

UPRAVLJANJE PRIJENOSOM METALA PRIMJENOM SINKRONIZIRANE KONTROLE DODAVANJA ŽICE I VALNOG OBLIKA STRUJE

Ključne riječi:

- MAG zavarivanje
- smanjenje štrcanja
- dodavanje žice
- Buffer Position Control
- valni oblik struje, penetracija
- Pulsed Dip Transfer
- tanki limovi
- preklopni spoj

Key words:

- Gas Metal Arc welding
- Spatter reduction
- Wire feed control
- Buffer position control
- Current waveform control
- Penetration, Pulsed Dip Transfer
- Sheet metal joining
- Lap joint

Schlüsselwörter:

- MAG Schweißen
- Weniger Spritzen
- Drahtzufuhrkontrolle
- Buffer position control
- Strom Wellenform, Penetration
- Pulsed Dip Transfer
- Schweißen von dünnen Blechen
- Überlappnaht

Adresa autora (Author's address):

T. Era, K. Ono, S. Mizuura, H. Miyahara,
S. Hirota i T. Ueyama
DAIHEN Corporation, Kobe, Japan

Primljeno (Received):

2016-07-14

Prihvaćeno (Accepted):

2016-08-08

Prethodno priopćenje

Za zavarivanje tankih limova s vrlo niskim unosom topline i minimalnim štrcanjem koristi se inačica MAG zavarivanje kratkim spojevima pri kojem se mijenja smjer gibanja elektrodne žice. Ako se takav stabilan prijenos može ostvariti u području globularnoga, tj. prijelaznog luka u zaštiti plina CO₂, postiže se dodatna produktivnost. Za dane uvjete u ovom radu je opisan razvoj međuspremnika žice tzv. *Buffer Position Control* uređaja koji upravlja dodavanjem žice između motora koji gura i drugoga koji vuče žicu te može kompenzirati konstantnu brzinu dodavanja, uz primjenu tzv. *Pulsed Dip Transfer Process*, tj. kombinacije prijenosa metala impulsima i kratkim spojevima, čime se tijekom trajanja električnog luka stabilizira prijenos metalnih kapi za ravnu statičku značajku (*CV-constant voltage*). Primjenom takvoga valnog oblika struje poboljšava se prijenos topline u osnovni materijal. Dodatno su analizirana načela upravljanja procesom i utjecaj zavarivanja velikim brzinama na vrlo tankim limovima uz pojavu minimalnog štrcanja.

Preliminary note

STUDY ON METAL TRANSFER CONTROL USING SYNCHRONOUS CONTROL OF WIRE FEEDING AND CURRENT WAVEFORM

A gas metal arc welding process that changes the wire feed direction according to the arc phenomena has been proposed and applied to a field of the ultra-sheet plate joining on MAG welding process, due to the ultra-low spatter generation and the low heat input into the base metal in a current range of the short-circuit transfer mode. When such the welding process can realize the stable metal transfer in a current range of the globular transfer mode under the carbon dioxide shielding gas supplying, it can contribute the improvement of the further productivity. Under the circumstances, the authors have developed the Buffer Position Control which controls the interference reduction of the wire feed direction between the push feeder and the pull feeder and can compensate the constant mean wire feed rate, and the Pulsed Dip Transfer Process which forms the pulsatile output of the welding current during arc duration to stabilize the metal transfer by the constant voltage characteristic and improve the heat input to the base metal. In this paper, the principle of these controls and the effect of high speed welding with ultra-low spatter generation of the sheet metal joining will be presented.

