



Mijat Samardžić¹, Mario Jagnjić², Dejan Marić^{3,a}, Božo Despotović⁴, Marko Dundđer³, Ivan Samardžić³

ZAVARIVANJE OKRETNIH POSTOLJA PRIMJENOM VISOKOUČINSKOG POSTUPKA ZAVARIVANJA WELDING OF BOGIES USING HIGH EFFICIENCY WELDING PROCEDURE

Originalni naučni rad / Original scientific paper

Rad primljen / Paper received:

Novembar 2023.

Rad prihvaćen / Paper accepted:

Januar 2024.

Adresa autora / Author's address:

¹ Industroreomn d.o.o., Slavonski Brod, Hrvatska

² Đuro Đaković Specijalna vozila d.d., Slavonski Brod, Hrvatska

³ Sveučilište u Slavonskom Brodu, Slavonski Brod, Hrvatska

⁴ Društvo za tehniku zavarivanja Slavonski Brod, Slavonski Brod, Hrvatska

email: ^a dmarić@unisb.hr

Ključne reči: U TWIN, EN15085-2, okretna postolja

Keywords: U TWIN, EN15085-2, bogies

Rezime

Okretna postolja su sastavni elementi vagona koji omogućuju lakši prolazak željezničkih vozila kroz zavoj smanjujući trenje i trošenje između kotača i tračnice. Na okretno postolje vezani su osovinski sklopovi i vučni motor vozila. U skadu sa normom EN 15085-2 klasifikacijski nivo CL1 postavljeni su zahtjevi za kvalitetu zavarenih spojeva željezničkih vozila, a tako i određenih komponenti, s obzirom na zahtjeve danas se u tvrtci ĐĐSV proizvode okretna postolja primjenom konvencionalnih postupaka zavarivanja. U radu je prezentirana primjena dosadašnje tehnologije pri zavarivanju okretnih postolja, te su prikazani rezultati ispitivanja i primjena robotiziranog TWIN procesa zavarivanja.

Abstract

Bogies are integral elements of wagons that enable easier passage of railway vehicles through a curve by reducing friction and wear between the wheels and the rail. The axle assemblies and traction motor of the vehicle are attached to the bogie. In accordance with the standard EN 15085-2 classification level CL1, requirements have been set for the quality of welded joints of railway vehicles and certain components, with regard to the requirements, today bogies are produced in the company ĐĐSV using conventional welding procedures. The paper presents the application of current technology in the welding of turntables, as well as the test results and application of the robotic TWIN welding process.

Rad je u originalnom obliku objavljen u Zborniku radova sa Međunarodnog naučnog i stručnog skupa: Zavarivanje spaja – „Zavarivanje i zavarene konstrukcije 2023“ održanog u Sarajevu, BiH, od 25. do 27. oktobra 2023. godine.



1. Uvod

Teretni vagoni su željeznička vozila koja se sastoje od više sklopova, podsklopova i komponenti čija izvedba u cjelini mora udovoljiti funkcijskim zahtjevima i te normama EN 15085-2 classification level CL1. Vagon se u osnovi sastoji od vagonске karoserije koja ujedno ima funkciju prijevoza određenog tereta. Ostali elementi su vozna postolja, vučno - odbojni uređaji, kočioni

sustav i dodatna oprema specijalne namjene. Jedan od sastavnih sklopova su i okretna postolja. Općenito, okretno postolje je element vagona koji omogućuje lakši prolazak željezničkih vozila kroz zavoj smanjujući trenje i trošenje između kotača i tračnice. Na okretno postolje vezani su osovinski sklopovi i vučni motor vozila. Na slici 1 prikazano je okretno postolje u sklopu teretnog vagona.



