

2 UVOD

Razvoj opreme za zavarivanje pratio je i razvoj mjernih uređaja za praćenje parametara zavarivanja tijekom procesa zavarivanja. U početku primjene tehnologije zavarivanja praćenja parametara zavarivanja najviše su se zasnivala na promatranju, tj. iskusni zavarivač je mogao približno valorizirati parametre zavarivanja na osnovu promatranja električnog luka (dobro razvijen sluh i vid).

U novije vrijeme za praćenje parametara zavarivanja koriste se senzori koji zamjenjuju oči i uši iskusnog zavarivača. Upravljački sustavi i kompjutorska oprema radi i reagira na promjene parametara zavarivanja puno brže nego čovjek. Današnja oprema omogućuje inteligentniji rad opreme za zavarivanje, tj. moguće je u memoriju ugraditi znanje i iskustvo zavarivača i tehnologa zavarivanja te poboljšati kvalitetu na taj način da se otkrije odstupanje od propisanih parametara i da se to odstupanje korigira. Korištenjem raznih senzora, hardwarea i softwarea za praćenje i registriranje i obradu podataka moguće je pratiti brze promjene parametara zavarivanja. Senzori konvertiraju vrijednosti u analogne signale koji se prate pomoću A/D kartice. Izlazni podaci koji se dobivaju karakteriziraju proces zavarivanja, ponašanje dodatnog materijala (prijenos kapljice u luku), ponašanje izvora struje (dinamička karakteristika izvora), stabilnost visine luka. Ako parametri odstupaju od propisanih granica mogu se pojaviti različite vrste pogrešaka tipa:

- proizvodnih pogrešaka,
- geometrijskih pogrešaka,
- metalurških pogrešaka.

Razvijeni su senzori za praćenje i indirektno mjerenje napona i struje (princip obuhvatnog ampermetra) bez direktnog kontakta zbog zaštite ulaza u kompjuter. Senzori koji se danas dosta koriste su senzori za promatranje-mjerenje intenziteta svjetlosti pomoću fotodiode ili video kamere. Senzor koji će u budućnosti zauzeti važno mjesto pri praćenju parametara zavarivanja je zvučni senzor. Kvaliteta zavarivanja prvenstveno ovisi o kvaliteti zavarenog spoja, pa je potrebno karakterizirati utjecajne faktore pri zavarivanju: parametri opreme, dodatni materijal i sl.

1.1 VRSTE SENZORA KOJI SE KORISTE ZA PRAĆENJE (MONITORING) ELEKTROLUČNIH POSTUPAKA ZAVARIVANJA

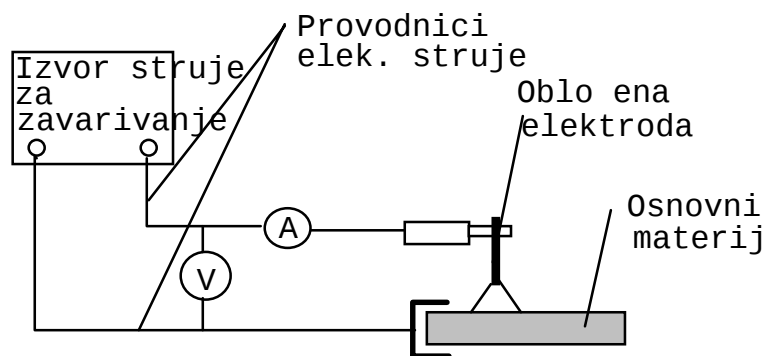
1.1.1 Praćenje parametara zavarivanja ampermetarom i voltmetarom

Prvo praćenje parametara procesa zavarivanja izvodilo se:

- ampermetrom (mjerenje jakosti struje)
- voltmetrom (mjerenje napona struje)

Ampermetri, voltmetri ili univerzalni instrumenti mogu se upotrebljavati u analognoj ili digitalnoj izvedbi. Kod analogne izvedbe kazaljka titra u području od lijeve (minimalne) vrijednosti do desne (maksimalne) vrijednosti što predstavlja područje u kojima su vrijednosti koje mjerimo, tako da nije moguće precizno odrediti mjernu veličinu. Kod digitalne izvedbe amper-volt-ohm metra očitavaju se numeričke vrijednosti koje se odnose na pojedine točke odzivne funkcije napona ili struje zavarivanja. Ukoliko uređaj ne pruža mogućnost određivanja mjerne veličine (napona ili struje zavarivanja) u RMS vrijednosti potrebno je više puta mjeriti i izračunati RMS vrijednosti mjerne veličine.