Vorläufige Mitteilung

STUDIE ON METALLÜBERGANG BEI DER SYNCHRONISIERTEN KONTROLLE DER DRAHTZUFÜHRUNG UND BEI STROM WELLENFORM

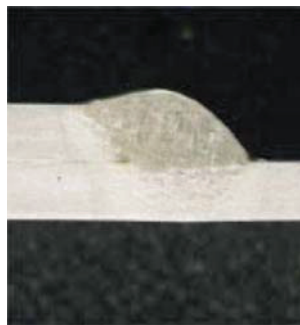
Beim Schweißen von dünnen Blechen mit einem sehr niedrigen Wärmeeintrag und mit minimalen Spritzen wird MAG Schweißen benutzt bei dem sich die Richtung der Drahtelektrode ändert. Falls sich so ein stabiler Metallübergang erreicht, im Bereich der globularen bzw. Übergehenden Lichtbogen beim CO₂ Gas, kann man eine erweiterte Produktivität haben. Für die Konditionen in dieser Arbeit wurde die Entwicklung von dem Zwischendrahtbuffer beschrieben, der so genannter Buffer Position Control die die Drahtzufuhr reguliert zwischen dem Motor der den Draht schiebt und einen anderen Motor der den Draht zieht, und diese Bufferposition kann die konstante Drahtzufuhrgeschwindigkeit kompensieren und einen Pulsed Dip Transfer Process erreichen, bzw. eine Kombination des Metallübergangs mit Impulsen und Kurzlichtbogen wobei die statische Charakteristik des Lichtbogen gerade ist (*CV-constant voltage*). Mit der Anwendung so einer Strom Wellenform verbessert sich der Wärmeübergang in das Grundmaterial. Zusätzlich wurden die Prinzipien der Prozesskontrolle und der Einfluss beim Schweißen mit hoher Geschwindigkeit an sehr dünnen Blechen mit minimalen Spritzen gezeigt.

1. UVOD

Stabilizacija prijenosa metala pomoću sinkroniziranog dodavanja, tzv. *the mechanical-short-circuit-transfer arc welding process* [1] (mehanički prijenos žice kratkim spojevima) u Japanu je istraživana još godine 1973. Kod tog postupka gibanje žice mehanički je usklađeno s ponavljajućim ciklusima kratkog spoja i električnog luka, pri čemu je proces prijenosa zasnovan na površinskoj napetosti rastaljene kapljice. Prema tim istraživanjima zabilježen je stabilan prijenos metala u ciklusu kratki spoj – električni luk trajanja periode 20 ms, dok je za žicu promjera 1,6 mm korištena frekvencija dodavanja od 20 Hz. Za žicu promjera 2,4 mm potvrđena je mogućnost zavarivanja strujama od 600 A. Međutim, u to vrijeme na tržištu nije bio dostupan odgovarajući elektromotorni pogon tako da nije došlo do praktične primjene ovog procesa. Nakon 2000. godine taj koncept je primijenjen pri procesima CSC (*Controlled Short Circuit Process*) [2] i CMT (*Cold Metal Process*) [3]. Na tržištu Japana su nakon godine 2010. predstavljene inačice Active TAWARS [4] te EAGL (*Enhanced Arc Robot Welding for Low Spatter*). Pri sinkroniziranom upravljanju dodavanja elektrodnog materijala žica se giba u smjeru taline tijekom trajanja perioda električnog luka i povlači nazad za vrijeme kratkog spoja. Posljedično se minimalizira količina štrcanja koje nastaje pri ponovnoj uspostavi električnog luka. Međutim, pri istraživanju je primijećeno da se usprkos primjeni mehaničkog povlačenja žice u području globularnoga, tj. prijelaznog luka relativno teško postiže stabilan prijenos metala zbog promjene trajanja ciklusa električnog luka i kratkog spoja tako da se ne može koristiti kontinuirana brzina žice, iako se koriste motori s brzim odzivom. Stoga je vrlo teško stabilizirati prijenos metala u električnom luku primjenom ravne statičke značajke (*CV-constant voltage*), ako je brzina dobave žice konstantna.