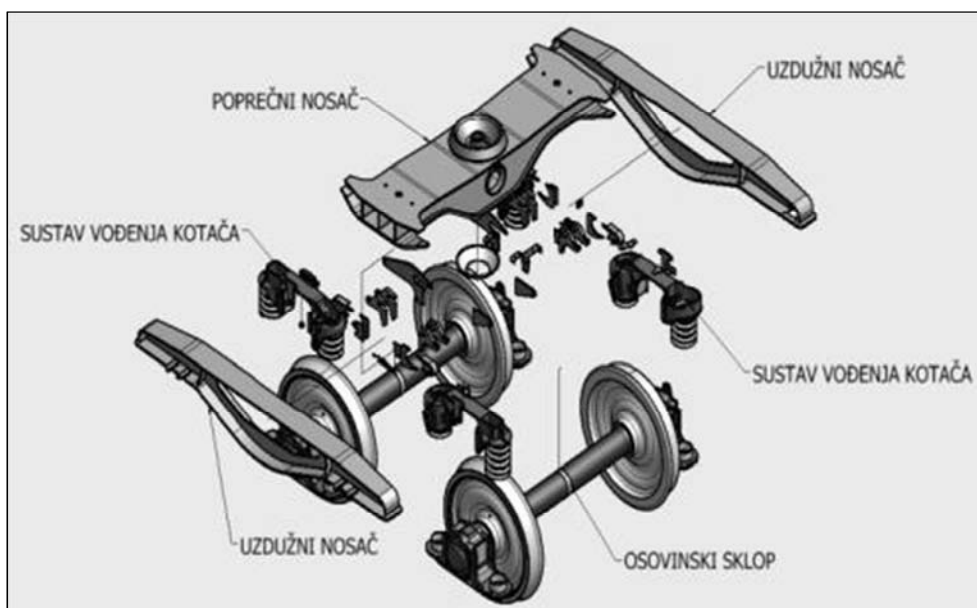
Slika 1. Okretno postolje u sklopu teretnog vagona

Figure 1. The bogie as part of the freight car

2. Okretno postolje

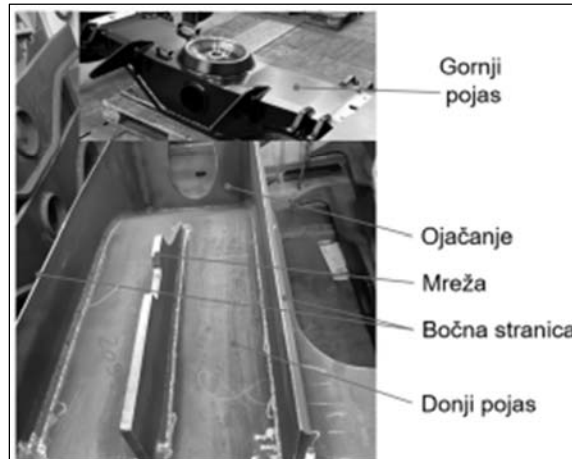
Osnovni elementi okretnog postolja su osovinski sklop, sustav vođenja kotača, uzdužni nosač i poprečni nosač što je i vidljivo na slikama 2 do 4. Elementi koji su ovim radom obuhvaćeni, a

zahtjevaju najveću pozornost prilikom zavarivanja ali i kontrolnih aktivnosti su uzdužni nosači i sam poprečni nosač. Ovi sklopovi izrađeni su od čelika S355J2+N.



Slika 2. Osnovni sklopovi okretnog postolja

Figure 2. Basic assemblies of the bogie



Slika 3. Izgled poprečnog nosača pri ručnom zavarivanju u napravi

Figure 3. Appearance of the transverse support during manual welding in the device



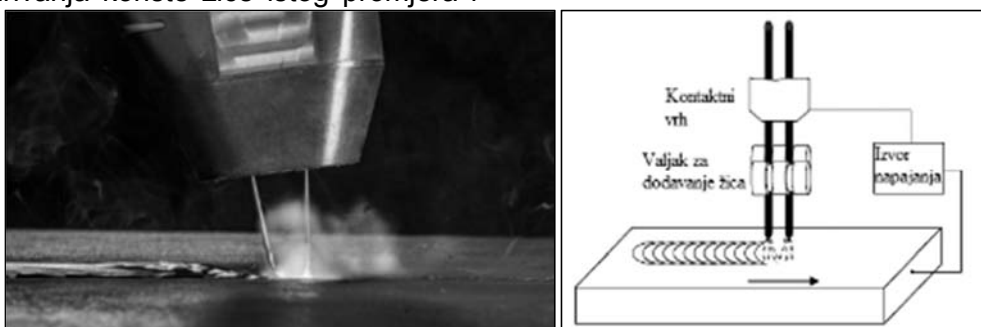
Slika 4. Sastav poprečnog nosača u napravi

Figure 4. Composition of the transverse support in the device

Kako bi se omogućilo postizanje veće kvalitete zavarenih spojeva na navedenim sklopovima i podigli proizvodni kapacitet uvodi se zamjena ručnog procesa s robotiziranim TWIN procesom zavarivanja. Sustav se može sastojati od zajedničkog ili zasebnog izvora napajanja za pojedinu žicu. Korištenje oba izvora napajanja je najčešće potrebno ukoliko je potrebno ostvariti maksimalne vrijednosti struje za zavarivanje. Kada se tokom zavarivanja koriste žice istog promjera i

ista brzina dodavanja žice, tada je dovoljna samo jedna jedinica za dodavanje žice (s dvotračnim valjcima za dodavanje žice) slika 5.

