

TEHNIČKO-TEHNOLOŠKI ELEMENTI PRIMJENE TAČKASTOG ZAVARIVANJA NA NOSEĆOJ KONSTRUKCIJI I DIZAJNIRANIM ELEMENTIMA NA ŠASIJI I OPLATI TERTNIH KAMIONA OD NERĐAJUĆIH ČELIKA / TECHNICAL AND TECHNOLOGICAL ELEMENTS OF THE APPLICATION OF SPOT WELDING ON THE LOAD-BEARING STRUCTURE AND DESIGNED ELEMENTS ON THE CHASSIS AND BODYWORK OF STAINLESS STEEL TRUCKS

Prof.dr Veljko Vuković¹, Prof.dr Nikola Manojlović², Zoran Stjepanović³, Borislav Kojić⁴

¹Univerzitet za poslovni inženjering i menadžment, Banja Luka,

²Internacionalni univerzitet Travnik

³Evropski univerzitet Brčko distrikt

⁴Mašinska škola, Prijedor

e-mail: v.velja@gmail.com, nikolad.manojlovic@gmail.com, stjepanovicz@hotmail.com, bokikojc@yahoo.com

Stručni članak

<https://www.doi.org/10.58952/zr20261501463>

UDK / UDC 621.791.76:669.14:629.33

Sažetak

U vremenu, ovog i budućeg investicionog razvoja modernih i savremenih teretnih kamionskih transportnih sredstava, sve više se prilazi odabiru nerđajućih i specijalnih materijala u gradnji noseće konstrukcije i dizajniranih enterijera. U ovom radu dati su osnovni tehničko-tehnološki parametri za pouzdano izvođenje elektrootpornog tačkastog zavarivanja, na šasiji i oplati sanduka teretnih kamiona, u skladu sa normama za proračun čvrstoće, a na osnovu sile pritiska od 2,45 MN u liniji ose elementa spajanja sanduka šlepe i kavčenja iste za vučne elemente kamionskog mehanizma. U radu su obrađena istraživanja na osnovu matematičkih i tehničko-tehnoloških elemenata koji čine osnovu za definisanje tehničko-tehnološkog postupka praktične primjene. Odabir i izvodljivost tehnološkog proces je baziran na elementima koji daju punu pouzdanost za bezbjedan proces eksploatacije tehničkog transporta sredstva-teretnog kamiona.

Ključne riječi: elektrootporno, tačkasto, pouzdanost, nerđajući, izvodljivost, otpornost i tvrdoća

JEL klasifikacija: L62, O33, O32

Abstract

In the current and future investment development of modern and contemporary freight truck transport vehicles, the selection of stainless and special materials in the construction of the supporting structure and designed interiors is increasingly being approached. This paper provides the basic technical and technological parameters for reliable performance of electric resistance spot welding on the chassis and body panels of freight trucks, in accordance with the standards for strength calculation, and based on a pressure force of 2.45 MN in the axis line of the trailer body connection element and its coupling to the traction elements of the truck mechanism. The paper deals with research based on mathematical and technical technological elements that form the basis for defining the technical and technological procedure for practical application. The selection and feasibility of the technological process is based on elements that provide full reliability for the safe process of exploitation of the technical transport vehicle - freight truck.

Keywords: electro-resistant, dotted, reliability, stainless, feasibility, resistance and hardness
JEL classification: L62, O33, O32

UVOD

Razvoj savremenih teretnih kamiona zahtjeva primjenu materijala i tehnologija koje obezbjeđuju visoku pouzdanost, sigurnost i dugotrajnost konstrukcije. Nerđajući čelici, zahvaljujući svojoj otpornosti na koroziju i dobrim mehaničkim osobinama, postali su standard u izradi nosećih konstrukcija i oplata. Međutim, njihova specifična toplotno-fizička svojstva nameću posebne zahtjeve u postupcima zavarivanja.

Cilj ovog rada je da se definišu tehničko-tehnološki elementi tačkastog elektrootpornog zavarivanja, kao najpogodnijeg postupka za serijsku proizvodnju šasija i oplata teretnih kamiona. Poseban akcenat stavljen je na izbor materijala, elektrode, opreme i parametara procesa, kako bi se obezbijedila maksimalna čvrstoća spoja i sigurnost u eksploataciji.

