

UPRAVLJANJE I PRIMJENA ROBOTA ZA ZAVARIVANJE "REIS ROBOTICS RV6L"

Ciglar I.¹, Botak Z.¹

¹Veleučilište u Varaždinu, Varaždin, Hrvatska

Sažetak: U članku je opisan način upravljanja, glavni sastavni dijelovi i tehničke karakteristike robota za zavarivanje. U uvodnom dijelu je kronološki opisan razvoj zavarivanja te su spomenuti osnovni pojmovi koji se koriste u zavarivanju.

Ključne riječi: zavarivanje, robotsko zavarivanje

Abstract: Method of robot control, main components and technical characteristic of robot welding are described in this paper.

Chronology of welding development is described and welding terminology is mentioned in introduction.

Key words: welding, robot welding

1. UVOD

Roboti su danas sve prisutniji u modernim industrijskim postrojenjima. U razvijenijim zemljama poput Japana i SAD-a industrijski roboti imaju do 80% udjela u ukupnom vremenu proizvodnje. Razlog tome su povećani zahtjevi za kvalitetom, kraći rokovi proizvodnje, te prihvatljiva cijena jednostavnijih robota. Roboti za zavarivanje se zbog svoje preciznosti i produktivnosti također sve više koriste u modernoj proizvodnji. Nakon što se putanja robota uspješno isprogramira, on neprekidno izvodi precizne i identične zavare na dijelovima istih dimenzija i specifikacija. Robot, osim što radi brže od čovjeka, može raditi 24 sata na dan i 365 dana u godini, što je mnogo efikasnije od ručnog zavarivanja osposobljenog zavarivača.

2. POVIJEST ZAVARIVANJA

Većina postupaka zavarivanja otkrivena je u novom vijeku [1]. Zavarivanje se razvijalo kao sastavni dio vještine kovača, zlatara i ljevača kod izrade oruđa za rad, oružja, posuda, nakita i građevina (ograde, vrata, mostovi, okovi).

Ljevačko zavarivanje se razvilo usporedno s vještinom lijevanja. Ukrašene tankostijene lijevane vaze iz bronce imaju na sebi i "zavarenih" dijelova. Naknadnim lijevanjem su se na već ranije odliveno osnovno tijelo vaze ili nekog drugog predmeta spajali različiti držači, oslonci i figure.

Lemljenje je spajanje taljenjem legure nižeg tališta od tališta materijala koji se spajaju. Kroz povijest se

lemljenje kao tehnika spajanja koristilo kod izrade nakita i figura.

Kovačko zavarivanje. Izrada mačeva, vrhova strijela i koplja, bodeža i drugog oružja tehnologijom kovačkog zavarivanja bila je poznata u staroj Grčkoj, Francuskoj, Kini, Japanu, Indoneziji i Siriji. Kod kovačkog zavarivanja se krajevi dva dijela koji se žele zavariti spojiti zagriju u kovačkoj vatri do bijelog usijanja i ako je potrebno posipaju se određenim prahom (pijeskom) za "čišćenje". Čekićanjem spoja istiskuju se s dodirnih površina rastaljeni oksidi ili troska, te dolazi do čvrstog zavarenog spoja.

Najbolji mačevi iz čelika u srednjem vijeku radili su se iz niskougličnog čelika, a na njihove rubove su kovački zavarivane (udarcima čekića u toplom stanju) oštrice (trake) iz visokougličnog čelika (1-2.1% C), koje su uz određenu toplinsku obradu davale tvrde, čvrste i oštre bridove. U 19. st. dolazi do otkrića postupaka zavarivanja čiji principi vrijede i danas, a najveći razvoj procesa zavarivanja dogodio se u 19. i 20. stoljeću..

Prije, a naročito poslije drugog svjetskog rata, počinje razvoj i primjena postupaka zavarivanja u zaštitnim plinovima - TIG zavarivanje. MIG zavarivanje se počinje primjenjivati od 1948.g. kao Sigma postupak (Shielded Intert Gas Metal Arc), a 1953. u bivšem SSSR-u se prvi put primjenjuje MAG postupak s CO₂ zaštitnim aktivnim plinom. Hladno zavarivanje pritiskom se koristi od 1948. godine. Nakon 1950. g. razvijaju se mnogi novi postupci kao što su: zavarivanje pod troskom (1951.), trenjem (1956.), snopom elektrona (1957.), ultrazvukom (1960.), laserom (1960.), plazmom u SAD-u (1961.) i drugi.