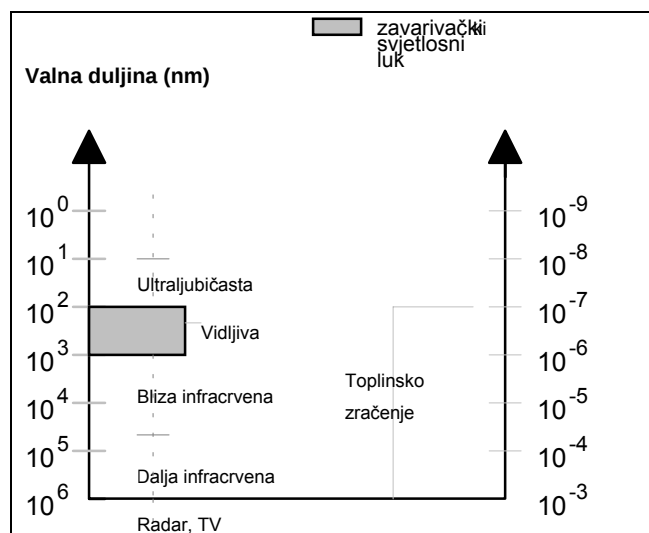
Danas se ti senzori koriste u izvedbi kao obuhvatni kako bi se eliminirala mogućnost nastajanja pogreške zbog oštećenja ulaza u računalo. Pomoću ovih senzora dobivamo ovisnost jakosti struje o naponu tijekom procesa zavarivanja (slika 1.1). Mogu se upotrebljavati u analognoj i digitalnoj izvedbi.



Slika 1.1 Mjerenje jakosti struje ampermetrom i napona struje voltmetrom [1]

1.1.2 Praćenje parametara zavarivanja svjetlosnim senzorom

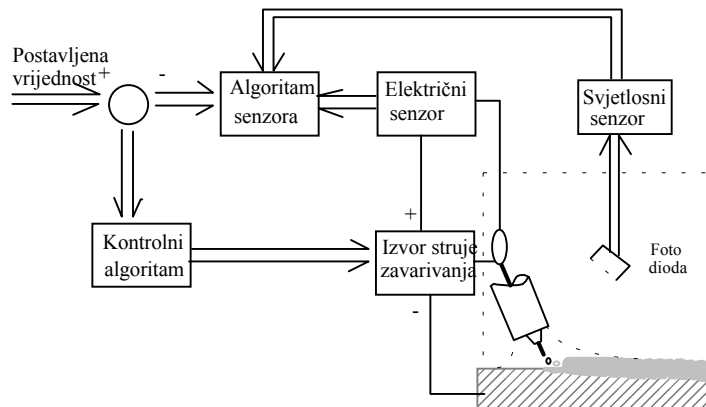
Nalazi svoje mjesto pri praćenju intenziteta svjetlosti luka automatiziranih postupaka zavarivanja, a jednako tako uspješno se primjenjuje i pri praćenju intenziteta svjetlosti luka klasičnih postupaka zavarivanja. Upotrebljavajući svjetlosni senzor male promjene svjetlosti transformiraju se u različitu voltažu. AD-kartica snima i pretvara razliku u voltima u digitalne kodove koji mogu biti prikazani u tabličnom i u dijagramskom prikazu. Optički senzor registrira svjetlost samo u određenom intervalu koji je zanimljiva za proces zavarivanja, dok drugu svjetlost koja se ne odnosi na proces zavarivanja jednostavno ne propušta. Slika 1.2 odnosi se na spektar elektromagnetskih valova uključujući područje zanimljivo od početne točke mjerenja električnog luka tijekom zavarivanja



Slika 1.2 Spektar elektromagnetskih valova. U zavarivačkom luku prijelaz elektrona je u vidljivom i zaokruženom dijelu [2]

Točno reguliranje senzorskih položaja tijekom zavarivanja je jako značajno za osjetljivost svjetlosnog luka. Senzor se određuje lokacija pomoću jednostavne naprave nasuprot električnog luka (zavarivačke jedinice), i on se sinkronizirano pokreće sa zavarivačkom jedinicom. Foto-doida i brza video kamera su dva senzora koja se najviše koriste pri promatranju intenziteta svjetlosti luka procesa zavarivanja.