1. OSNOVNI MATERIJAL

Za izradu sanduka vagona je odabran nerđajući čelik oznake Č.4572 (JUS), odnosno X2CrNi 18.9 (DIN), koji ima sledeća hemijska i mehanička svojstva, tabela 1.

Tabela 1. Hemijski sastav i mehaničke osobine nerđajućeg čelika Č.4572.

C	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Cr	Ni	Ti	Struktura
0,10	1,0	2,0	0,035	0,025	17-19	9-11	5x%C	Austenit

Granica plastč. Rz N/mm ² min.	Zatezna čvrstoća Rm N/mm ²	Izduženje A5 % min.	Tvrdoća HB
205	490-740	40	130-180

Nerđajući čelici su grupa hromnih, Cr-Ni i Cr-Ni-Mn čelika sa sadržajem hroma iznad 12%, što im obezbjeđuje otpornost na koroziju i zadržavanje metalnog sjaja. Hrom povećava postojanost u oksidativnim sredinama, dok dodavanje Ni, Mn, Mo, Nb i drugih elemenata daje posebne osobine. Njihova široka primjena zasniva se na dobroj otpornosti na koroziju, visokim mehaničkim osobinama na različitim temperaturama, dobroj zavarljivosti i plastičnosti spojeva. Austenitni čelici tipa 18-8 imaju stabilnu strukturu i rastvaraju elemente poput C, N, Mo i Ti. U odnosu na feritne čelike, odlikuju se:

- boljom korozionom postojanošću,
- lakšom obradivošću,
- većom termičkom stabilnošću i zavarljivošću.

Kod njih može doći do izdvajanja ugljenika po granicama zrna i stvaranja karbida hroma, što smanjuje otpornost na koroziju i plastičnost. Čvrstoća se, međutim, može znatno povećati hladnom deformacijom.

2. ZAVARLJIVOST AUSTENITNOG ČELIKA

Za izbor postupaka zavarivanja potrebno je uzeti u obzir toplotno-fizičke osobine austenitnih Cr-Ni čelika:

- Toplotna provodljivost im je oko tri puta manja od niskougljeničnih čelika, što povećava dubinu provarivanja.
- Toplotno širenje je približno 50% veće, pa dolazi do većih unutrašnjih napona i deformacija.
- Električni otpor je 5–7 puta veći, što pogoduje elektrootpornom zavarivanju.

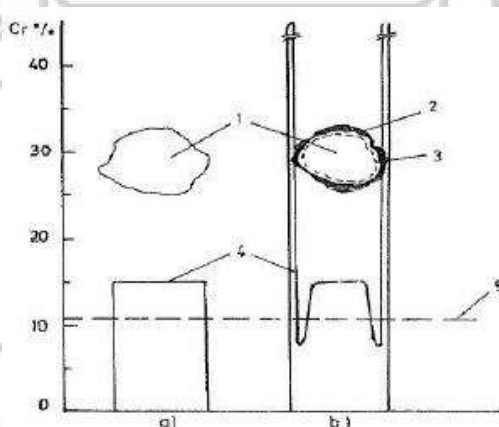
Specifična toplota je oko 20% viša, a temperatura topljenja oko 100°C niža u odnosu na konstrukcione čelike.

Zbog ovih osobina, austenitni čelici se zavaruju manjim energijama, bez potrebe za predgrevanjem ili naknadnom termičkom obradom. Njihova visoka otpornost olakšava elektrootporno zavarivanje i smanjuje rizik od krtih struktura.

2.1. PROBLEMI PRI ZAVRIVANJU AUSTENITNIH NERĐAJUĆIH ČELIKA

Pri zavarivanju austenitnih čelika javljaju se određeni problemi:

- Deformacije nastaju zbog povećanog koeficijenta linearnog istezanja, pa je važno pravilno planirati redosled i, po mogućnosti, primenjivati simetrično zavarivanje.
- Topli prskotine se formiraju usled širenja temperaturnog intervala kristalizacije i sporog hlađenja, naročito kod debljih čelika, velikih preseka šava i čisto austenitne strukture. Osnovni uzrok je pojava tečne faze na granicama zrna.
- Interkristalna korozija je najopasnija i javlja se u zoni uticaja toplote tokom zavarivanja. Nastaje zbog izlučivanja hrom-karbida (Cr_{23}C_6) po granicama zrna, što smanjuje otpornost na koroziju i dovodi do degradacije materijala.



