

POLUAUTOMATSKI I AUTOMATSKI POSTUPCI REZANJA I ZAVARIVANJA U PROIZVODNJI I NA MONTAŽI

SEMIAUTOMATIC AND AUTOMATIC CUTTING AND WELDING PROCESSES IN FABRICATION AND ERECTION

Igor JUZVIŠEN, Slavko STOJANOVIĆ, Ruža BRZICA¹⁾

Ključne riječi: rezanje, zavarivanje, proizvodnja, montaža

Key words: cutting, welding, fabrication, erection

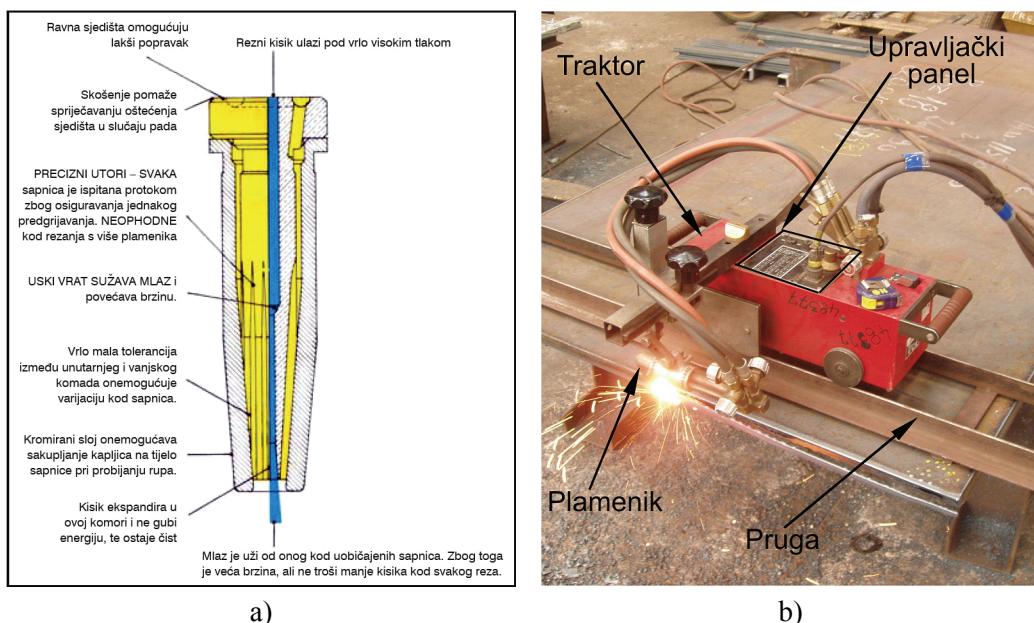
Sažetak: U radu su prikazani načini poluautomatskog i automatskog rezanja u proizvodnji čeličnih konstrukcija i mostova te poluautomatski postupci zavarivanja. Naglasak je stavljen na zavarivanje limova ručnim MAG postupkom (STT) u kombinaciji s uređajem za poluautomatsko zavarivanje te mogućnostima primjene navedenih postupaka u radionici i na montaži. Prikazano je izvođenje zavarivačkih radova u montažnim uvjetima u tvornici cementa Beremend u Mađarskoj sa osvrtom na primijenjenu tehnologiju poluautomatskog rezanja i automatskog zavarivanja pri rekonstrukciji rotacione peći.

Abstract: The work describes semiautomatic and automatic cutting processes in fabrication of steel structures and bridges as well as semiautomatic welding processes. Emphasis is placed on welding the plates using manual GMAW process (STT) in combination with semiautomatic machine, and possibilities for application of these processes in workshop and on the site. The work shows execution of welding works in field conditions in Beremend Cement factory in Hungary, namely application of semiautomatic cutting and automatic welding procedures for reconstruction of rotary kiln.