Tipični rezultat zavarivanja preklopnog spoja, debljine materijala 2,3 mm, prikazan je na slici 1., pri čemu je korišten sustav sinkronizirane dobave žice i struja zavarivanja od 150 A. Za razliku od konvencionalnog MAG zavarivanja u zaštiti CO₂ koje karakterizira dobra penetracija, na slici 1. je vidljiva plitka penetracija na donjoj ploči. Kada se žica dobavlja u smjeru taline tijekom ponovne uspostave električnog luka, slobodni kraj žice i dio žice koji je povučen nazad zagrijavaju se zbog Joulove topline i energije električnog luka. Zbog ponovnog zagrijavanja, brzina taljenja žice je viša u odnosu na MAG zavarivanje, čime se smanjuje unos topline u osnovni materijal, osim ako se ne primijeni kontrolni mehanizam za kompenzaciju brzine taljenja. Dodatno, unos topline u osnovni materijal smanjuje se tijekom trajanja kratkog spoja, ako se ograniči jakost struje u kratkom spoju. S obzirom na kombinirano djelovanje tih mehanizama proces se može smatrati izvrsnim s gledišta vrlo niskog unosa topline.

Zbog toga se taj koncept zavarivanja može opisati kao MAG postupak s vrlo niskim unosom topline i minimalnim štrcanjem, prikladan za zavarivanje limova tanjih od 1,0 mm, gdje je od osobite važnosti prevencija od pregaranja.



Slika 1. Makroizbrusak zavara načinjenog uz sinkronizirano dodavanje žice

Fig. 1. Cross section of conventional synchronous wire feeding control

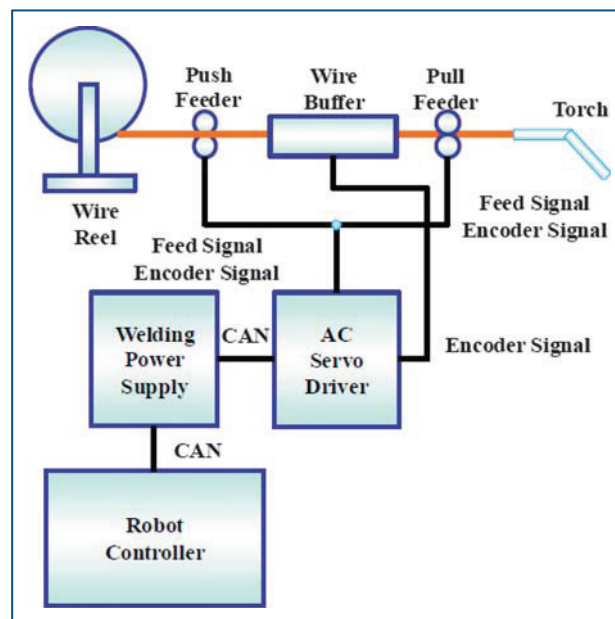
U nastavku su opisane značajke novorazvijenoga procesa koji je prikladan za zavarivanje pri niskim strujama, uz visoku brzinu i to za debljine materijala od 3 mm.

2. RAZVOJ NOVOG SUSTAVA ZA ZAVARIVANJE

2.1. Konfiguracija sustava

Kako bi se realizirao novi sustav za zavarivanje razvijene su sljedeće komponente konfiguracije: (1) AC servomotor s brзом regulacijom koji može mijenjati smjer okretanja ovisno o ciklusu prijenosa pri velikoj brzini dobave žice u kombinaciji sa servoupravljanjem, (2) upravljanje za održavanje kontinuirane brzine dobave žice u skladu s valnim oblikom struje kako bi se smanjilo štrcanje i kontrolirala penetracija. Shematski prikaz konfiguracije prikazan je na slici 2.

Na slici nisu prikazani spojevi zavarivačkih kabela. Dobavni dio sustava koji vuče žicu sastoji se od novorazvijenog AC servomotora s visokom brzinom odziva i niskom inercijom, koji je ugrađen na pištolju za zavarivanje.