Slika 1. Šema rasporeda hroma u zrnima austenitnog tipa 18/8, sklona interkristalnoj koroziji

a) normalno stanje

b) stanje nakon zagrevanja u kritičnom području (600-800°C)

1 – austenitno zrno

2 – karbidi hroma i železa po granicama zrna

3 – zona osiromašena hromom

4 – dijagram rasporeda hroma

5 – sadržaj hroma (12%) koje garantuje otpornost prema koroziji.

Tako vezani hrom ne deluje više kao slobodni hrom u metalu, te je neposredna blizina granica kristalnog zrna osiromašena u hromu. Posledica je rastvaranje metala po granicama kristalnog zrna, što u integralnom smislu predstavlja interkristalni raspad materijala. Austenitni čelici postaju skloni interkristalnoj koroziji nakon dužeg zagrevanja, u temperaturnom intervalu 500-850°C i sporom hlađenju. Ako se obavi zagrevanje na visokim temperaturama (1100°C), uz brzo hlađenje dolazi do rastvaranja izlučenih karbida i čelik se oslobađa sklonosti ka interkristalnoj koroziji. Interkristalna korozija se može sprečiti uvođenjem u čelik elemenata koji imaju prema ugljeniku veći afinitet nego hrom, te time blokiraju difuziju ugljenika. Takve elemente nazivamo stabilizatori (Ti, Ta, Nb), a njihov sadržaj zavisi od sadržaja ugljenika i kreće se:

- $Ti = 4x\%C$
- $Ta = 16x\%C$
- $Nb = 8x\%C$

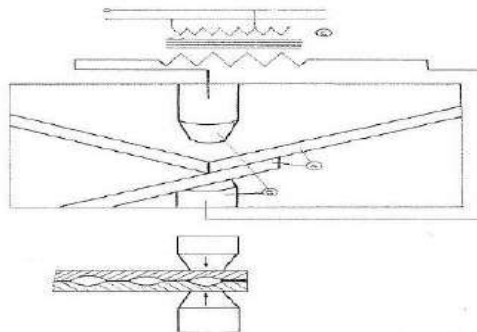
Nedostatak stabiliziranih čelika je u tome što se oni teže poliraju na visok sjaj. Još bolji način je izrada čelika koji sadrže manje od 0,03%C i koji nisu skloni interkristalnoj koroziji. Do nedavno, takva proizvodnja je bila za praksu preskupa.

3. IZBOR POSTUPKA ZAVARIVANJA

Savremena proizvodnja zahtijeva postupke spajanja metala koji zadovoljavaju kriterijume poput zavarljivosti, brzine rada, mogućnosti automatizacije, niske cijene opreme, minimalnih troškova dodatnih materijala, male potrošnje energije i jednostavne obuke kadrova. Po većini ovih kriterijuma elektrootporno zavarivanje ima prednost. Brzina procesa je visoka, a samo laser i elektronski snop mogu biti brži. Posebno, zavarivanje visokofrekventnim strujama višestruko nadmašuje sve poznate postupke. Prednosti su:

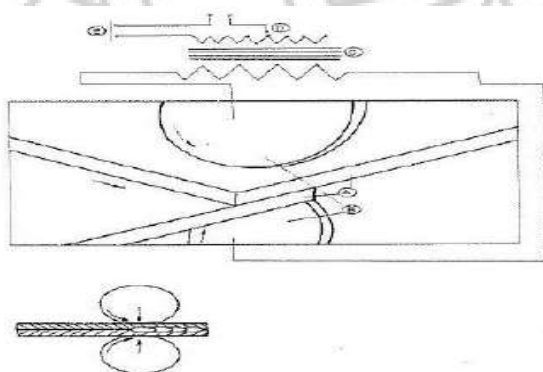
- gotovo neograničene mogućnosti automatizacije,
- nepostojanje troškova dodatnih materijala,
- značajne uštede energije,
- minimalne deformacije,
- kratka obuka operatera.