¹⁾ ĐĐ Montaža d.d., Dr. M. Budaka 1, 35000 Slavonski Brod

1. UVOD

Ručni postupci bez obzira o kojoj grani strojarstva se radi danas se pokušavaju zamijeniti, djelomično ili potpuno automatskim postupcima. U zavarivanju to znači uvođenje poluautomatskih, automatskih ili robotskih sustava u proces proizvodnje. Zbog činjenice da na tržištu konstantno nedostaje zavarivačkog osoblja svih profila, stalna je težnja uvođenja automatskih i u posljednje vrijeme sve češće primjenjivanih robotiziranih sustava, gdje se utjecaj čovjeka na kvalitetu zavarenog proizvoda pokušava svesti na najmanju moguću mjeru. Automatizacija u širem smislu ne znači samo upotrebu specifične opreme za zavarivanje, ona zahtijeva izradu pristroja, naprava, opreme za pripremu, čime se osigurava ponovljivost operacija zavarivanja uz konstantnu kvalitetu. Cilj uvođenja automatskih postupka zavarivanja koji uključuju i primjenu visokoproduktivnih dodatnih materijala je prije svega smanjenje vremenskog trajanja izrade proizvoda, što na kraju rezultira i manjom cijenom. Od osnovnih postupaka zavarivanja najveću zastupljenost u proizvodnom pogonu ĐĐ Montaže čine postupci zavarivanja: 85 % MAG zavarivanje, 10 % EPP, 5 % REL zavarivanje. Ovisno o projektu i njegovim specifičnostima u manjem postotku primjenjuju se TIG, STT i zavarivanje svornjaka uz pomoć keramičkih prstenova. Plinsko rezanje zastupljeno je u visokom postotku od 90-95 %, a ostatak je plazma rezanje. Automatizacija rezanja je na visokom numerički upravljanom nivou (CNC), a upotrebom specifičnih programa za izradu planova rezanja tzv. CAD/CAM sustava, količina otpada koji nastaje pri plinskom rezanju svedena je na minimum.



Slika 1. Elementi plinskog rezanja

- a) Shematski prikaz sapnice za rezanje propan butanom s označenim dijelovima
- b) Poluautomat (traktor) "Light'n Bug" s označenim osnovnim dijelovima.

2. POLUAUTOMATSKI I AUTOMATSKI POSTUPCI REZANJA I ZAVARIVANJA U RADIONICI

2.1 Plinsko rezanje poluautomatom (traktorom) "Light'n Bug"

Znatne uštede kod plinskog rezanja mogu se postići upotrebom suvremene opreme za plinsko rezanje, te primjenom propan–butan plina za rezanje umjesto acetilena pri čemu je kva-

liteta rezanja na visokom nivou. Prednosti rezanja propan-butanom su:

- velika ušteda; cijena propan-butana je 8-10 puta niža od cijene acetilena;
- miješanje plinova u glavi plamenika, nema opasnosti od povratnog udara;
- nizak radni tlak gorivog plina od samo 0.1 bar, mala potrošnja gorivog plina i kisika;
- izuzetno brzo probijanje lima na debljinama od 50-150 mm, predgrijavanje traje od 7-15 s.

Na slici 1. prikazani su elementi plinskog rezanja.

Za maloserijsku i pojedinačnu proizvodnju zbog svoje fleksibilnosti, malih dimenzija, jednostavnog rukovanja i male mase ≈ 10 kg, vrlo je pogodan često korišten poluautomat "Light'n Bug". Za kretanje koristi prugu koja se ovisno o dužini pozicije za rezanje može mijenjati.

