

Primjena EPP postupka pri zavarivanju čelika SA516 Gr70

Application of SAW proces sin welding of steel SA516 Gr70

Filip Vusić

Međimursko veleučilište u Čakovcu, Bana Josipa Jelačića 22a, 40000 Čakovec

E-mail: filip.vusic@mev.hr

Sažetak: *U ovom radu opisan je postupak elektrolučnog zavarivanja pod praškom (EPP), te je prikazana primjena ovog postupka pri zavarivanju čelika SA516 Gr70. U teorijskom dijelu opisan je postupak EPP zavarivanja, opisani su osnovni parametri kod ovoga postupka zavarivanja, oprema, dodatni materijali i prašci korišteni kod ovoga postupka. U eksperimentalnom dijelu rada provodi se EPP zavarivanje sučeljenog spoja iz osnovnoga materijala čelika SA516 Gr70. Nakon zavarivanja na pripremljenim uzorcima provodilo se mehaničko ispitivanje (udarni rad loma).*

Ključne riječi: *čelik SA516 Gr70; EPP zavarivanje; mehanička ispitivanja*

Abstract: *This piece of work describes the process of submerged arc welding (SAW), and shows the use of this procedure for welding steel SA516 Gr70. In the theoretical part, SAW process is described along with basic parameters of the welding process, equipment, materials and powders used in this procedure. In the experimental part of the work, submerged arc welding of butt joint is carried out with base material steel SA516 Gr70. After welding prepared samples are put to the mechanical test (impact test).*

Key words: *impact test, steel SA516 Gr70, submerged arc welding (SAW)*

1. Uvod

Zavarivanje je spajanje dvaju ili više, istorodnih ili raznorodnih materijala, taljenjem ili pritiskom, sa ili bez dodavanja dodatnoga materijala tako da se dobije homogeni zavareni spoj. Iz ove, opće prihvaćene definicije zavarivanja, zaključuje se da se radi o vrlo složenoj

proizvodnoj tehnologiji. Tehnologija zavarivanja zahtijeva poznavanje osnovnoga materijala koji se zavaruje, dodatnog materijala, primijenjenoga postupka zavarivanja te eksploatacijskih uvjeta u kojima će se nalaziti dio koji se zavaruje.

Elektrolučni postupci zavarivanja međusobno se dosta razlikuju, ali svima je svojstveno da postoji električni luk. Električni luk se uspostavlja između dvije elektrode, a to su kod zavarivanja u pravilu dodatni materijal i radni komad. Kod električnoga luka događa se pretvorba električne energije u toplinsku prilikom kratkoga spoja vrha elektrode s radnim komadom, nastupa ionizacija molekula i atoma, te se postiže vrlo visoka temperatura pogodna za taljenje osnovnoga i dodatnoga materijala (Kralj i Andrić, 1992.).

Zavarivanje pod zaštitom praška (EPP) razlikuje se od drugih elektrolučnih postupaka zbog činjenice da se električni luk u toku procesa ne vidi jer je prekriven slojem praška i troske koja nastaje taljenjem dijela tog praška. Ovaj postupak zavarivanja vrlo je produktivan, a najčešće se primjenjuje za zavarivanje limova srednjih i većih debljina. Takve debljine limova koriste se kod izrade posuda pod tlakom, petrokemijskoj industriji, industriji nafte i plina te u brodogradnji.

U ovom radu biti će opisana i eksperimentalno prikazana primjena EPP postupka pri zavarivanju čelika SA516 Gr70 koji se koristi kod izrade posuda pod tlakom. Cilj je pravilno projektirati tehnologiju zavarivanja EPP postupkom ovoga čelika, izračunati sve važne parametre koji utječu na kvalitetu zavarenoga spoja, izraditi specifikaciju postupka zavarivanja za zadani slučaj te provesti mehaničko ispitivanje (udarni rad loma), kako bi se ustanovilo zadovoljava li zavareni spoj tehnološke i eksploatacijske uvjete.