Foto-dioda je senzor koji se koristi za određivanje jačine intenziteta svjetlosti električnog luka u procesu zavarivanja. Promatranjem kroz električni luk dobiju se slike pojava u luku, pa se te slike kompjutorski obrađuju. Na slici 1.3 prikazan je sustav za praćenje procesa zavarivanja pomoću foto-diode.



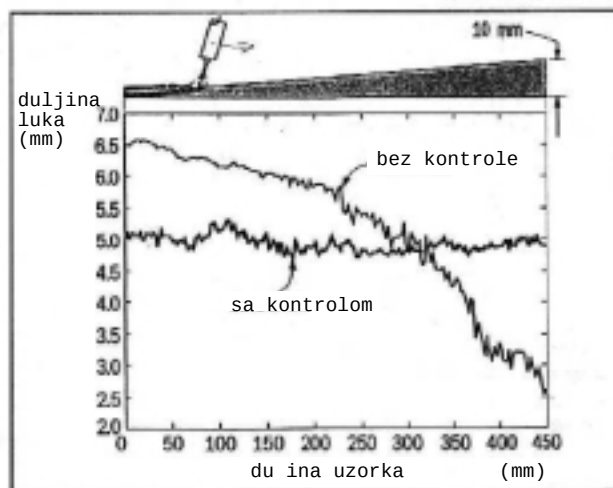
Slika 1.3 Sustav za upravljanje procesa zavarivanja pomoću foto-diode [3]

Analizom slika (pojava) u električnom luku dobiju se podaci o frekvenciji kapljica u luku, kvaliteti zaštitnog plina i sl. Promjene parametara zavarivanja i promjene jačine svjetlosti u električnom luku treba simultano pratiti kako bi se ostvarilo upravljanje procesom zavarivanja, a samim time i kvalitetom zavarenih spojeva. Na osnovi ovakvoga načina praćenja procesa zavarivanja dobivamo uvid u pogreške koje smo do sada jako teško otklanjali, a to su:

- istrošenost kontaktne cjevčice
- pogreške zbog nedovoljne kvalitete zaštitnog plina
- prevelika penetracija i protaljivanje
- preveliko nadvišenje zavara
- prevelik unos topline

Ovisnost dužine luka zavarivanja o dužini uzorka koji ja izrađen sa blagim nadvišenjem, a u funkciji je samokontrole dužine luka prikazuje slika 1.4. Jasno je prikazano da ako je samokontrola dužina luka uključena dužina luka će ostati približno jednaka bez obzira na to

što je uzorak izveden sa blagim nadvišenjem. Ako je samokontrola dužine luka isključena, a uzorak je izveden sa blagim snošenjem, tada visina električnog luka ima tendenciju smanjenja, a nakon određenoga vremena (određene duljine) elektroda će se zabiti u osnovni materijal.



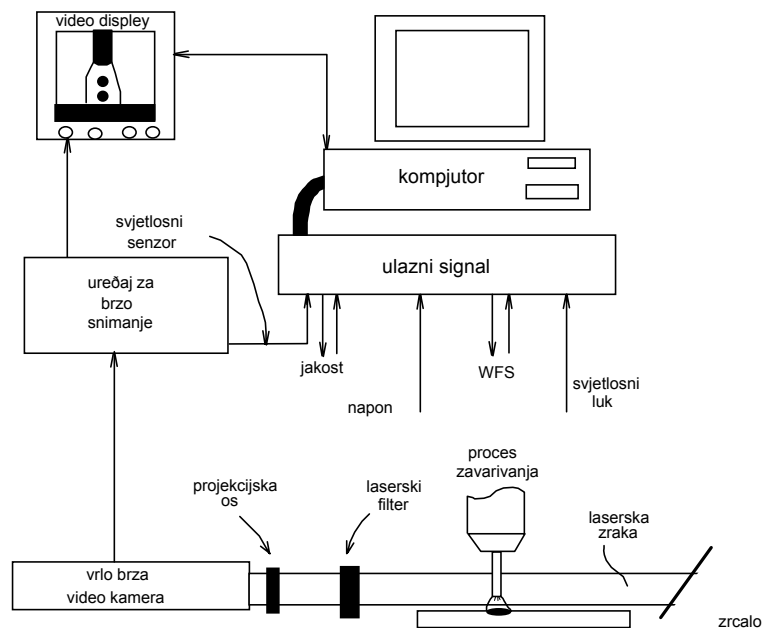
Slika 1.4. Ovisnost dužine zavarivačkog luka o dužini uzorka [4]

