavarivanja, Diplomski rad, Sveučilište u Rijeci, Filozofski fakultet u Rijeci, Rijeka 2016, URL:<https://zir.nsk.hr/en/islandora/object/ffri%3A826/datastream/PDF>
- [5] Johann Jaschke J.: Die Blechabwicklungen, Springer-Verlag, Berlin, Göttingen, Heidelberg 1962.