2. Eksperimentalni rad

2.1. Opis eksperimenta

Eksperimentalni rad proveden je u firmi Monter Strojarske Montaže d.d., te na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta u Zagrebu.

Predmet istraživanja bila je analiza tehnologije elektrolučnog postupka zavarivanja pod praškom na sučeljenom spoju od osnovnoga materijala SA516 Gr70. U radu je potrebno odrediti unose topline i izračunati količinu depozita za određene parametre zavarivanja. Također je potrebno klasificirati primijenjene dodatne materijale, prašak te provjeriti potrebu za primjenom toplinske obrade nakon zavarivanja.

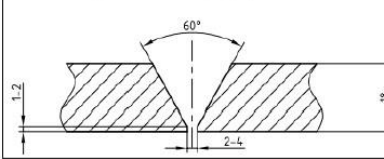
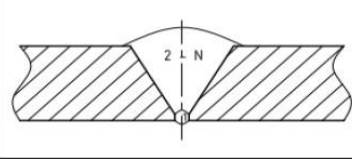
Pri analizi primijenjene tehnologije zavarivanja provodi se ispitivanje mehaničkih svojstva zavarenoga spoja (udarni rad loma prema normi EN 875 : 1995.). Istraživanja će se provoditi u kontroliranim uvjetima.

Uzorak koji se zavarivao je iz osnovnog materijala čelika SA516 Gr70, dimenzija 400x300x18 mm (duljina, širina, debljina). Priprema spoja je „V“, a prilikom zavarivanja su korištena tri postupka. Korijenski prolaz je rađen postupkom 135 (MAG – STT), drugi prolaz postupkom 136 (MAG –PPŽ), a popuna je rađena postupkom 121 (EPP). Temperatura predgrijavanja je iznosila 100 °C, a naknadna toplinska obrada nije se provodila.

2.2. Specifikacija postupka i proces zavarivanja

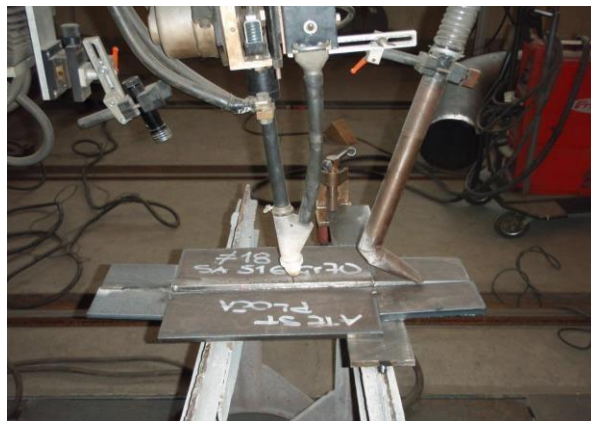
Prije početka zavarivanja potrebno je izraditi preliminarnu specifikaciju postupka zavarivanja u kojoj su dani svi podaci potrebni da bi se moglo pristupiti samom procesu zavarivanja. U nastavku je prikazan primjer preliminarne specifikacije postupka zavarivanja pWPS FSB 10/2015, kao priprema za izvođenje ovoga eksperimentalnoga rada.

Slika 1. Preliminarna specifikacija postupka zavarivanja 10/2015 – pWPS (Vusić, 2015.)