1.1.3 Praćenje parametara zavarivanja brzom video kamerom

Oprema za podešavanje parametara za osjetljivost svjetlosnog luka je jako skupa. Kao primjer interesantno je navesti da standardna video kamera snima brzinom od 30-50 slika u sekundi dok specijalna (high speed camera) snima električni luk pri procesu zavarivanja brzinom od 1000-6000 slika u sekundi kako bi mogla snimiti vrlo brze i vremenski kratke promjene. Oprema za podešavanje parametara za osjetljivost svjetlosnog luka se sastoji od:

- vrlo brze kamere
- laserskog uređaja
- filtrirajućeg uređaja

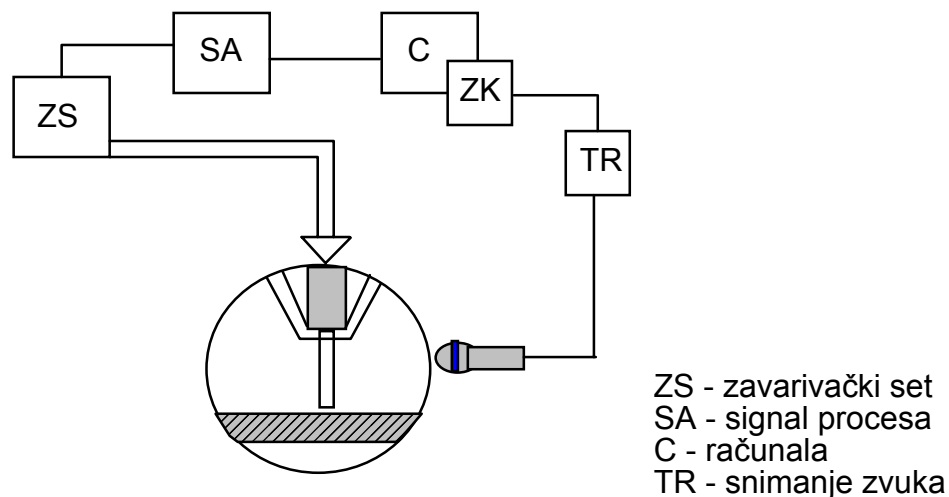
Svi ti uređaji su vremenski usklađeni. Na početku zavarivanja svi senzori moraju biti spojeni u isto vrijeme sa ciljem da se električni luk može kvalitetno prikazati. Kasnije se studije mogu raditi na usporenim snimkama. Promjene u luku i promjene u kvaliteti zvara se trebaju simultano promatrati s promjenama parametara zavarivanja i otkriti kako otkriti i spriječiti pogreške kod zavarivanja na temelju električnih signala. Još uvijek se pokušava naći jeftiniji način podešavanje svjetlosnog luka za izvođenje u industrijskim uvjetima, ali za sada je riješenje koristiti vrlo brze svjetlosne kamere i laserske uređaje što je još uvijek jako skupo.



Slika 1.5 Shematski prikaz praćenja procesa zavarivanja brzom video kamerom [5]

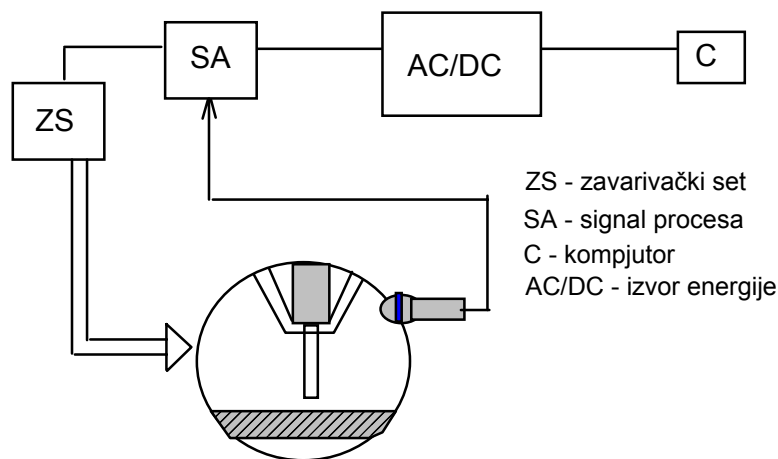
1.1.4 Praćenje parametara zavarivanja zvučnim senzorom