Danas se procjenjuje da trećina svih zavarenih spojeva nastaje elektrootpornim postupcima, od čega je oko 80% tačkasto zavarivanje. Najvažniji proizvodi izrađeni ovim postupkom su automobili (oko 5000 tačaka), bijela tehnika, vagoni (preko 30.000 tačaka) i avioni (više od milion tačaka). Zbog brzine procesa, upravo je tačkasto zavarivanje bilo prva industrijska primjena robota, a danas preko polovine svih industrijskih robota radi na ovom postupku.



Slika 2. Šematski prikaz tačkastog zavarivanja

- A – Osnovni materijal
B – Elektrode
C – Podesivi transformator



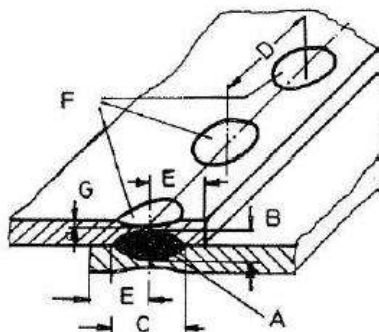
Slika 3. Šematski prikaz kontinualnog elektrootpornog zavarivanja

- A – Osnovni materijal
- B – Tačkasta elektroda
- C – Podesivi transformator
- D – Regulator
- E – Prekidač

Postoje različite definicije ove vrste zavarivanja, a jedna od njih, koja obuhvata bitne elemente postupka bila bi: Zavarivanje električnim otporom (elektrootporno zavarivanje) je operacija koja se sastoji od izvršenja zavarivanja pritiskom, bez dodatnog materijala, koristeći za toplotu efekat prolaska električne struje kroz spoj u veoma kratkom vremenu.

Postoji više načina podele postupaka. S obzirom na to da te podele uključuju niz postupaka veoma ograničenih primena, ovde se neće sve navoditi, već će se ograničiti na najvažnije i najrasprostranjenije. To su:

- tačkasto zavarivanje,
- bradivičasto zavarivanje,
- kolutno (šavno) zavarivanje,
- sučeono (tupo) zavarivanje.



Slika 4. Izgled osnovnih ternina tačkastog zavarivanja prema MIZ-u

- A – Zavarena tačka (sočivo)
- B – Debljina zavarene tačke (sočiva)
- C – Prečnik tačke
- D – Razmak (korak) tačaka
- E – Razlika (od sredine tačke) do ivice dela koji se zavaruje
- F – Otisak
- G – Dubina otiska

Na slici 5.1. je prikazan proces tačkastog, a na slici 5.2. proces šavnog zavarivanja, kao dva najčešće primenjena postupka.

Na slici 5.3. su dati osnovni termini vezani za tačkasto zavarivanje prema MIZ-u.

4. TEORETSKE OSNOVE ELEKTROOTPORN OG ZAVARIVANJA

Količina toplota Q (J) razvijena otporom R (Ω), pri prolasku električne struje niskog napona jačine I (A) kroz oblast od elektrode 1 do elektrode 2, tokom nekog vremenskog intervala t (s), prema Joule-ovom zakonu iznosi:

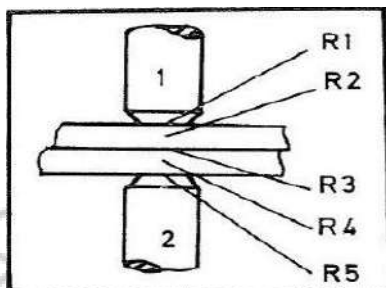
$$Q = \int_0^t RI^2 dt$$

Veličina R (ukupni otpor) definiše se kao zbir pojedinačnih otpora koji se javljaju pri ovom zavarivanju (slika 6.1.)

$$R=R_1+R_2+R_3+R_4+R_5$$

gde je:

- $R1, R5$ – prelazni otpor kontakta između površine delova koji se zavaruju i vrhova elektroda. Zavisí od stanja površine delova koji se zavaruju i sile stezanja elektroda.
- $R2, R4$ – otpor samih delova koji se zavaruju. Zavisí od njihove specifične otpornosti, odnosno od same prirode metala koji se zavaruje.
- $R3$ – prelazni otpor kontakta između dodirnih površina dva dela koji se zavaruju. Zavisí, takođe od stanja njihovih površina i sile stezanja elektroda.