Mjesto: --- Postupak zavarivanja Oznaka uputstva za zavarivanje (pWPS): 10/2015 Broj izvještaja o odobrenju postupka (WPAR): Poduzeće: Ime zavarivača: --- Postupak zavarivanja: 135 (MAG – STT) + 136 (MAG) + 121 (EPP) Vrsta spoja: BW (sučeljeni spoj) Pojednosti pripreme rubova: ---		Ispitno mjesto: FSB, Zagreb Način pripreme rubova i čišćenja: četkanje Specifikacija osnovnog materijala: A/SA516 - Grade 70 Debljina osnovnog materijala: 18 mm Vanjski promjer: --- Položaj zavarivanja: PA						
Oblikovanje zavarenog spoja		Redoslijed zavarivanja						
								
Protaz	Postupak zavarivanja	Promjer dodatnog materijala [mm]	Jakost struje zavarivanja [A]	Napon zavarivanja [V]	Vrsta struje, polaritet	Brzina dodavanja žice [m/min]	Brzina zavarivanja [mm/min]	Unos topline [kJ/mm]
1.	135	1,2 EMK 6	125 – 135	16 – 18	DC(+)	/	/	/
2.	136	1,2 TI 52 – FD	235 – 238	31 – 33	DC(+)	/	/	/
3. – n	121	3 UNION S3	500	30	DC(+)	/	/	/
Dodatni materijal: -vrsta i trgovačko ime: 135: EMK 6 (EN ISO 14341-A: G424M/CG3Si1) 136: TI 52-FD (EN ISO 17632-A/08: T 464PM1H10) 121: UNION S3 (EN ISO 14341: G 42M G3Si1), BB24 (EN ISO 14174: SA FB 1 65 DC H5)					1. Pripremiti rubove lima brušenjem tako da kut između bude 60°. 2. Limove postaviti s razmakom od 2 mm između njih. 3. Prije početka zavarivanja predgrijati ploče na 100 °C. 4. Između prolaza mjeriti međuslojnu temperaturu i očistiti zavar četkanjem. 5. Bazna/vršna struja kod MAG – STT: 60 A/395 A			
Zaštitni plin: -zaštitni plin: M21 Feromix C18 (Ar/CO ₂ :82/18) (EN ISO 14175)								
Protok plina: -zaštitnog plina: 15 – 20 l/min								
Temperatura predgrijavanja: 100 °C, propan – butan								
Međuslojna temperatura: < 250 °C								
Toplinska obrada: ---								

Na temelju podataka iz pWPS – a moglo se početi s procesom zavarivanja. Slika 2. prikazuje ploče od osnovnoga materijala SA516 Gr70 nakon završenoga zavarivanja MAG – STT i MAG – praškom punjena žica postupaka zavarivanja i prije početka zavarivanja EPP postupkom. Prije samog početka EPP zavarivanja operater namješta putanju glave uređaja pomoću svjetlosne točke. Ovaj postupak vrlo je bitan jer je električni luk sakriven pod praškom tijekom zavarivanja i onemogućeno je praćenje njegove putanje. Na slici se također vidi usisavač koji skuplja višak praška.

Slika 2. Vođenje glave i priprema za zavarivanje EPP postupkom (Vusić, 2015.)



Proces EPP zavarivanja započinje ispuštanjem veće količine praška iz posude i uspostavom električnog luka. Za potrebe ovoga eksperimenta električni luk se uspostavlja na pomoćnoj ploči koja je bila privarena za osnovni komad zbog stabilizacije luka i procesa zavarivanja prije dolaska na osnovni materijal. Namještanje i kontrola struje i napona zavarivanja vršila se na komandnoj stanici koja se nalazila na konzolnom stupu. Slika 3. prikazuje uspostavu električnoga luka kod EPP zavarivanja, a slika 4. podešene i izmjerene vrijednosti struje i napona korištene prilikom EPP zavarivanja u ovom eksperimentalnom radu.

Slika 3. Uspostava električnog luka kod EPP zavarivanja (Vusić, 2015.)



Slika 4. Vrijednosti struje i napona prilikom EPP zavarivanja (Vusić, 2015.)