Zasigurno će u budućnosti zauzeti važno mjesto pri praćenju procesa zavarivanja. Zvučno promatranje blizu električnog luka je jeftino i praktično. Kao zvučni senzor koristimo srednje kvalitetni mikrofoni. Tijekom zavarivačkog procesa javljaju se mnogi sporedni zvukovi koji ne dolaze od procesa zavarivanja, a zvučni senzor ih zabilježi, tako da pri kasnijoj analizi imamo veliki problem, jer je teško raščlaniti koje su frekvencije procesa zavarivanja, a koje su frekvencije sporednih zvukova. Drugi problem koji se javlja je kašnjenje zvuka (potrebno je određeno vrijeme da zvuk dođe neposredno od električnog luka do zvučnog senzora). Danas ovaj senzor nalazi primjenu samo u laboratorijskim uvjetima, dok za primjenu ovoga senzora u industrijskim uvjetima još je prerano govoriti. Težimo tome da pomoću ovoga senzora zabilježimo zvuk procesa zavarivanja, dok bi druge zvukove koji se javljaju u industrijskim uvjetima, a nisu zvukovi zavarivačkog procesa jednostavno zanemarili. Ako dolazi do promjene zvuka tijekom procesa zavarivanja svaki iskusni zavarivač zna da se nešto događa u električnom luku tj. dolazi do nekakve pogreške. Postavlja se pitanje *do kakve pogreške dolazi?* Odgovor na ovo pitanje zasigurno će nam dati i ovaj senzor, ali još je uvijek veliki problem zapis i postanaliza zvukova zavarivanja.



Slika 1.6 Prikaz zvučnog senzora [6]

Još jedan problem koji bi u skoroj budućnosti trebao naći rješenje je taj što možemo snimati zvuk samo preko jednoga kanala (koristimo samo jedan mikrofoni). Broj ulaza ne omogućava snimanje zvuka na više lokacija (slika 1.7) i uspoređivanja snimljenih zvukova. Mikrofoni postavljeni neposredno do električnog luka davao bi zvuk procesa zavarivanja, dok bi drugi mikrofoni postavljeni dalje od električnog luka zabilježili one zvukove koji ne ulaze u zvukove procesa zavarivanja. Takvom usporedbom više snimljenih zvukova (više kanalno snimanje) mogli bi eliminirati zvukove koji nisu zvukovi procesa zavarivanja, a dobili bi čisti zvuk zavarivanja. Na taj način uspjeli bi kod promjene zvuka u procesu zavarivanja ustanoviti zašto dolazi do promjene zvuka, kakve su posljedice te promjene tj. kakve se pogreške javljaju u procesu zavarivanja. Također mogli bi odrediti na kojoj to frekvenciji rastaljeni metal napušta obloženu elektrodu i prenosi je na osnovni materijal (mjesto zavora).



Slika 1.7 Snimanje zvuka preko jednoga kanala unutar monitoring uređaja [6]

U posljednje vrijeme ukazuje se sve veća potreba za minimalizacijom svih vrsta zvučnih sustava i pretvarača. To je omogućeno uvođenjem mikroelektronske tehnologije. Ona se primjenjuje pri konstrukciji zvučnih senzora. Membrane tih mikrofona su površine 1mm^2 i debljine manje od $1\text{ }\mu\text{m}$. U usporedbi sa klasičnim mikrofonom ovi mikrofoni imaju približno istu frekvencijsku karakteristiku i za usporedbenu širinu pojasa oko 10 dB višu ekvivalentnu razinu šuma. Dimenzije su mu dva puta manje od ovih mikrofona. Zbog male mase membranska osjetljivost mu je manja za tri puta. Ovi mikrofoni dopuštaju serijsku proizvodnju i integraciju elektromehaničkih elemenata za procesiranje signala u istom elementu. Prednost im je neosjetljivost na vanjsko elektromagnetno polje.