2.2 Plinsko i plazma rezanje na numerički upravljenom stroju "Satronik-D-4000"

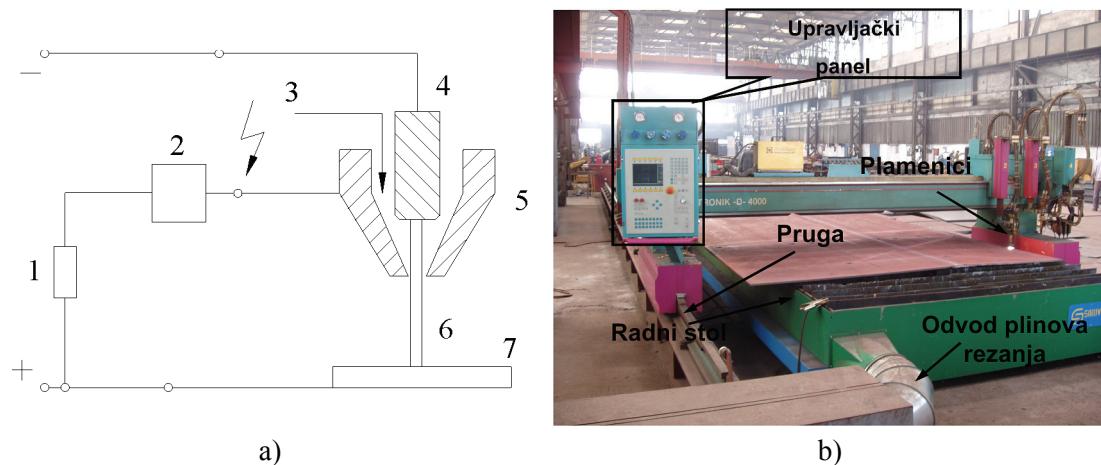
Plazma je ustvari smjesa razbijenih atoma i molekula uglavnom plinova, koja ima dobru električnu provodljivost i izuzetno visoku temperaturu. Iz pištolja za plazma rezanje smjesa plazme koja nastaje struji velikom brzinom prema radnom komadu, koje napada u mlazu toplinski i mehanički. Na taj način materijal se tali i nastaje rez.

Sigurno paljenje luka potrebnog za rezanje ostvaruje se:

- visokim naponom paljenjem pilotnog luka,
- isključenjem pilotnog luka nakon paljenja plazmenog luka,
- automatskim održavanjem luka potrebne i podešene snage za rezanje.[1]

Na slici 2a) shematski je prikazan princip rada plazme, a na slici 2b) stroj za plinsko i plazma rezanje Satronik-D-4000 s osnovnim elementima stroja.

Plazma kao postupak rezanja se može primijeniti za rezanje svih metalnih materijala.



Slika 2. Elementi rezanja plazmom

- a) Shematski prikaz rada plazme s označenim dijelovima (1 - otpornik pilotnog luka, 2 - uređaj za paljenje, 3 - dovod plina , 4 - katoda, 5 - sapnica, 6 - luk plazme, 7 - radni komad) [1]
- b) CNC stroj za plinsko i plazma rezanje "SATRONIK - D - 4000 - PA-SA45 W".

U tablici 1. se nalaze tehnički podaci izvora struje i pištolja za plazma rezanje.

Prilikom rezanja plazma postupkom zbog štetnog djelovanja plinova nužna je upotreba tzv. odsisnog stola (slika 3a), sustava za odsis (slika 3b) i filtriranje dimnih plinova (slika 3c) kojim je opremljen i jedan CNC uređaj u ĐĐ Montaža.

Tablica 1. Tehnički podaci izvora struje i pištolja za plazma rezanje. [1]

Primarna strana izvora	PA-SA45 W		
Priključni napon U_1	$3 \times 400V +5/-10\% 50 Hz$		
Maksimalna priključna snaga	21,5 kVA (100 % I) / 32 kVA (75 % I)		
Stupanj iskorištenja	0,66		
Sekundarna strana izvora			
Tehnika rada	45 A	85 A	130 A
Napon praznog hoda	370 V	370 V	370 V
Struja rezanja	45 A	85 A	130 A
Napon luka	150 V	155 V	160 V
Jačina luka	6,7 kW	13 kW	20,8 kW
Intermintencija	100 %	100 %	75 %
Ciklus rezanja			20 min
Debljina rezanja			
- kvalitetan rez	14 mm	20 mm	35 mm
- maksimum	16 mm	25 mm	45 mm
Masa	240 kg		
Dimenzije	1025 × 711 × 970 mm sa podloškom		
Pritisak	0,45 MPa (4,5 bar) kod 3,8 l/min		