EPP postupkom zavarivanja napravljena je popuna sučeljenog spoja u šest prolaza. Kod svakog od prolaza stuja zavarivanja varirala je od 290 do 310 A, a napon između 30 – 33 V. Brzina zavarivanja varirala je od sloja do sloja, s tim da je najveća brzina zavarivanja EPP postupkom bila kod 1. prolaza i iznosila je 60,4 cm/min, a najmanja brzina bila je kod 6. tj. zadnjeg prolaza i iznosila je 31,9 cm/min. Posljedica ovih različitih brzina zavarivanja su i različiti unosi topline i različiti depozit dodatnoga materijala kod različitih prolaza. Zbog V pripreme spoja, logično je smanjenje brzine zavarivanja kod zadnjih slojeva radi potrebe više nataljenoga dodatnoga materijala. 1. i 2. prolaz EPP postupkom rađen je tako da popuni cijeli žlijeb, a 3., 4., te 5., 6., prolazi rađeni su tako da se prvo pupunila desna, a zatim i lijeva strana žlijeba. Tehnika zavarivanja je neutralna, a to znači da je glava uređaja u odnosu na radni komad pod kutom od 90°. Slika 5 prikazuje proces EPP zavarivanja, a slika 6 zavareni spoj nakon 5. prolaza. Iz slike 6 jasno se vidi kako se popuna zadnjih slojeva vršila tako da se prvo popunjavala desna strana žlijeba.

Slika 5. Prikaz EPP zavarivanja sučeljenog spoja iz osnovnoga materijala SA516 Gr70 (Vusić, 2015.)



Slika 6. Zavareni spoj nakon 5. prolaza, popuna spoja vrši se u dva prolaza (Vusić, 2015.)



Međuslojna temperatura provjeravala se između svakoga prolaza. Prema preliminarnoj specifikaciji postupka zavarivanja ova temperatura mora biti manja od 250 °C i zato se kontrolirala. Slika 7 A prikazuje nedopušteni iznos međuslojne temperature, a slika 7 B dopušteni iznos međuslojne temperature za početak procesa zavarivanja.

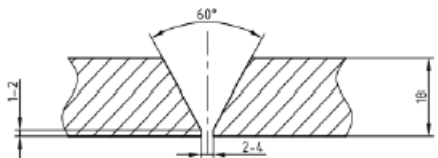
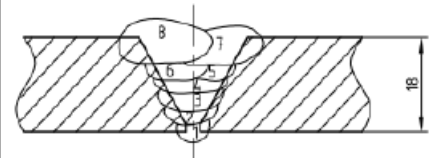
Slika 7. Kontrola međuslojne temperature (Vusić, 2015.)

7. A Previsok iznos međuslojne temperature

7. B Dopušten iznos međuslojne temperature



Slika 8. Specifikacija postupka zavarivanja 10/2015 – WPS (Vusić, 2015.)