Praćenje parametara zavarivanja ultrazvukom [7]

Razvijen je sustav kojim je moguće tijekom zavarivanja ultrazvukom pratiti i otkrivati nastale pogreške zavarenog spoja. Moguće je korigirati parametre i uvjete zavarivanja odmah nakon pojave pogreške i korekcijom uzroka odmah djelovati na proces zavarivanja da se pogreška više ne pojavljuje. Ovakvim načinom štedimo vrijeme koje je potrebno za popravljivanje pogrešaka. Nedostatak ovakvog postupka otkrivanja pogrešaka su visoke temperature metala za ultrazvučnu sondu u blizini linije zavarivanja. Visoke temperature smanjuju točnost u pronalaženju položaja i karakteriziranju pogreške.

1.2 ZNAČAJNIJI PROBLEMI KOD MJERENJA I OBRADE RAZLIČITIH SIGNALA KOD ELEKTROLUČNIH POSTUPAKA ZAVARIVANJA

Dinamično praćenje parametara pokazalo je brojne prednosti nad prijašnjim načinima. U svakom trenutku možemo očitati vrijednosti traženih parametara, tj. nakon pojave pogreške možemo odmah korigirati parametre zavarivanja i uspostaviti odgovarajuće parametre. U daljnjim izlaganjima biti će dosta govora o načinu zavarivanja pomoću monitoring uređaja te o njihovim prednostima, a u ovome poglavlju detaljnije ćemo pažnju posvetiti problemima koji se javljaju kod ovakvih načina zavarivanja.

Jedan od bitnijih problema koji zasigurno opravdava još uvijek nedovoljno korištenje ovakvog načina praćenja parametara zavarivanja u industrijskim uvjetima je cijena koštanja opreme. Još uvijek za naš standard oprema je prilično skupa i na sve načine gleda se izbjeći ovakav način praćenja parametara zavarivanja što je zasigurno pogrešno. Snižanjem cijene opreme ovakvog načina praćenja parametara zavarivanja zasigurno će ovaj uređaj naći primjenu u brojnim industrijskim okruženjima.

Još jedan razlog zbog kojega se ovaj uređaj ne primjenjuje je taj što je ovakav način praćenja parametara još u fazi istraživanja tj. još uvijek nema propisanih pravila ni standarda

o korištenju ovoga uređaja već se za sada sve svodi na brojnim pokušajima izvođenja pokusa kako bi se dobili nekakvi standardi o korištenju ovoga uređaja .

Operator je također problem jer ne postoji veliki broj ljudi koji je upoznat sa ovakvim načinom praćenja parametara zavarivanja. Ovakav način praćenja parametara zavarivanja zahtijeva visokokvalificirano osoblje, a što ujedno poskupljuje cijenu izvođenja ovoga postupka .

Za sada ovaj postupak nije ekonomski opravdan zbog toga ovaj uređaj nalazi svoju primjenu u istraživačkim laboratorijima, kod ocjenjivanja novih postupaka, kod atestiranja novih uređaja i sl. Težimo tome da imamo zavare bez pogreške, a da bi to ostvarili jedan od velikih koraka koji nas približava cilju je ovakav način praćenja parametara zavarivanja, prema tome ovaj postupak bi trebao u budućnosti biti ekonomski opravdan .

Oprema je vrlo skupa te njene komponente zahtijevaju posebne uvjete korištenja. Senzori koji se koriste su vrlo osjetljivi i ne trpe odstupanja pri njihovom namještanju tj. pogrešnim postavljanjem senzora (na određeno mjesto) ne dobivamo tražene (očekivane) rezultate. Za

sada je jako teško u industrijskim uvjetima spojiti sve ovo u jednu cijelinu s ciljem da dobijemo točne rezultate, pa zasada ovaj postupak dinamičkog mjerenja parametara zavarivanja nalazi svoje mjesto u laboratorijskim uvjetima. Sve većim zanimanjem za ovakav način praćenja parametara zavarivanja te istraživanjem u tom području zasigurno će ovakav način praćenja parametara zavarivanja u narednim godinama prilagoditi za industrijske uvjete.