Slika 3. Elementi odsisa dimnih plinova na CNC rezačici

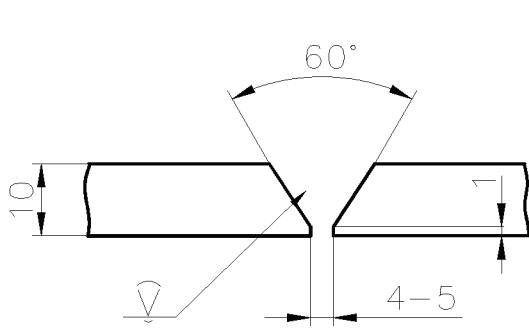
a) Odsisni (radni) stol, b) Sustav cjevovoda odsisa, c) Vanjska jedinica za filtriranje dimnih plinova.

2.3 Zavarivanje limova MIG/MAG postupkom (STT) u kombinaciji s uređajem za poluautomatsko zavarivanje

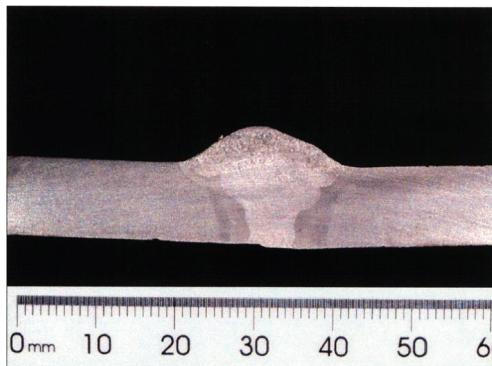
Kao primjer poluautomatizacije u radionici prikazano je sučelno zavarivanje pozicija lima kombinacijom dvaju postupaka zavarivanja. Zavarivanje korijena obavljeno je modificiranim ručnim MAG postupkom STT u vertikalnom položaju prema dolje, a popuna standardnim MAG postupkom primjenom poluautomata Weldycar.

Osnovni materijal je lim debljine $t = 10$ mm od 16Mo3, koga karakterizira dobra zavarljivost. Za oblik spoja odabrana je V – priprema kao što je prikazano na slici 4a), a na slici 4b) je prikazan makro snimak zavara. Dodatni materijal je žica EN 12070: G Mo Si $\varnothing 1$ mm za korijeni prolaz, a za popunu je korištena ista žica promjera $\varnothing 1,2$ mm, pri čemu je brzina zavarivanja popune poluautomatom iznosila ≈ 17 cm/min. [2]

Uredaj koji je korišten za poluautomatsko zavarivanje je "WELDYCAR" koji je pogodan za zavarivanje u svim položajima. Na slici 5 je prikazan uređaj kako radi u svim položajima. Masa uređaja je 12 kg; pogon uređaja je baterija od 12 V koja omogućava kontinuirano šest sati rada. S ovim uređajem moguće je zavarivanje zakrivljenih ploha minimalnog unutarnjeg promjera od 2000 mm i minimalnog vanjskog promjera od 3000 mm. [3]



a)



b)

Slika 4. Priprema i snimak zavara [2]
 a) Oblik pripreme spoja i b) Makro snimak zavara



a)



b)



c)



d)

Slika 5. Rad poluautomata "WELDYCAR" u svim položajima: a) horizontalni položaj,
 b) vertikalni položaj, c) nadglavni položaj i d) zidni položaj

3. PRIMJENA AUTOMATSKOG POSTUPKA REZANJA I ZAVARIVANJA NA GRADILIŠTU "BEREMEND" – MAĐARSKA

U sklopu vrlo opsežnih remontnih radova koje je Đuro Đaković – Montaža provodila na navedenom gradilištu, jedan od najzahtjevnijih i tehnološki najsloženijih poslova bila je izmjena dijela plašta rotacione peći (slika 6). Za svaku tvornicu cementa funkcionalnost i rad rotacione

peći od velikog je značaja za cjelokupni proces proizvodnje cementa. Zbog iznimno velikih dinamičkih opterećenja, zahtjevi za kvalitetom koji se postavljaju prilikom bilo kakvih aktivnosti na peći vrlo su strogi i opsežni. Radovi na izmjeni dijela plašta peći uključivali su:

1. Rezanje starog dijela plašta i odvajanje od ostatka plašta
2. Montaža novih pozicija na novi segment plašta peći
3. Montaža novog segmenta plašta peći i priprema za spajanje sa ostatkom plašta
4. Zavarivanje predmontiranih pozicija na plašt
5. Sučelno zavarivanje novih segmenata peći.