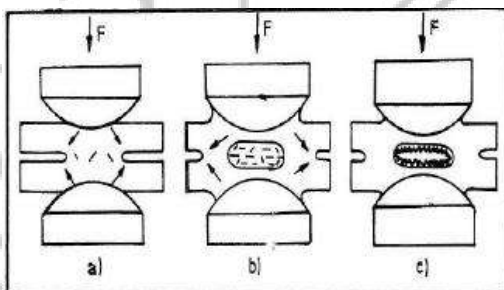


Slika 5. Ukupan otpor od elektrode 1 do elektrode 2

Proces stvaranja zavarene tačke odvija se u tri etape:

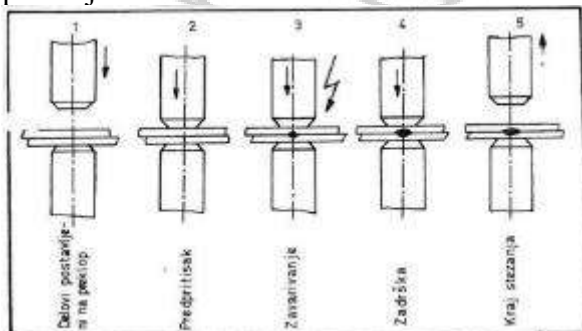
- Formiranje kontakta – uključivanjem struje dolazi do električnog kontakta, zagrijavanja i širenja metala.
- Nastanak jezgra – povećava se kontakt, formira se i raste istopljeno jezgro uz plastične deformacije.
- Hlađenje i kristalizacija – nakon isključenja struje jezgro se hladi, očvršćava omotač, a skupljanje metala može izazvati ulegnuća, šupljine ili naprezanja.

Zavarena tačka nastaje u zatvorenoj zapremini, dok elektrode hlade spoljne površine. Ako se sila između elektroda zadrži i nakon zavarivanja, smanjuje se rizik od unutrašnjih defekata i povećava otpornost spoja.



Slika 6. Etapa formiranja tačkastog spoja

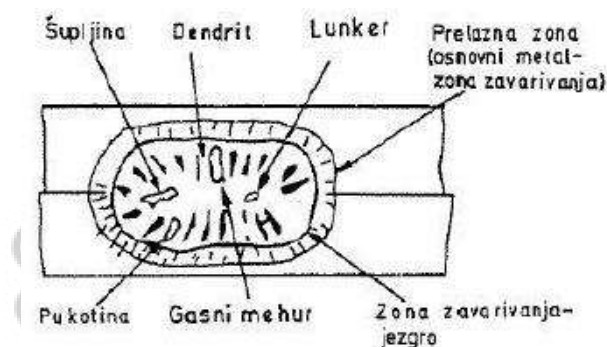
Ako se sila između elektroda zadrži i nakon zavarivanja, istopljeni metal u jezgru se ujednačava, čime se povećava mehanička otpornost spoja i smanjuje nastanak ulegnuća i šupljina. Proces hlađenja počinje od ivica jezgra koje su u kontaktu sa hladnijim okolnim materijalom. Bez dodatne sile, skupljanje metala tokom hlađenja može dovesti do stvaranja šupljina i unutrašnjih naprezanja.



Slika 7. Šematski prikaz pet faza tačkastog elektrootpornog zavarivanja

5. OPŠTE O ELEKTROOTPORNOM ZAVARIVANJU NERĐAJČIH ČELIKA

Elektrootporno zavarivanje nerđajućih čelika često se koristi zbog ekonomičnosti i dobrog kvaliteta spoja, koji se može postići i uz manje kvalifikovane kadrove. Prednost je i manji unos toplote, pa je rizik po kvalitet spoja smanjen. U poređenju sa ugljeničnim čelicima, nerđajući čelici imaju nisku električnu i toplotnu provodljivost, što dodatno olakšava postupak. Sa korozionog aspekta problem može biti zazor kod preklopa, jer prodor korozione sredine izaziva koroziju u zazoru, a pri spajanju različitih materijala („beli“ i „crni“ lim) može doći i do kontaktne korozije.