Rad twin sustava značajno pojednostavljuje činjenica da su obje žice istog električnog potencijala te je time olakšano postavljanje parametara zavarivanja. [1]



Slika 5. Zavarivanje twin sustavom [2, 3]

Figure 5. Twin system welding [2, 3]



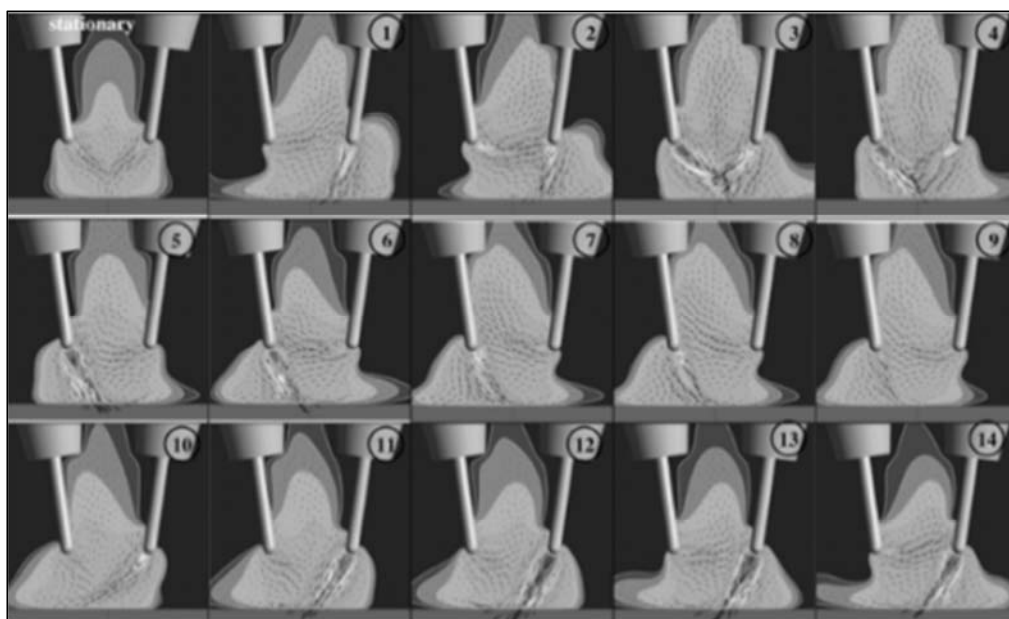
Zavarivanjem s dvije žice moguće je ostvariti velike brzine zavarivanja i time se smanjuju deformacije materijala koje su uzrokovane velikim unosom topline. Također, kada je u pitanju unos topline, twin sustav učinkovito koristi toplinu koja se unosi tokom zavarivanja jer prateći električni luk zagrijava žicu u zajedničku rastaljenu kupku. U postupcima gdje se koristi više pištolja za zavarivanje, rastaljeni metal nakon prvog luka očvršne i ponovno zagrijava sljedećim lukom [4]. Prilikom taljenja obje žice, rastaljena kupka koja nastaje je izdužena i time se omogućuje duži vremenski period izlaska štetnih plinova, a samim time smanjuje se poroznost u zavarenog spoja.

Prema istraživanju DINSE G.m.b.H. [2], količine depozitnog materijala dosežu vrijednosti do 12,7 kg/h kada se koristi puna žica promjera 1 mm. Takav maksimalan unos dodatnog materijala osigurava visoku pouzdanu izvedbu i izvrsno premošćivanje velikih razmaka tokom zavarivanja.

Za naprednije twin sustave uz računalno kontrolirani nadzor, često se koristi drugi dodavač žice koji omogućuje različite brzine dodavanja i promjere žica. Međutim, ograničena je mogućnost upotrebe različitih žica zbog činjenice da obje koriste isti napon pri zavarivanju.