Slika 6. Peć u radu prije demontaže.

Izvođenje ovako složenih aktivnosti zahtijeva dobru i temeljitu pripremu što uključuje:

1. Izradu potrebne dokumentacije:
 - tehnologije montaže
 - tehnologije zavarivanja
 - planovi kontrole, postupci zaštite na radu
2. Popis potrebnog alata
3. Izobrazba (trening) zavarivača (operatera)
4. Provjera funkcionalnosti sve opreme potrebne za provođenje automatskog postupka rezanja i zavarivanja
5. Izrada raznih naprava potrebnih za izvođenje montažnih i zavarivačkih radova na plaštu peći
6. Pravovremena otprema alata i naprava na gradilište.

4. AKTIVNOSTI NA GRADILIŠTU

4.1 Plinsko rezanje

Kao prva aktivnost tijekom demontažno-montažnih aktivnosti bilo je rezanje i uklanjanje dijela starog plašta peći. Prije rezanja svi segmenti plašta peći koji se režu ukrućuju se s unutrašnje strane peći u obliku postavljanja tzv. "zvijezda" koje sprečavaju pojavu deformacija koje nastaju kao posljedica unosa topline uslijed plinskog rezanja. Plinsko rezanje provedeno je poluautomatskim postupkom korištenjem plina kisika i acetilena uz primjenu modificiranog uređaja za zavarivanje.

Cilj je bio da se postojeći uređaj za zavarivanje uz odgovarajuće preinake i modifikacije iskoristiti za izvođenje plinskog rezanja. Osnovna mu je prednost lakoća korištenja i mogućnost rezanja u svim položajima uz mogućnost fine regulacije brzine kretanja odnosno brzine rezanja. Uredaj koristi graničnik koji se postavlja na vanjski plašt peći koji služi samo kao odstojnik da uslijed težine crijeva ne dođe do značajnijeg pomicanja uređaja iz putanje rezanja. Slika 7 prikazuje uređaj za rezanje, a slika 8 izvođenje rezanja plašta u nadglavnoj poziciji.



Slika 7. Modificirani uređaj za rezanje WELDY CAR



Slika 8. Rezanje plašta u nadglavnoj poziciji

Nakon provedenog rezanja i odvajanja segmenta plašta peći pristupilo se planskoj izradi pripreme za zavarivanje.

4.2 Zavarivanje dijelova rotacione peći

4.2.1 Osnovni i dodatni materijal

Osnovni materijal plašta peći nosi oznaku P275 NH, a aksijalni ili radijalni graničnici koji su se zavarivali na plašt peći su iz materijala S235 JRG2. Navedene materijale odlikuje dobra zavarljivost. Za izvođenje zavarivanja REL postupkom korištene su isključivo bazično obložene elektrode oznake prema EN: E 46 5 B 1 2 H5, a zavarivanje pod prahom provedeno je korištenjem žice oznake prema EN: S2 i praha oznake SA F B 1 68 AC H5. Prilikom korištenja navedenih dodatnih materijala posebna briga se vodila o pravilnom sušenju i čuvanju dodatnog materijala, prema uputama proizvođača, kako bi se eliminirale moguće greške tijekom i nakon zavarivanja.

4.2.2 Postupci zavarivanja

Prilikom zavarivanja svih pozicija na plašt peći koristio se isključivo ručni elektrolučni postupak zavarivanja (REL), a zavarivanje sučelnih spojeva plašta peći provedeno je kombinacijom REL i automatskog postupka zavarivanja pod prahom (EPP). Slika 9 prikazuje pripremljene pozicije za zavarivanje, a slika 10 tijek izvođenja zavarivanja REL postupkom.