Prvo zavarivanje i toplinsko rezanje u svemiru izveli su astronauti 16. 10. 1969. u sovjetskom svemirskom brodu "Sojuz 6".

2.1. Definicije i termini u zavarivanju

Zavarivanje je spajanje dvaju ili više istorodnih ili raznorodnih materijala taljenjem ili pritiskom, sa ili bez dodavanja materijala tako da se dobije homogeni zavareni spoj [2].

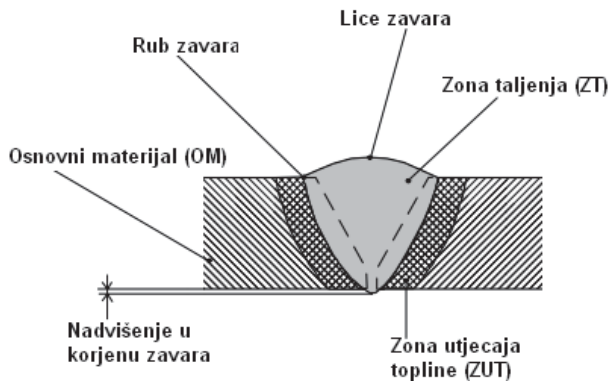
Zavareni spoj (slika 1.) je cjelina ostvarena zavarivanjem koja obuhvaća dodirne dijelove zavarenih komada, a karakterizirana je međusobnim položajem zavarenih dijelova i oblikom njihovih zavarenih krajeva. Zavareni spoj sastoji se od zone taljenja (ZT) i zone utjecaja topline (ZUT).

Osnovni materijal (OM) je materijal koji se zavaruje ili lemi.

Dodatni materijal (DM) je materijal koji se dodaje u zoni taljenja kod zavarivanja ili lemljenja.

Zona taljenja (ZT) - (zavar, navar, šav) je dio površine poprečnog presjeka zavarenog spoja koji je bio rastaljen. Sastoji se najčešće od mješavine OM i DM, a ponekad samo od DM (lemljenje) ili samo od OM (zavarivanje bez DM).

Zona utjecaja topline (ZUT) - (prelazna zona) je onaj dio OM (uz ZT) koji se nije rastalio, ali su mu se mikrostruktura i svojstva izmijenili pod utjecajem topline zavarivanja.



Slika 1. Presjek zavarenog spoja

Zavarljivost je sposobnost materijala da se pri povoljnim uvjetima zavarivanja ostvari kontinuirani zavareni spoj, koji će svojstvima udovoljiti predviđenim zahtjevima.

2.2. Izvori struje za zavarivanje

Izvori struje za zavarivanje su električni uređaji koji na mjestu zavarivanja osiguravaju električnu energiju s osobinama pogodnim za zavarivanje. Kada su priključeni na električnu mrežu (trofaznu ili monofaznu), nalaze se u praznom hodu, a to znači da je uređaj pod naponom i spreman je za rad, ali se još nije uspostavio električni luk. Napon praznog hoda mora biti dovoljno velik da se uspostavi električni luk, ali ne smije biti previsok da ne ugrozi zdravlje zavarivača (strujni udar). Obično je napon praznog hoda kod ručnih uređaja u području od 40 do 60 (V) volti, a kod automatskih do 110 (V) volti.

Kao izvor struje za zavarivanje najčešće se koristi transformator koji izmjeničnu struju iz električne mreže transformira u izmjeničnu struju pogodnu za zavarivanje. Rad transformatora se zasniva na principu elektromagnetske indukcije. Kada se vodič (u ovom slučaju sekundar transformatora) nađe u promjenjivom magnetskom polju, tada se na njegovima krajevima detektira razlika potencijala, tj. napon.

Ako se koriste kod REL zavarivanja, njihova statička karakteristika je strma, a faktor iskoristivosti iznosi $\eta=0,95 - 0,99$ %.

Na kućištu transformatora za zavarivanje nalazi se oznaka "ε" (epsilon) izražena u postocima. Ova oznaka prikazuje omjer vremena korisnog rada (zavarivanja) i vremena mirovanja stroja (hlađenja) i zove se intermitencija stroja za zavarivanje.