Korištenjem različitih tipova električnih lukova postiže se optimizirana geometrija zavora. Kombinacijom klasičnog tipa žice (bez ikakvog punjenja) s žicom koja je punjena ostvaruje se zavareni spoj u kojemu vodeća puna žica osigurava dovoljnu penetraciju dok punjena žica naknadno osigurava dobro spajanje bočnih stijenki materijala [1].

Primarna žica je ona žica koja prva uspostavi električni luk u procesu zavarivanja. Iz slike 6. vidljivo je kako žica koja se u određenom trenutku ne napaja impulsnom strujom i dalje ostaje električki aktivna u atmosferi zaštitnog plina i vrši utjecaj na žicu do koje se dovodi impulsna struja.

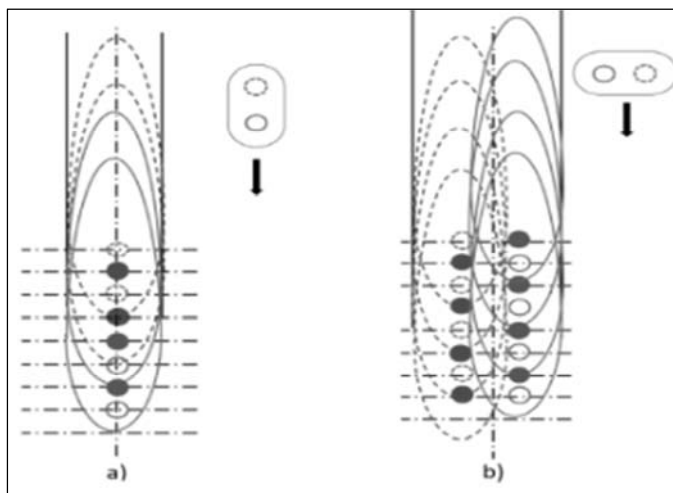


Slika 6. Interakcija električnih lukova pri zavarivanju (primarna žica se nalazi lijevo) [4]

Figure 6. Interaction of electric arcs during welding (primary wire is on the left) [4]

Struje malih vrijednosti koje izlaze iz pasivne žice (do koje se ne dovodi el. struja) privlače se prema aktivnoj žici sve dok se električni luk ponovno ne upali. Raspršene kapljice unutar električnog luka mogu se u određenim uvjetima spojiti (tvoreći zajednički električni luk) u letu i formirati u veće kapi. Također, u drugim slučajevima kapi će imati slobodan let do radnog komada koji se zavaruje i opet približno pasti u

rastaljeni bazen. U ovim postupcima zavarivanja, pištolj za zavarivanje može biti orijentiran na više načina. Jedan od načina orijentacija pištolja za zavarivanje je taj da žice stoje serijski, odnosno da je položaj žica u istoj ravnini kao i smjer zavarivanja. Drugi način orijentacije je taj da žice stoje paralelno jedna pored druge i tako tvore znatno širi zavareni spoj. U takvom položaju su žice orijentirane okomito na ravninu smjera zavarivanja.



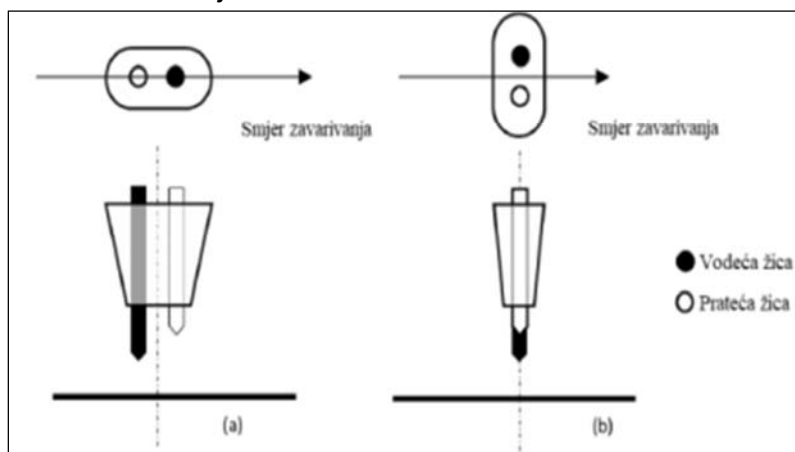
Slika 7. Twin sustav s a) orijentacijom žica u ravnini smjera zavarivanja i b) orijentacijom žica okomitom na smjer zavarivanja [3]

Figure 7. Twin system with a) wire orientation in the plane of the welding direction and b) wire orientation perpendicular to the welding direction [3]

Primjerice, pri zavarivanju tankih limova teži se ponajprije postići veću brzinu zavarivanja i tada se koristi orijentacija pištolja kako je prikazano u slučaju slike 7 a), dok pri zavarivanju debljih limova i premošćivanju širokih žlijebova je cilj ostvariti bolju penetraciju i veće stope proizvodnje depozitnog materijala i tada se koristi orijentacija kako je prikazano u slučaju slike 7 b).