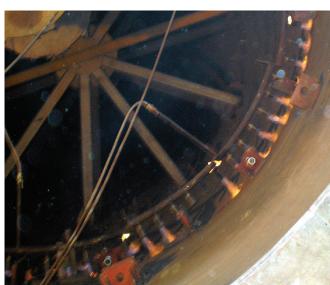
Slika 9. Pripremljene pozicije za zavarivanje



Slika 10. Zavarivanje pozicija na plašt peći

4.2.3 Predgrijavanje

Navedeni materijali zbog relativno velikih debljina zahtijevaju predgrijavanje na odgovarajuću temperaturu. Ovisno o debljinama (40 do 80 mm) temperatura predgrijavanja iznosi je 100 do 150 °C. Poseban problem predstavlja održavanje propisane temperature predgrijavanja pogotovo kada se radovi izvode u montažnim uvjetima i u zimskom periodu. Izvođenje predgrijavanja provodilo se uvjek sa suprotne strane od one sa koje se izvodi zavarivanje, a kontrola temperature se provodila upotrebom digitalnih termometara. U cilju što kvalitetnijeg i jednoličnijeg progrijavanja plašta peći koristili su se specijalno izrađeni grijaci dužine ≈ 2 m koji se na jednostavan način postavljaju s unutrašnje strane peći. Ukoliko se nije mogla postići propisana temperatura vršilo se dogrijavanje i s vanjske strane. Slike 11 do 13 prikazuju način predgrijavanja.



Slika 11. Predgrijavanje s unutarnje strane



Slika 12. Dogrijavanje s vanjske strane



Slika 13. Predgrijavanje vanjske strane

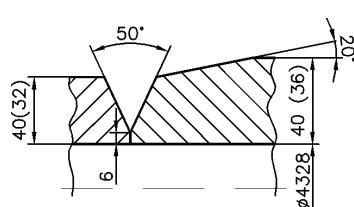
4.2.4 Zavarivanje sučelnih spojeva plašta peći REL i EPP postupkom

Budući da prilikom montaže dijelova plašta peći nije moguće postići ujednačen zazor po cijelom obodu spoja potrebno je provesti zavarivanje REL postupkom jednog prolaza s vanjske strane koji u tom slučaju služi kao podloga za prvi prolaz EPP-om. Nakon polaganja prvog prolaza i naknadnog brušenja pristupa se automatskom postupku zavarivanja pod prahom (EPP).

Zavarivanje EPP-om provodilo se uređajem tzv. "traktor" (slika 14), te korištenjem izvora istosmjerne struje snage 1000 A.



Slika 14. Uređaj za EPP zavarivanje



Slika 15. Oblik pripreme spoja



Slika 16. Izgled zavarenog spoja s vanjske strane

Zavarivanje EPP postupkom provedeno je na način da se "traktor" smješta na posebno izgrađenu platformu opremljenu sa četiri kotača koji omogućuju lagano pokretanje po obodu

plašta peći. Prethodno se platforma centriра i pozicionira, te učvršćuje u četiri točke.

Kao posebna dodatna oprema (uredaj) koristio se reduktor prikazan na slici 17 i 18 povezan sa pogonom peći, te je regulacijom brzine okretanja na reduktoru podešavana brzina okretanja peći, odnosno brzina zavarivanja. Nakon završenog zavarivanja s vanjske strane (slika 16) pristupa se uklanjanju svih pomoćnih naprava, ukruta i ojačanja s unutarnje strane peći, te pristupa žljebljenju zavarenog spoja. Prije zavarivanja s unutarnje strane provodi se međufazno ispitivanje korijena zavara penetrantskim tekućinama u svrhu odstranjivanja eventualnih grešaka.

Nakon kompletнnog zavarivanja provodi se ispitivanje ultrazvučnom metodom u opsegu 100 %.