Mjesto: --- Postupak zavarivanja Oznaka uputstva za zavarivanje (WPS): 10/2015 Broj izvještaja o odobrenju postupka (WPAR): Poduzeće: Ime zavarivača: --- Postupak zavarivanja: 135 (MAG – STT) + 136 (MAG) + 121 (EPP) Vrsta spoja: BW (sučeljeni spoj) Pojednosti pripreme rubova: ---		Ispitno mjesto: FSB, Zagreb Način pripreme rubova i čišćenja: glodanje, četkanje Specifikacija osnovnog materijala: A/SA516 - Grade 70 Debljina osnovnog materijala: 18 mm Vanjski promjer: --- Položaj zavarivanja: PA						
Oblikovanje zavarenog spoja 		Redoslijed zavarivanja 						
Prolaz	Postupak zavarivanja	Promjer dodatnog materijala [mm]	Jakost struje zavarivanja [A]	Napon zavarivanja [V]	Vrsta struje, polarnitet	Brzina dodavanja žice [m/min]	Brzina zavarivanja [cm/min]	Unos topline [kJ/cm]
1.	135	1,2 EMK 6	125 – 135	16 – 18	DC(+)	3,3	11,3	10,3
2.	136	1,2 TI 52 – FD	235 – 238	31 – 33	DC(+)	9,3	45,5	8,3
3.	121	3 UNION S3	290 – 310	30	DC(+)	/	60,4	8,79
4.	121	3 UNION S3	290 – 310	32	DC(+)	/	35,9	15,78
5.	121	3 UNION S3	290 – 310	32	DC(+)	/	37,4	15,4
6.	121	3 UNION S3	290 – 310	33	DC(+)	/	34,8	17,35
7.	121	3 UNION S3	290 – 310	32	DC(+)	/	36,5	16,3
8.	121	3 UNION S3	290 – 310	32	DC(+)	/	31,9	18,66
Dodatni materijal: –vrsta i trgovačko ime: 135: EMK 6 (EN ISO 14341-A: G424M/CG3Si1) 136: TI 52-FD (EN ISO 17632-A/08: T 464PM1H10) 121: UNION S3 (EN ISO 14341: G 42M G3Si1), BB24 (EN ISO 14174: SA FB 1 65 DC H5) Zaštitni plin: –zaštitni plin: M21 Feromix C18 (Ar/CO ₂ 82/18) (EN ISO 14175) Protok plina: –zaštitnog plina: 15 – 20 l/min Temperatura predgrijavanja: 100 °C, propan – butan Međuslojna temperatura: < 250 °C Toplinska obrada: ---					1. Pripremiti rubove lima brušenjem tako da kut između bude 60°. 2. Limove postaviti s razmakom od 2 mm između njih. 3. Prije početka zavarivanja predgrijati ploče na 100 °C. 4. Između prolaza mjeriti međuslojnu temperaturu i očistiti zavar četkanjem. 5. Glava automata postaviti u neutralnu tehniku zavarivanja. 6. Slobodni kraj žice iznosi 35 mm. 7. Bazna/vršna struja kod MAG – STT: 60 A/395 A			

2.3. Mjerenje žilavosti – udarni rad loma

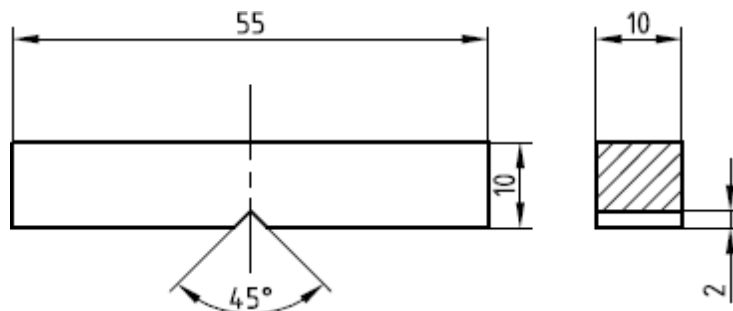
Ispitivanje udarnoga rada loma provodi se s ciljem utvrđivanja ponašanja materijala u uvjetima udarnoga opterećenja. Iznos udarnoga rada loma je pokazatelj „žilavosti“ ili „krhkosti“ materijala udarno opterećenih epruveta s utorom. Ispitivanje udarnoga rada loma provodi se na Charpy – evom batu (Ivušić i sur, 2009.). Slika 9 prikazuje Charpy – ev bat na kojem je vršeno ispitivanje u okviru ovoga eksperimentalnoga rada.

Slika 9. Charpy – ev bat na kojem je mjeren udarni rad loma (Vusić, 2015.)