Kako je ranije navedeno, ako su obje žice na istom polaritetu, dva luka se međusobno privlače i djeluju poput jednog izduženog luka. Ta činjenica je bitna i kada je riječ o orijentaciji žica tokom zavarivanja. U slučaju da su žice orijentirane u smjeru zavarivanja, luk na vodećoj žici biti će

izložen udaru sa stražnje strane, dok je na pratećoj žici luk izložen udaru od naprijed. U takvom rasporedu, prateća žica određuje konačni oblik zavara [3]. Odabrana razina isticanja žica i kutovi žica u pištolju za zavarivanje također imaju utjecaj na proces zavarivanja. Elektrode tj. žice za zavarivanje se često uvode kroz kontaktni vrh pod određenim kutom tako da su blago usmjerene jedna prema drugoj dok prolaze kroz pištolj. Udaljenost između elektroda izmjerena na izratku naziva se međuelektrodna udaljenost i najčešće za MIG/MAG sustave iznosi 4 - 8 mm [1]. Na slici 8, vidljiva su različita isticanja žica u serijskom i paralelnom orijentacijom.



Slika 8. Različita isticanja žica u a) zavarivanju sa serijskom i b) paralelnom orijentacijom žica [5]

Figure 8. Different wire going out in a) welding with serial and b) parallel wire orientation [5]

Prednosti twin sustava: Mogućnost korištenja jednog izvora energije i dodavača žice (po potrebi i dodatni). Povećanje brzine zavarivanja i količine depozitnog materijala. Sposobnost potpune

robotizacije sustava i upravljanja putem software-a. Pištolj za zavarivanje do 50 % manjih dimenzija nego u tandem sustavu [2]. Manja cijena opreme za zavarivanje u odnosu na tandem sustav. Žice



mogu biti postavljene u ravnini sa smjerom zavarivanja i okomito u odnosu na isti. Manji unos topline zbog toga što oba električna luka tvore istu rastaljenu kupku. Fleksibilnost sustava u smislu da ukoliko nije potrebno, može se koristiti samo jedna žica. Smanjeno vrijeme pripreme zavarivanja zbog jednostavnijih parametara. Omogućavanje konstantne kvalitete zavara pri visokim brzinama.

3. Primjena TWIN sustava pri zavarivanju sklopova okretnog postolja

Sklopovi koji su zavarivani izrađeni su od nelegiranog i normaliziranog konstrukcijskog čelika S355J2+N. U tabeli 1 je prikazan kemijski sastav vruće valjanih ploča od čelika S355J2+N.

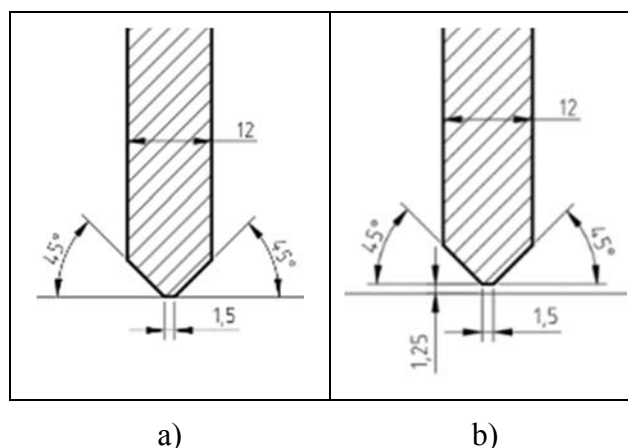
Tabela 1. Kemijski sastav čelika S355J2+N

Table 1. Chemical composition of steel S355J2+N

C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	Cu, %	Fe, %
< 0,22	< 0,55	< 1,6	< 0,035	< 0,035	< 0,06	ostatak

Priprema žlijeba za zavarivanje izvršena je sa i bez zazora. Skica pripreme žlijeba bez zazora

uzorak U1 je prikazana na slici 9 a), sa zazorom uzorak U2 1.25 mm slika b).