Ako npr. vrijeme ciklusa jednog zavara traje 10 min, a transformator ima intermitenciju $\varepsilon = 30$ % kod jakosti struje 200 A, izračun vremena rada i hlađenja izvodi se na sljedeći način:

$$t_c = t_r + t_h \quad (1)$$

gdje su:

t_c - vrijeme ciklusa, min

t_r - vrijeme rada, min

t_h - vrijeme hlađenja, min

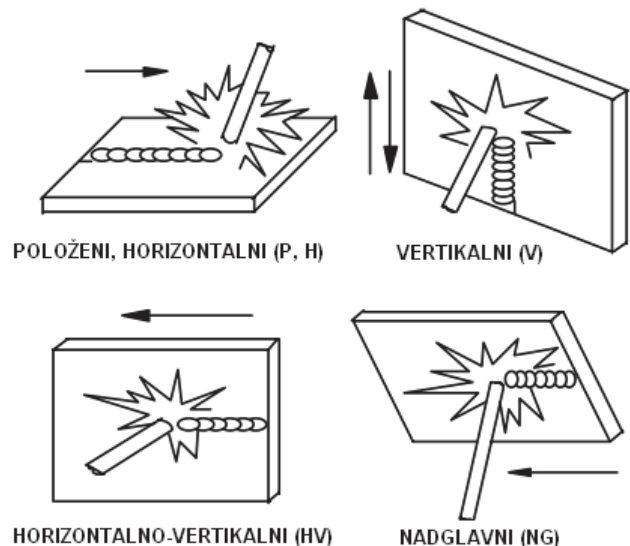
Isti transformator može imati intermitenciju $\varepsilon = 100$ % kod jakosti struje 120 A. To znači da može raditi neprekidno tom jakošću struje i neće dolaziti do pregrijavanja tokom rada (neće se uključiti sigurnosna sklopka).

Kod zavarivanja se često koristi termin intermitencija pogona za zavarivanje. Izraz se odnosi na udio stvarnog gorenja električnog luka tijekom radnog dana. Kod REL zavarivanja se smatra dobrom intermitencijom pogona vrijednost od 30%, dok kod dobro organiziranih pogona može iznositi do 50%.

2.3. Položaji zavarivanja

Osnovna podjela položaja zavarivanja (slika 2.):

- položeni, horizontalni (P, H)
- vertikalni (V)
- horizontalno-vertikalni, zidni (HV)
- nadglavni (NG)



Slika 2. Položaji zavarivanja

3. ROBOTSKO ZAVARIVANJE

Prema definiciji, roboti za zavarivanje su automatski strojevi za zavarivanje koji imaju više od tri stupnja slobode gibanja, a upravljaju se računalom s mogućnošću programiranja i učenja. Na proizvodnim linijama tvornica automobila, transportne radnike i zavarivače sve više zamjenjuju roboti i automati za zavarivanje [3].

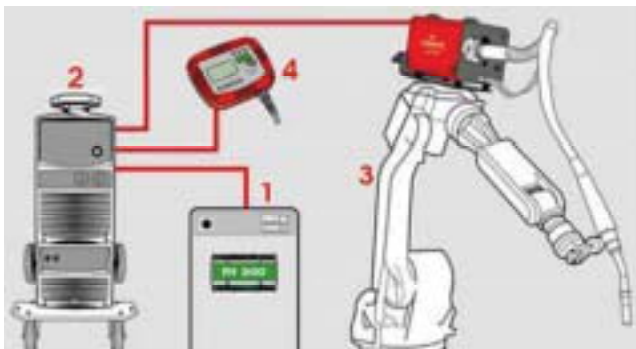
Prvi automati za zavarivanje pod praškom tipa Unionmelt koristili su se u SAD-u oko 1930. godine najviše kod zavarivanja brodova. Ti automati imali su uređaj za automatsko dovođenje elektrodne žice od glave za zavarivanje do mjesta zavarivanja. Glava za zavarivanje bila je montirana na kolica koja su mogla mijenjati brzinu kretanja, odnosno brzinu zavarivanja. Razvoj i automatizacija zavarivanja temelje se na primjeni različitih senzora i računala za praćenje, bilježenje i upravljanje parametrima zavarivanja, uz predviđanje grešaka i istodobno otklanjanje uzroka. U Japanu je 1996.g. postignut stupanj automatizacije od 44% i stupanj robotizacije od 23% u proizvodnji automobila i strojeva.

3.1. Sistem za zavarivanje "Reis robotics"

Najčešće se pod pojmom robota podrazumijeva "industrijski robot" koji se još naziva i "robotski manipulator" ili "robotska ruka".