Na ukupno 10 zavarenih spojeva nije pronađena niti jedna nepravilnost koja bih iziskivala izvođenje popravka zavarenog spoja što ukazuje na vrlo visoku kvalitetu izvođenja zavarivačkih radova. Slike 19 i 20 prikazuju zavarivanje plašta s vanjske i unutrašnje strane.



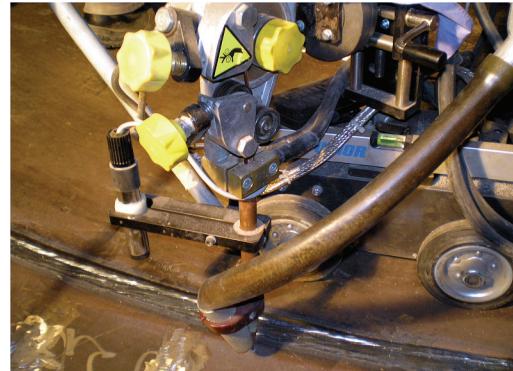
Slika 17. Reduktor



Slika 18. Pogon peći

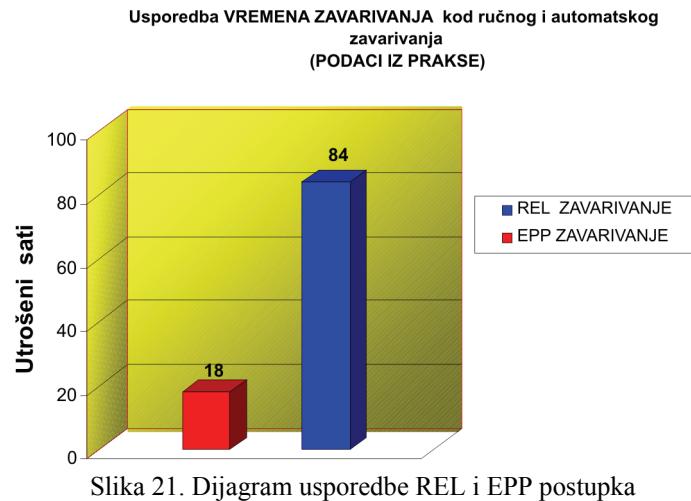


Slika 19. Zavarivanje s vanjske strane



Slika 20. Zavarivanje s unutrašnje strane

Uspoređujući ručni postupak zavarivanja (REL) i automatski postupak (EPP) zavarivanja na projektima gdje se izvodilo zavarivanje segmenata plašta peći, vidljiva je velika razlika u utrošenim satima (slika 21), a kvaliteta i vizualni izgled zavarenog spoja se ne mogu uspoređivati.



5. ZAKLJUČAK

U cilju smanjenja broja radnih sati uvedeni su elementi poluautomatizacije i automatizacije u proizvodnu halu. Automatizacijom su obuhvaćeni postupci toplinskog rezanja i zavarivanja. Uvođenjem automatizacije u proizvodnju postignuto je značajno smanjenje troškova proizvodnje, a samim time smanjila se cijena proizvoda, bez gubitka kvalitete, čime je tvrtka postala konkurentnija na tržištu.

Pripremno vrijeme kod automatskih postupaka zavarivanja razumljivo je duže nego kod ručnih postupaka, ali ukupno vrijeme zavarivanja daleko kraće, uz znatno veću kvalitetu.

Primjena automatskih postupaka rezanja i zavarivanja na montažnim gradilištima vrlo je ograničena i ovisna prvenstveno o vrsti objekata, te mogućnošću osiguranja radnog mesta od nepovoljnih vremenskih utjecaja. Uspješnost provođenja automatizacije na gradilištu ovisi o dobroj pripremi, kvalitetnoj i pouzdanoj opremi za zavarivanje, poštivanju tehnološke discipline i o iskustvu, te snalažljivosti osoblja koje rukuje opremom.

6. LITERATURA

- [1] Atest postupka APF 03/062 (ĐĐ-Montaža)
- [2] Katalog proizvođača (Oerlikon)
- [3] Katalog proizvođača (Sato, Kjellberg)