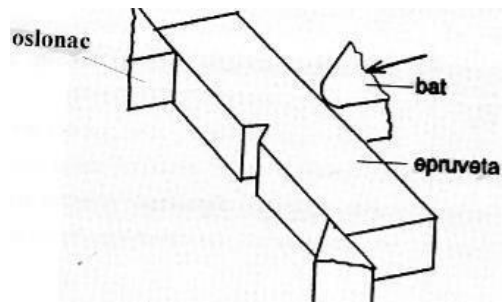
Bat težine G podiže se na visinu h_1 te s obzirom na ravninu u kojoj se nalazi ispitni uzorak, posjeduje potencijalnu energiju $G \cdot h_1$ [J]. Puštanjem bata iz početnoga položaja njegova potencijalna energija prelazi u kinetičku. U najnižem položaju sva se potencijalna energija pretvorila u kinetičku energiju. Ukoliko na oslonac nije postavljen ispitni uzorak bat se penje na istu visinu s koje je i pušten, jasno ako se zanemari trenje u ležaju i otpor zraka (Ivušić i sur, 2009.). Oblik i dimenzije epruvete, na kojima se vršilo ispitivanje udarne radnje loma u okviru ovoga eksperimentalnoga, rada prikazuje slika 10. Uz epruvetu s „V“ utorom, može se koristiti i epruveta s „U“ utorom. Dubina „V“ utora je 2 mm, a „U“ utora može biti 3 ili 5 mm. Ovdje je prikazana epruveta s „V“ utorom jer takve propisuje norma HRN EN ISO 15614 – 1 po kojoj je rađen eksperimentalni rad.

Slika 10. Oblik i dimenzije epruvete za ispitivanje udarnog rada loma (Vusić, 2015.)

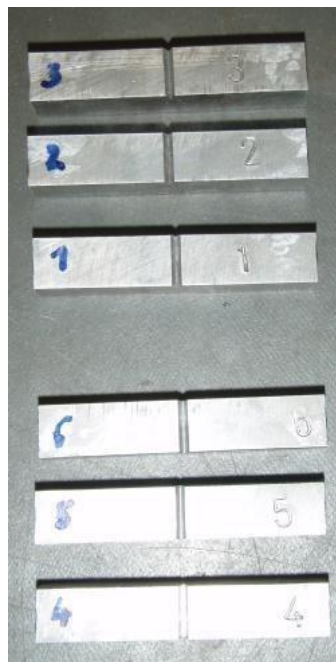


Pri ispitivanju na oslonac postavljena je epruveta pa se za njezin lom utroši određeni iznos kinetičke energije bata. Stoga se bat sada u uzlaznom dijelu penje na manju visinu od početne i dostiže visinu h_2 . Utrošena energija očitava se na skali uređaja (Ivušić i sur, 2009.). Uređaj na kojem se provodilo mjerenje udarnoga rada loma u ovom slučaju imao je mjerno područje 0 – 300 J. Slika 11 shematski prikazuje način udarnog djelovanja bata na epruvetu.

Slika 11. Način udarnoga djelovanja bata na epruvetu (Ivušić i sur, 2009.)

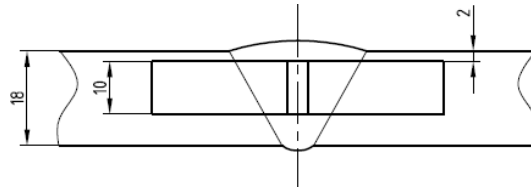


Slika 12. Uzorci za ispitivanje udarni rad loma (Vusić, 2015.)

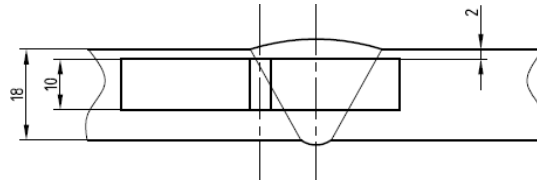


Prema normi HRN EN ISO 15614 – 1 za ispitivanje udarnoga rada loma sučeljenoga zavarenoga spoja potrebno je izraditi i ispitati šest uzoraka i to tako da tri uzorka imaju „V“ utor izrađen u metalu zavara, a tri uzorka „V“ utor izrađen u ZUT – u. Kod uzoraka označenih brojevima 1, 2 i 3 „V“ utor se nalazi u metalu zavara, a kod uzoraka 4, 5 i 6 u ZUT – u. Norma EN 875 propisuje da se uzorci vade iz ispitne ploče s dubine od 2 mm s obzirom na gornju površinu ploče, te da „V“ utor mora biti okomit na gornju i donju površinu ploče (Ivušić i sur., 2009.). Slika 13 shematski prikazuje način vađenja epruvete u slučaju „V“ utora u metalu zavara, a slika 14 u slučaju „V“ utora u zoni utjecaja topline.