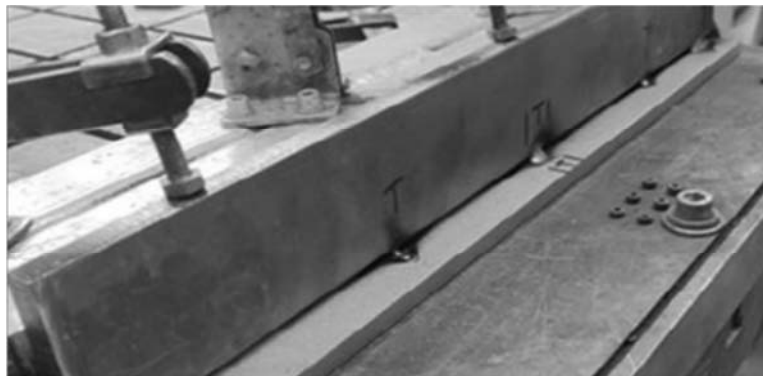


Slika 9. Skica pripreme žlijeba za zavarivanje

Figure 9. Sketch of the preparation of the groove for welding

Kako bi se sve moguće varijante proizvodne provjerile ovoga procesa jedna priprema je izvršena bez zazora ali su izvedeni pripoji preko kojih se vršilo zavarivanje. Za ovaj slučaj žlijeb se priprema

na isti način kao i u slučaju zavarivanja bez zazora, ali se radni komadi spajaju pripojima prije zavarivanja kako je prikazano na slici 10, uzorak U3.



Slika 10. Zavarivanje preko pripoja

Figure 10. Welding over the joint

Zavarivanje bez zazora izvedeno je sa sledećim parametrima:

Žica G3Si1, Φ 1,2 mm, zaštitni plin M21 (18% CO₂ + 82% Ar), 1. žica $I_1 = 374$ A, $U_1 = 27,2$ V, 2. žica $I_2 = 229$ A, $U_2 = 26,2$ V, brzina zavarivanja: $v = 85$ m/min, pozicija zavarivanja: PB.

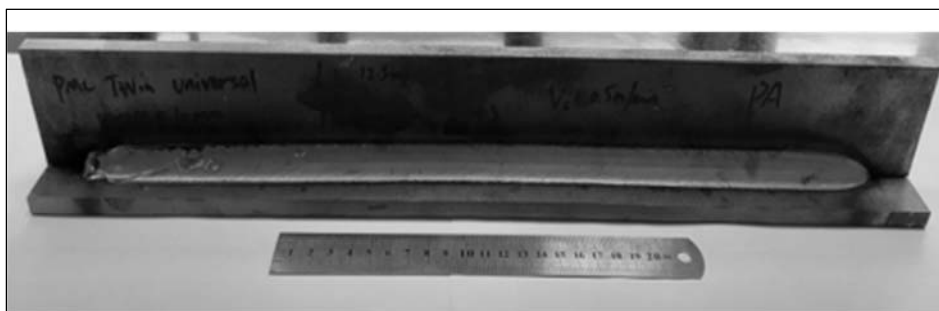
Zavarivanje sa zazorom od 1,25 mm izvedeno s parametrima:

Žica G3Si1, Φ 1,2 mm, zaštitni plin M21 (18% CO₂ + 82% Ar), 1. žica $I_1 = 359$ A, $U_1 = 27,6$ V, 2. žica $I_2 = 230$ A, $U_2 = 25,4$ V, brzina zavarivanja: $v = 85$ m/min, pozicija zavarivanja: PB

Zavarivanje preko pripoja se izvodilo s parametrima:

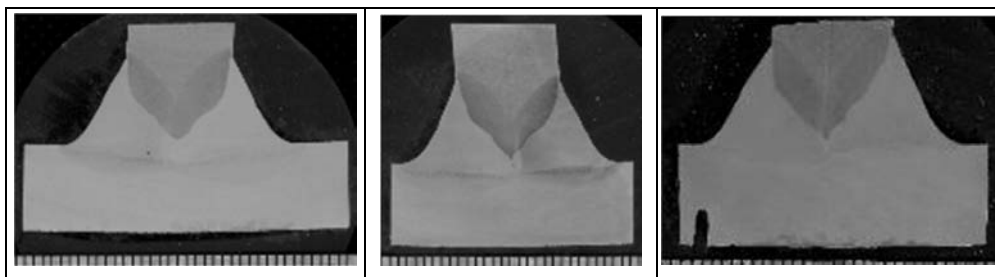
Žica G3Si1, Φ 1,2 mm, zaštitni plin M21 (18% CO₂ + 82% Ar), 1. žica $I_1 = 359$ A, $U_1 = 27,6$ V, 2. žica $I_2 = 230$ A, $U_2 = 25,4$ V, brzina zavarivanja: $v = 85$ m/min, pozicija zavarivanja: PB.