Glavni sastavni dijelovi sistema za zavarivanje Reis robotics (slika 3.) su [4]:

- 1 - računalo (Siemens S7 PLC)
- 2 - izvor energije (TransPuls Synergic 4000)
- 3 - robot Reis robotics "RV6L"
- 4 - upravljačka ploča - kontrolor (ROBOTstarV)



Slika 3. Sistem za zavarivanje Reis robotics

Sistem upravljanja (računalo i upravljačka ploča) omogućuje upravljanje i nadzor kretanja manipulatora. Siemens S7 PLC (Programabilni Logički Controller - regulator) je industrijsko računalo za upravljanje procesima i sensorima, za prikupljanje podataka i vizualno upravljanje. Ima velik broj ulaza i izlaza. Svaki PLC ima središnju procesorsku jedinicu (CPU - Central Processing Unit) za pohranu i prikupljanje na koji se spaja upravljačka ploča ROBOTStarV. Ulazni dio sastoji se od priključne vijčane stezaljke na koju se spajaju signali iz okoline, odnosno prikupljaju se podaci sa senzora smještenih na robotskoj ruci RV6L. Izlazni dio su priključne vijčane stezaljke na koje se spajaju izvršni uređaji iz procesa, kojima PLC šalje upravljačke signale. Manipulator sistema za zavarivanje sastoji se iz niza krutih segmenata povezanih zglobovima. Ponašanje manipulatora određeno je rukom koja osigurava pokretljivost, zatim ručnim zglobovima koji daju okretnost, te vrhom manipulatora koji zavaruje. Vrh manipulatora se često naziva i pištolj za zavarivanje.

TEHNIČKI PODACI:

Mrežni napon	3 x 400 V
Mrežni napon tolerancija	± 15%
Mrežna frekvencija	50/60 Hz
Mrežni osigurač za zaštitu	35 A
Primarna kontinuirana snaga	2,2 kVA
Stupanj učinkovitosti	88%
Struje zavarivanja:	
MIG / MAG	3 – 400 A
TIG	3 – 400 A
REL	10 – 400 A
Radni napon:	
MIG / MAG	14,2 - 34,0 V
TIG	10,1 - 26,0 V
REL	20,4 - 36,0 V
Dimenzije D/Š/V	625/290/475 mm
Masa:	35,2 kg

3.2. Robot Reis robotics RV6L

Robot za zavarivanje Reis robotics RV6L prikazan je na slici 4. [5].



Slika 4. Robot Reis robotics RV6L

Karakteristične veličine bitne za rad robota su:

Broj osi - za translacijsko i rotacijsko pomicanje osnovnih segmenata. Gibanje robota odvija se u trodimenzionalnom prostoru, pa se prve tri osi najčešće koriste za određivanje pozicije ručnog zgloba, dok preostale osi određuju orijentaciju vrha manipulatora. Robot RV6L ima 6 osi te može dovesti vrh manipulatora u bilo koji položaj unutar radnog prostora.

Brzina gibanja - najviše ovisi o tipu robota i njegovoj namjeni. Roboti pokretani hidrauličkim motorima znatno su brži od ostalih. RV6L koristi električni motor, koji postiže dovoljno velike radne brzine za zavarivanje. U proizvodnji je poželjno skratiti vrijeme izvršenja pomoćnih operacija, a određivanje najoptimalnije brzine s namjerom da se smanji ukupno vrijeme proizvodnje ovisi o:

- točnosti pozicioniranja vrha manipulatora
- materijalu koji se vari
- dužini varenja

Maksimalno opterećenje robota - najveća masa tereta koju robot može prenijeti, a ovisi o veličini, konfiguraciji i konstrukciji robota te o pogonskom sistemu zglobova robota. Masa tereta se kreće u rasponu od nekoliko kilograma do nekoliko tona. Robot RV6L može se opteretiti maksimalnom masom od 6 kg, što znači da masa tereta (u ovom slučaju masa pištolja za zavarivanje) ne smije prelaziti zadanu težinu u trenutku kad je robotska ruka u krajnje ispruženom položaju.

Točnost - sposobnost robota da dovede vrh manipulatora (pištolj za zavarivanje) u proizvoljan položaj u radnom prostoru.

Ponovljivost - sposobnost robota da vrh manipulatora dovede ponovno u istu poziciju. Pogreška koja može nastati pri povratku u isti položaj najčešće je manja od 1 mm, a javlja se zbog zazora zupčanika i elastičnosti segmenata.