Slika 8. Prikaz uobičajenih unutrašnjih naprežanja

Pri zavarivanju na vazduhu može doći do oksidacije zatvorenih tačaka, što smanjuje korozioni otpor spoja. Ova pojava se sprečava upotrebom zaštitnih gasova ili zavarivanjem pod vodom. Austenitni čelici zadržavaju svoje elastoplastične osobine i u zavarenim spojevima, pa je rizik od pukotina minimalan. Kod metastabilnih tipova može se formirati delta-ferit, ali njegov sadržaj pri tačkastom zavarivanju obično ne prelazi 1%, pa opasnost ostaje mala. Problemi poznati kod drugih postupaka (interkristalna korozija, sigma faza, krtost na 475°C) ovde su zanemarljivi zbog kratkog vremena zadržavanja u kritičnim temperaturnim zonama. Dodatna prednost austenitnih čelika je mali magnetni uticaj, što smanjuje gubitke pri zavarivanju velikih preseka u sekundarnom strujnom kolu.

6. ELEKTRODE ZA ELEKTROOTPORNO ZAVARIVANJE

Prvi materijal za elektrootporno zavarivanje bile su grafitne šipke, ali se ubrzo prešlo na bakar. On je ostao osnovni materijal, uz dodatak legirajućih elemenata radi poboljšanja mehaničkih osobina. Novi materijali morali su da izdrže jače struje, veće pritiske i brzine zavarivanja. Opšte pravilo je da tvrde legure imaju veći električni i toplotni otpor. Izbor legure zavisi od materijala koji se zavaruju: nerđajući čelik zahtijeva legure sa manjom provodljivošću, ali većom čvrstoćom i tvrdoćom, dok aluminijum traži suprotne osobine. Minimalna svojstva legura definisana su RWMA standardom, koji je usvojen širom sveta i predstavlja osnovu za izbor elektroda.

Tabela 3. Minimalna svojstva legura prema klasifikaciji RWMA

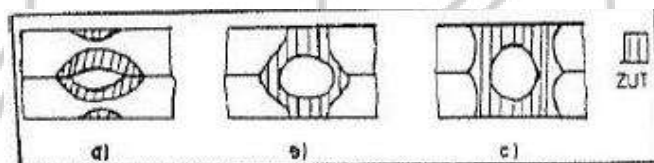
	Grupa A			Grupa B
	Klasa 1	Klasa 2	Klasa 3	
Tvrdoća (HRb)	50 – 60	65 – 75	90	89 Rc
Provodljivost (%Cu)	80	75	45	27
Zatezna čvrstoća (N/mm ²)	450	500	690	750
Temperatura omekšavanja (°C)	250	500	500	1400

- Maksimalna snaga zavarivanja 540 kW
- Odstojanje držača elektroda od 480 – 720 mm
- Dužina krakova 2500 mm
- Maksimalna sila na elektrodama od 1 – 30 kN pri vazdušnom pritisku od 5,5 bara
- Utrošak rashladne vode od 20 l/min. pri mrežnom pritisku od 3 bara pri tačkastom i 60 l/min. pri šavnom zavarivanju, pH vrednost vode od 7 – 8.

Kao što se vidi iz tehničkih podataka, mašina je predimenzionisana za zavarivanje nerđajućih čelika od 2,5 mm, ali je ovako velika snaga odabrana zbog zavarivanja aluminijuma na istoj mašini. Zbog nemogućnosti da operator uvek postigne vertikalnost u odnosu na predmet, upotrebu visećih aparata za elektrootporno zavarivanje treba izbegavati.

7.1. OSNOVNI PARAMETRI ELEKTROOTPORNOG TAČKASTOG ZAVARIVANJA

Iz toplotne jednačine se vidi da količina toplote najviše zavisi od jačine struje, tj. od kvadrata jačine struje. Eksperimentalno je dokazano da je čvrstoća spoja proporcijalno zavisna od jačine struje. Veće struje (uz analogno veće pritiske i kraća vremena), daju spojeve veće čvrstoće. Razumljivo je da postoje i ograničenja, jer prejake struje mogu dovesti i do smanjenih mehaničkih svojstava zavarivanja. Povećanjem struje zavarivanja povećava se sočivo po prečniku i visini. Kod kratkog vremena protoka struje, oko sočiva se formira ZUT elipsoidne forme koja, sa produženjem vremena, dobija cilindričan oblik (slika 7.1.).