Slika 13. Prikaz načina vađenja epruvete u slučaju „V“ utora u metalu zavara (Ivušić i sur, 2009.)



Slika 14. Prikaz vađenja epruvete u slučaju „V“ utora u ZUT – u (Ivušić i sur, 2009.)



Specifikacija osnovnoga materijala čelika SA516 Gr70 definira vrijednosti udarnoga rada loma na temperaturama $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ i $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, iz razloga korištenja ovog čelika na sniženim i niskim temperaturama. Iz tog razloga će se ispitivanje udarne radnje loma u ovom eksperimentalnom radu provoditi na temperaturi od $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Uzorci se prije ispitivanja podhlađuju na zadanu temperaturu u smjesi alkohola i suhoga leda. Uzorci su u ovoj smjesi držani oko 25 min, a temperatura uzoraka se kontrolirala digitalnim termometrom, što prikazuje slika 15.

Slika 15. Podhlađivanje uzoraka u smjesi suhoga leda i alkohola (Vusić, 2015.)



Tablica 1. Rezultati ispitivanja udarnog rada loma (Vusić, 2015.)

Uzorak	Tip	Temperatura, [°C]	KV, [J]	SA516 Gr70 KV [J], -40 °C
1	Metal zavara (MZ)	-40	55	19
2	MZ	-40	56	
3	MZ	-40	45	
4	ZUT	-40	43,5	
5	ZUT	-40	48,5	
6	ZUT	-40	161	

Kako se vidi iz tablice izmjerene žilavosti u metalu zavara i zoni utjecaja topline su veće od onih koje daje specifikacije osnovnoga materijala čelika SA516 Gr70. Općenito nešto veće vrijednosti žilavosti pokazuje metal zavara, a nešto slabije zona utjecaja topline. Može se zaključiti da je za veće žilavosti metala zavara zaslužan veći postotni udio mangana (1,56) u odabranom dodatnom materijalu kod EPP zavarivanja, naspram nešto manjega udjela u osnovnom materijalu (1,44). Nešto slabiji iznosi žilavosti u zoni utjecaja topline su povezani s većim pogrubljenjem zrna u tom području, nego u području metala zavara. Također na mjestu ispitivanja žilavosti u zoni utjecaja topline izmjerena je najviša tvrdoća gornje linije mjerenja, a kako je iznos tvrdoće obrnuto proporcionalan iznosu žilavosti, ne iznenađuje niža izmjerena žilavost u tom području. Zona utjecaja topline je i područje koje zahvaća liniju staljivanja, ali i područje osnovnoga materijala, koji općenito ima nižu žilavost pa je i to jedan od razloga manje žilavosti u zoni utjecaja topline. Bez obzira na nabrojene negativne utjecaje, rezultati dobiveni ispitivanjem udarne radnje loma su jako zadovoljavajući i u zoni utjecaja topline, a posebno u metalu zavara.

Izmjerena vrijednost uzorka 6 odskāče od ostalih vrijednosti. Ovaj uzorak uzet je s donje strane zavarenoga spoja, tj. žilavost je na tom uzorku izmjerena u zoni utjecaja topline korijenskoga prolaza. Ovako velik iznos žilavosti može se objasniti malim unosom topline u korijenskom prolazu, uslijed čega nije došlo do velikoga pogrubljenja zrna. Također iznosi tvrdoće u korijenu zavara su općenito niži nego na licu zavara, te se iz toga može zaključiti da će iznosi žilavosti biti veći.