Na slici 11. su prikazani zavareni radni uzorci.



Slika 11. Zavareni uzorak

Figure 11. Welded sample



a) uzorak U1

b) uzorak U2

c) uzorak U3

Slika 13. Dimenzionalna kontrola zavarenih uzorka a)U1, b)U2, c)U3

Figure 13. Dimensional control of welded samples a)U1, b)U2, c)U3

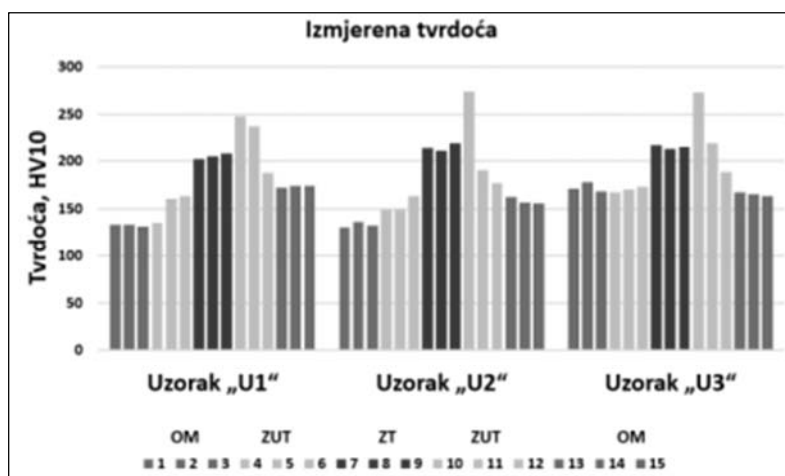


Rezultati mjerenja tvrdoće na uzorcima prikazani su u Tabeli 2, i dijagramski na Slici 14.

Tabela 2. Mjerene tvrdoće na zavarenim uzorcima

Table 2. Results of the hardness measurement on welded samples

Mjesto mjerenja	Izmjerena tvrdoća, HV10		
	Uzorak „U1“	Uzorak „U2“	Uzorak „U3“
1	133,4	130,3	171,4
2	132,7	136,1	177,5
3	131	132,1	168,3
4	135,1	148,5	166,8
5	160,5	149	170,4
6	163,3	163,7	172,9
7	202,2	213,7	216,4
8	204,7	210,8	212,8
9	208	218,9	214,8
10	248,2	274,3	272,5
11	237,4	190,4	219
12	187,7	177,1	188,3
13	171,6	162,1	167,3
14	174,4	156,2	164,9
15	173,7	155,1	163



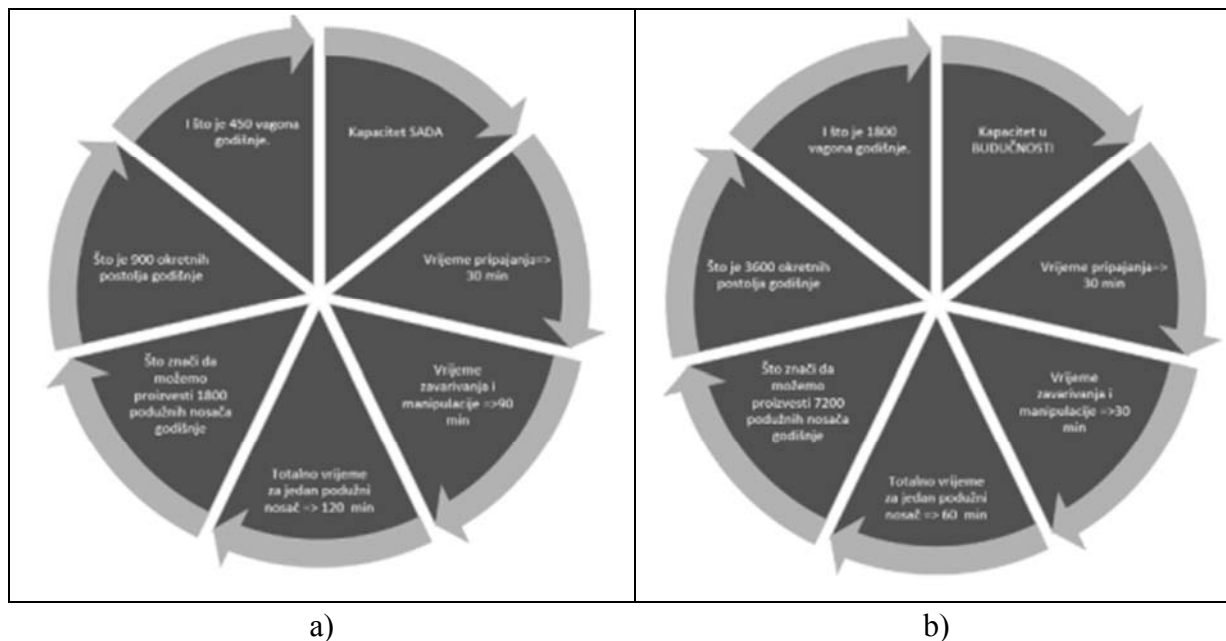
Slika 14. Dijagram rezultata mjerenja tvrdoće na zavarenim uzorcima U1, U2, U3