Slika 11. Uticaj vremena strujnog impulsa na geometriju sočiva i ZUT-a

- a. prekratko vreme
- b. srednje vreme
- c. dugo vreme

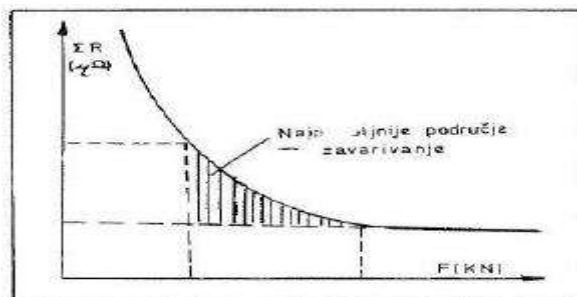
Produženo trajanje strujnog impulsa dovodi do pregrevanja materijala, razbrizgavanja metala, dubljeg poniranja elektroda i jače oksidacije, što deformiše zavarenu tačku. Optimalne karakteristike postižu se pri konstantnoj struji i u uskom vremenskom intervalu impulsa. U praksi se koriste jači impulsi kraćeg trajanja, ali bez preterivanja. Najbolje rezultate daju tačke sa geometrijom:

- visina sočiva 40–80% debljine materijala,
- otisak elektroda 4–6% debljine tanjeg lima.

Struja se mora ograničiti na vrednost koja ne izaziva razbrizgavanje metala, jer ono stvara lunkere u sočivu. Takođe, struja mora biti stabilna i sinhronizovana sa naponom, uz dozvoljene promene do 5%.

7.2. SILA PRITISKA NA ELEKTRODE

Već je istaknuto da je sila zavarivanja parametar koji utiče na ukupni otpor. Sa povećanjem sile na elektrode, ukupna električna provodljivost se jako povećava. Kriva otpora, kao funkcija sile na elektrodu, ima oblik sličan grani hiperbole (slika 7.2.).



Slika 12. Sila na elektrodama kao funkcija ukupnog otpora

7.3. UTICAJ KVALITETA POVRŠINE METALA

Stanje kvaliteta površine je od bitnog značaja kod tačkastog i šavnog elektrotopnog zavarivanja. Od jednake je važnosti kvalitet površine na strani elektrode i površine između limova koje zavarujemo. Zbog toga, površine lima moraju biti metalno čiste. Nečistoće vode ka neravnomernom grejanju, koje vodi ka nalepljivanju metala uz elektrode, a zbog neravnomernog grejanja, i prejakoj oksidaciji površine. Za tačkasto zavarivanje, u konkretnom slučaju vagona od Č.4572, treba koristiti kvalitet površine n (ranije IIIc) po DIN-u 17440 (3), sa zaštitnom folijom. Nakon skidanja folije, nije potrebno nikakvo dopunsko čišćenje.

7.4. IZBOR ELEKTRODE ZA TAČKASTO ZAVRIVANJE

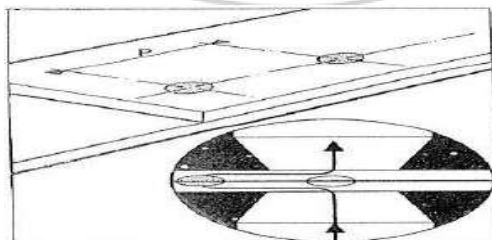
Zbog velikih sila na elektrode koje se pri tačkastom zavarivanju nerđajućih materijala upotrebljavaju, pogodnije su tvrde elektrode sa visokim termičkim stabilitetom. Za to se najviše upotrebljavaju legure grupe A klasa 3 (legure Cu, Cr, Zr i Cu, Co, Be), ali svakako ne legure sa početnom tvrdoćom manjom od 70 HRb. Prečnik kontaktne površine je do $5 \sqrt{s}$ mm (minimalan), ali ako nam uređaj omogućuje dovoljno velike sile, onda biramo veći faktor ($6 \sqrt{s}, 7 \sqrt{s}$). U praksi se češće primenjuje zaobljena kontaktna površina $r = 75 - 150$ mm.