Ova visoka žilavost je poželjna jer se radi o korijenskom prolazu koji je i najvažniji prolaz kod zavarivanja, a posebice ako znamo da se radi o osnovnom materijalu namijenjenom za izradu posuda pod tlakom kod kojih je zahtjev za visokom žilavosti kako materijala, tako i zavarenog spoja jedna od ključnih značajki.

3. Zaključak

EPP postupak zavarivanja je visokoproduktivni postupak korišten uglavnom u aplikacijama teške strojogradnje s velikim debljinama stjenke. Osnovna razlika u odnosu na druge postupke zavarivanja je korištenje praška i nemogućnosti praćenja električnoga luka za vrijeme zavarivanja, kao i nemogućnost zavarivanja u okomitom i prisilnim položajima. Ovi nedostaci su uklonjeni različitim pozicionerima i uređajima koji se redovito koriste kod EPP zavarivanja, a sam postupak EPP zavarivanja je automatiziran. Uz različite uređaje poboljšana produktivnost ovoga postupka postiže se uz korištenje tehnika s više žica, tandem tehnike i za potrebe maksimalne produktivnosti tehnike s više glava za zavarivanje. Može se reći da je EPP

postupak u vidu svoje produktivnosti postigao svoj maksimum i da daljnji razvoj treba usmjeriti na razvoj dodatnih materijala i prašaka za EPP zavarivanje. Također povećanje produktivnosti EPP postupka sa sobom povlači i velike investicijske troškove, pa je to jedan od ograničavajućih faktora daljnjega razvoja još veće produktivnosti EPP postupka. Velika prednost EPP postupka je u velikoj stabilnosti samoga procesa zavarivanja, kao i korištenje pouzdanih izvora struje, koji u slučaju EPP zavarivanja mogu biti ispravljači, transformatori i inverteri.

Materijal korišten kod ovoga eksperimentalnoga rada je čelik SA516 Gr70, koji se najčešće koristi za izradu posuda pod tlakom u aplikacijama sniženih i niskih temperatura. Ovaj čelik ima nizak sadržaj ugljika, te je dobre zavarljivosti. Kod izrade tlačnih posuda jedan od češće korištenih postupaka je EPP postupak zavarivanja.

U eksperimentalnom radu EPP postupkom zavarivanja zavario se sučeljeni spoj debljine 18 mm od osnovnog materijala čelika SA516 Gr70. Izračunati su unosi topline i depozit nataljenoga dodatnoga materijala, te je izrađena specifikacija postupka zavarivanja. Provedena ispitivanja rezultirala su boljim mehaničkim svojstvima zavarenoga spoja u odnosu na osnovni materijal. To ukazuje na kvalitetno proveden proces EPP zavarivanja, koji uključuje pravilno izabrane parametre zavarivanja (struja, napon, brzina zavarivanja), kao i na korištenje ispravnoga dodatnoga materijala i praška.

Zaključuje se da uz veliku produktivnost EPP postupak zavarivanja pokazuje i izrazitu kvalitetu, posebno kod aplikacija s velikom debljinom stijenke osnovnoga materijala. Stoga je EPP postupak nezamjenljiv u zavarivanju masivnih konstrukcija, u ovom slučaju kod zavarivanja posuda pod tlakom.

Literatura

1. Kralj, S.; Andrić, Š. (1992). Osnove zavarivačkih i srodnih postupaka, Zagreb, Fakultet strojarstva i brodogradnje.
2. Ivušić, V. i dr. (2009). Materijali I: skripta iz kolegija Materijali I. Zagreb, FSB.
3. Vusić, F. (2015). Primjena EPP postupka pri zavarivanju čelika SA516 Gr70. Diplomski rad. Zagreb, FSB.