Maksimalan doseg - maksimalna udaljenost između ručnog zgloba robota i baze robota koju ručni zglob može dosegnuti. RV6L je rotacijski robot (sve osi imaju rotacijske zglobove), pa mu se dijelovi mogu pomicati po cjelokupnom radnom prostoru (360°). Važno je također robot zaštititi od samoranjanja. Može se dogoditi da zbog pogrešno programirane putanje robot udari sam sebe ili se sudari s predmetima u svojoj radnoj okolini.

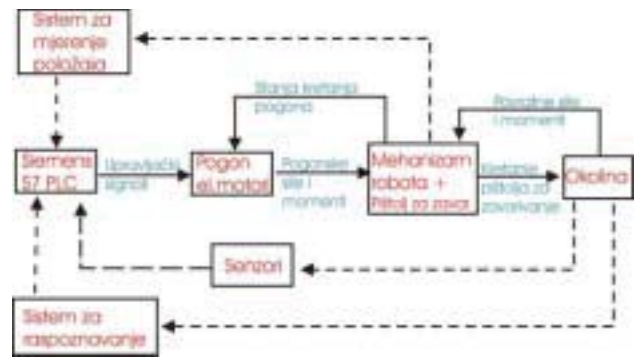
Tehničke karakteristike ROBOTA RV6L [4]:

Tip:	RV6L
Serijski broj:	15444882
God. proizvodnje:	1994
Max. opterećenje robota:	6 kg
Max. doseg:	1635 mm
Ponovljivost:	±0.05 mm
Točnost:	±0.5 mm
Broj osi:	6
Brzina, %s :	
Os 1 :	140
Os 2 :	140
Os 3 :	140
Os 4 :	270
Os 5 :	300
Os 6 :	500
Snaga :	3,3 kVA

3.3. Upravljanje robotom RV6L

Na osnovu programirane putanje manipulatora, upravljački dio proračunava i raspoređuje pomake na zglobove i vrh manipulatora. Ako određeni zadatak zahtijeva međudjelovanje vrha manipulatora i okoline, problem upravljanja postaje složeniji. U tom slučaju se moraju uzeti u obzir i sile na mjestu dodira, a ti podaci se dobiju pomoću senzora.

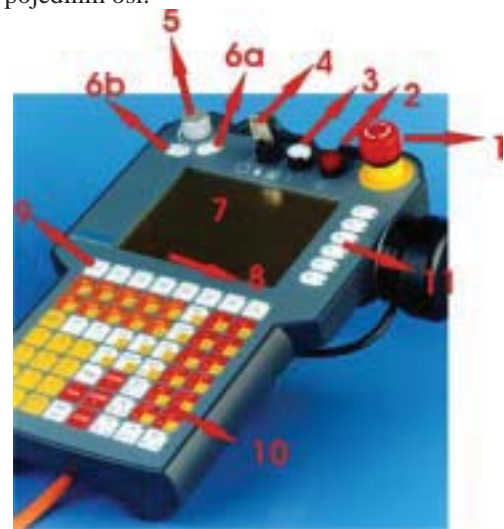
Blok shema upravljanja industrijskog robota prikazana je na slici 5.



Slika 5. Blok shema upravljanja robota

Siemens S7 PLC (upravljački uređaj – računalo) djeluje na pogonski dio (električne motore) koji pokreće mehanizam robota, tako da vrh manipulatora (pištolj za zavarivanje) dođe u zadani položaj u odnosu na objekt zavarivanja ili okolinu. Mjerenjem položaja i brzine vrha manipulatora (sistem za mjerenje položaja) dobije se preko unutarnje povratne veze informacija kojom se može korigirati kretanje. Crtkanom crtom prikazan je način dobivanja informacija iz okoline (senzori) pomoću vanjske povratne veze.

Pomoću upravljačke ploče (slika 6.) učitava se DNC program, što znači da se slijedno izvršava niz naredbi, aktiviraju se odgovarajuće funkcije stroja te se pokreću gibanja pojedinih osi.



Slika 6. Upravljačka ploča RobotSTAR V

Tipkovnicom upravljačke ploče moguće je upravljati svim funkcijama stroja. Upravljačka ploča nema svoju memoriju nego podatke pohranjuje i učitava sa središnje procesorske jedinice PLC-a.

Pritiskom na tipku 3 *pogon uključen* robot se uključuje, a isključuje se pritiskom na tipku 2 *pogon isključen*. Pritiskom na tipku 1 *sigurnosna sklopka* robot se može također isključiti. Ova tipka se koristi za bezuvjetno zaustavljanje gibanja robota u slučaju da je pogrešno isprogramirano njegovo kretanje, pa bi moglo doći do oštećenja robota ili predmeta u njegovoj okolini.