7.5. RASTOJANJE TAČAKA I MINIMALNI PREKLOP

Kod nerđajućih čelika, zbog visokog kontaktnog otpora, važno je pravilno odrediti rastojanje između tačaka. Ako su tačke preblizu, struja može naći kraći put, što smanjuje kvalitet spoja. Broj tačaka i njihovo međusobno odstojanje određuje konstruktor proračunom, dok tehnolog mora voditi računa o minimalnim vrednostima u odnosu na debljinu materijala. Veći broj tačaka ne znači nužno veću čvrstoću sklopa. Sličan problem je i minimalni preklop – potrebno je da oko jezgra postoji dovoljno materijala radi pravilne raspodele toplote i hlađenja. Nedovoljan preklop smanjuje čvrstoću spoja i povećava deformacije.

Iskustvena pravila za odstojanje tačaka kod čelika su:

- najmanje $3 \times d_0$ (BWRA),
- $12 \times e$ (SCIAKY, gde je e debljina lima do 3 mm),
- prema DVS preporuci, $6-8 \times$ prečnik sočiva.



Slika 13. Pojava oticanja struje kroz prethodno zavarenu tačku

7.6. PARAMETRI ZAVARIVANJA STRANICE KAMIONA

Problem koji se postavlja pred tehnologa je kako u datom slučaju regulisati mašinu za tačkasto zavarivanje, tako da se postigne zadovoljavajući kvalitet i ekonomičnost. U krajnjem slučaju, mora se prići eksperimentu, jer svaki proračun tu otpada zbog nemogućnosti da se obuhvate svi uticajni faktori.

Parametre zavarivanja biramo prema empirijski određenim vrednostima, npr. tabela 7.1, ali korekcije moramo obaviti zbog odstupanja do kojih dolazimo u praksi, zbog neravnomernosti kvaliteta površine materijala, različitih tvrdoća lima, kvaliteta naleganja površina koje moramo spajati itd. Uvek će biti dobra tačka za koju se pokaže da ima dobra mehanička svojstva.

Tabela 3. Parametri zavarivanja Cr-Ni čelika (Č.4572) prema DVS 1609

„S“ (mm)	Elektroda		Sila (kN)	Struja (kA)	Vreme Impulsa (Per)	Prečnik Sočiva (mm)	Sila Smicanja (kN)
	do (mm)	Radijus r (mm)					
1,5	8	75	6,5	11,0	10	6	9,7
2,0	8	100	9,0	14,0	13	7	12,2
2,5	10	150	12,0	16,0	16	8	17,6

ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenih istraživanja i analize tehničko-tehnoloških parametara, može se zaključiti da tačkasto elektrootporno zavarivanje predstavlja optimalan postupak za spajanje nerđajućih čelika u konstrukciji teretnih kamiona. Ovaj proces obezbeđuje visoku čvrstoću spoja, minimalne deformacije i ekonomičnost proizvodnje.

Ključni faktori uspeha su pravilno odabrani parametri struje, vremena i sile pritiska, kao i izbor odgovarajućih elektroda i opreme. Primjena ovih principa omogućava pouzdanu eksploataciju vozila i dugotrajnu otpornost konstrukcije na koroziju i mehanička opterećenja. Buduća istraživanja treba usmeriti ka daljoj automatizaciji procesa i primjeni naprednih tehnologija, čime će se dodatno povećati efikasnost i sigurnost proizvodnje.

LITERATURA

1. Adamović, Ž., *Tehnologija održavanja*, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 1998.
2. Adamović, Ž., Jovanović, D., *Tehnologija u industriji čelika*, Naučna knjiga, Beograd, 2003.
3. Baldini, A., *Priručnik za održavanje industrijskih postrojenja*, OMO, Beograd, 2002.
4. Seferijan, D., *Metalurgija zavarivanja*, Beograd, 1969.
5. G.E. Lheureux., *Le soudage par resistance*, Dunod, Paris, 1965.
6. *Priručnik za zavarivanje UTP Priručnik za zavarivanje UTP "Elektroda"* Zagreb, 2001