Figure 14. Diagram of hardness measurement results on welded samples U1, U2, U3



Kako je vidljivo na Slici 14, značajnijeg rasipanja podataka tj. vrijednosti tvrdoća nema pri promjena priprema zavarenih spojeva. Kako se uspješno može izvesti zavarivanje primjenom ovoga procesa zavarivanja ide se u primjenu navedene tehnologije

koja će u konačnici primjenom u sustavu koji je robotiziran omogućiti podizanje kvalitete zavarenih spojeva sklopova okretnih postolja ali samim time i podizanje proizvodnih kapaciteta (slika 15).



Slika 15. Kapaciteti proizvodnje a) trenutno stanje tehnologije, b) primjenom nove tehnologije zavarivanja TWIN
Figure 15. Production capacities a) the current state of technology, b) using the new TWIN welding technology

5. Zaključak

Zbog budućeg povećanja proizvodnje vagona, a samim time i potrebom sve većeg broja okretnih postolja uvođenje novih tehnologija zavarivanja i sama robotizacija pogona biti će neophodni.

Osim povećavanja kapaciteta u proizvodnji vagona razlozi su i sve češći odlasci i dolasci zavarivača (ostvarivanje kontinuiteta u procesu zavarivanja jako teško), kvaliteta zavarivača je sve niža, robotsko zavarivanje omogućuje konstantno kvalitetno zavarivanje što je kroz rad i prezentirano da je primjenom TWIN sustava zavarivanja to moguće postići bez obzira na promjene u pripreman zavarenih spojeva. Što je najvažnije brzina zavarivanja koja je veća od ručnog zavarivanja omogućiti će postizanje željene količine zavarenih spojeva.

5. Conclusion

Due to the future increase in the production of wagons and thus the need for an increasing number of bogies, the introduction of new welding technologies and the robotization of the drive itself will be necessary.

In addition to increasing the capacity in the production of wagons, the reasons are the more frequent departures and arrivals of welders (achieving continuity in the welding process is very difficult), the quality of welders is getting lower, robotic welding enables constant high-quality welding, which is demonstrated through the work and presentation that by applying the TWIN welding system it is possible to achieve regardless of changes in the preparation of welded joints. Most importantly, the welding speed, which is higher than manual welding, will allow the desired amount of welded joints to be achieved.



Literatura / References

[1] Dinse (2018): Automated high performance welding system with only one power source, Hamburg, 2 str.

[2] A. Sharma, S. Quadir Moinuddin (2019): Multiple-wire welding in GMAW and SAW, Sangareddy, 10 str.

[3] Fronius (2023): TPS/i TWIN Push - Tandem Welding. URL: <https://www.fronius.com/en/welding-technology/info-centre/press/tpsi-twin-push/> (10.10.2023.)

[4] M. Kumar, S. Quadir Moinuddin, S. Surya Kumar, A. Sharma (2020): Discrete wavelet analysis of mutually interfering co-existing welding signals in twin-wire robotic welding, Sangareddy.

[5] Davor Volarić (2019): CMT postupak, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, 2019., 7 str.

ISPITIVANJE MATERIJALA
I ZAVARENIH SPOJEVA



www.sigmalab.rs



064 2142 473