Pomoću poz. 4 *ključ upravljanja* izabere se način programiranja zavarivanja, način izvođenja zavarivanja i način kretanja robotskog manipulatora. Moguća su 3 položaja ključa:

Automatski položaj – ovaj položaj ključa upravljanja omogućuje da stroj za zavarivanje samostalno izvršava upisane naredbe.

Postavljanje (SETTING) – preko tipkovnice direktno se upisuju pomaci robota. Upisuje se početni položaj iz kojeg kreće manipulator i krajnji položaj u koji se želi dovesti manipulator.

Automatski test – ova opcija daje mogućnost za pregled i provjeru isprogramiranih položaja robotske ruke. Kod testiranja zavarivanja ta mogućnost nije uključena, pa se robotska ruka može zaustaviti u svakom položaju. Nakon provjere ispravnosti položaja mogu se prema potrebi promijeniti vrijednosti koordinata. Ovo ujedno služi kao kontrola ispravnosti procesa zavarivanja prije početka zavarivanja.

Potencijometar (poz. 5) *brzina* omogućuje usklađivanje brzine kretanja robotske ruke ili pojedinih segmenata robotske ruke. Brzina se određuje u postocima i to na način da 0% znači da se robot ne kreće (stanje mirovanja), a 100% da koristi maksimalnu brzinu određenu programom. Maksimalna brzina određuje se prema funkciji koju robot obavlja. Kod kretanja u programirani položaj (pozicioniranje) koriste se veće brzine, a kod samog zavarivanja relativno male brzine. Posebna tipka (poz. 11) *otvaranje makronaredbe* nudi nekoliko posebnih programa (makronaredbe) koji su spremljeni u PLC-u. Najčešće su to potprogrami za pozicioniranje robotskog manipulatora u početni ili transportni položaj i najviše korištena makronaredba, za automatsko čišćenje pištolja za zavarivanje. Pomoću posebnih tipki 6.a. «I» i 6.b. «O» omogućuje se uključivanje, odnosno isključivanje makronaredbe.

Funkcijske tipke (poz. 9) omogućuju različite izmjene programa naredbi i ostalih funkcija samog robota. To su tipke od F1 do F6, a njihove mogućnosti pokazane su na poz. 8 *izbornik za funkcijske tipke*.

4. ZAKLJUČAK

Ručno elektrolučno (REL) zavarivanje još uvijek se najviše koristi u Hrvatskoj zavarivačkoj industriji, dok se najmanje koriste automatski strojevi za zavarivanje. Razlog tome je prije svega visoka cijena uređaja i njegovo skupo održavanje. Kada se usporede svi troškovi zavarivanja, počevši od samog stroja, dodatne opreme i obuke zavarivača, dolazi se do zaključka da je isplativije koristiti automatski način zavarivanja.

Dobar primjer za tu tvrdnju je tvrtka *Marti* iz Preloga koja je upotrebom robota za zavarivanje poboljšala vrsnoću svojih proizvoda, smanjila je troškove rada (mala pripremna i završna vremena) i greške na proizvodima, a istodobno je povećala produktivnost. Uz primjenu robota za zavarivanje znatno su smanjene pogreške u proizvodnji zbog ljudskog faktora. Obuka zavarivača traje kraće vrijeme, a potreban je i manji broj zavarivača kod proizvodnje većih serija zavarenih

spojeva. Ovo su samo neke od prednosti upotrebe novih tehnologija zavarivanja, kojima se kvaliteta i produktivnost mogu podići na višu razinu.

U Hrvatskoj su danas još uvijek rijetki automatizirani strojevi za zavarivanje, a koriste ih samo uspješna poduzeća s dobro razrađenom vizijom budućnosti.

5. LITERATURA

- [1] Anzulović, B. Zavarivanje i srodni postupci : skripta. Split : FESB, 1990.
- [2] Kralj, S; Andrić, Š. Osnove zavarivačkih i srodnih postupaka. Zagreb : FSB, 1992.
- [3] Šurina, T.; Crneković, M.: *Industrijski roboti*. Zagreb : Školska knjiga, 1990.
- [4] REIS ROBOTICS : Operation manual. Version: RSV V7.x <http://www.reisrobotics.de>, siječanj 2011.