Slika 2. Shematski prikaz konfiguracije sustava

Fig. 2. System configuration

vanje. Zbog male mase i veličine isti sustav može se montirati na prijenosni manipulator od 4 kg. Dobavni dio koji gura žicu ugrađen je u sustav dobave žice na uređaju i primarno gura žicu u jednom smjeru, prema talini. U radnom području globularnog luka brzina dobave žice raste; u tom slučaju mora se primijeniti veće opterećenje na žicu zbog različitog smjera gibanja i poremećaja koji se javljaju. Da bi se osigurala odgovarajuća kontrola dobave žice pri većem opterećenju, ugrađen je međuspremnik žice između gurajućega i povlačećeg motora kako bi se uklonile smetnje pri dobavi poput izvijanja žice. S ovakvom specifičnom konfiguracijom moguće je osigurati odgovarajuću brzinu žice i u području radne struje koja odgovara brzini dodavanja od 6 m/min. Kao rezultat, primjenom sinkroniziranog dodavanja žice s usklađenim valnim oblikom struje postiže se stabilan prijenos metala u rasponu od 50 do 300 A.

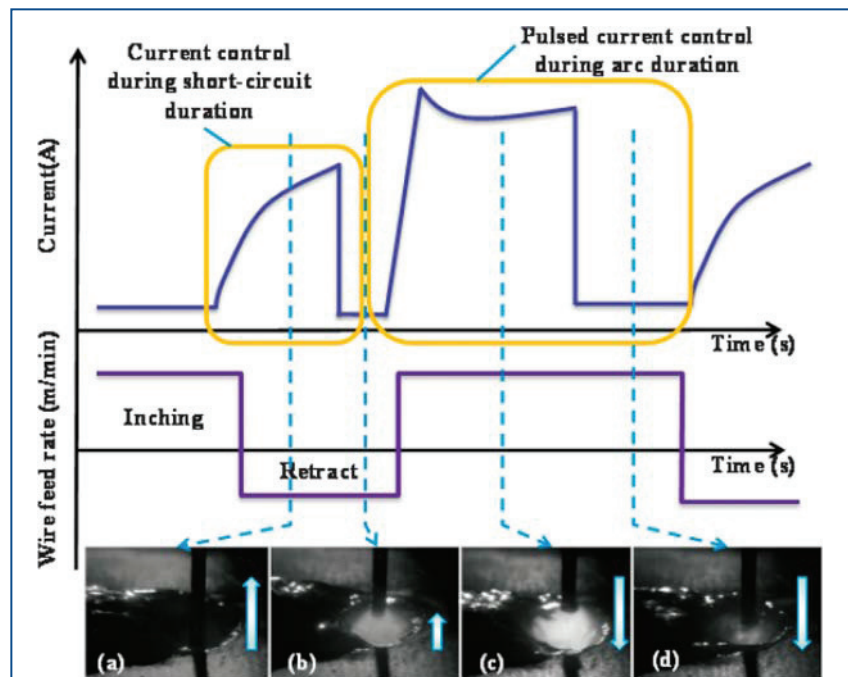
2.2. Prijenos kratkim spojem i impulsom Pulsed Dip Transfer Process

Kako bi se ostvario prijenos s minimalnim štrcanjem pri MAG zavarivanju u zaštiti CO_2 nelegiranih čelika žicom promjera 1,2 mm, razvijen je proces prijenosa koji integrira kratke spojeve i impulse tzv. *Pulsed Dip Transfer Process*. Ovaj postupak prvenstveno je namijenjen za zavarivanje tankih limova visokim brzinama, pri čemu je sinkronizirano dodavanje žice i valni oblik struje u ciklusima električnog luka i kratkih spojeva. Koncept je isti bez obzira radi li se u zaštiti čistog CO_2 ili mješavini Ar i CO_2 . Na slici 3. prikazan je princip prijenosa Pulsed Dip Transfer Process promjenom struje i brzine dobave žice u vremenu ovisno o sekvenci prijenosa metala, kratkom spoju ili električnom luku. Prijelaz metala snimljen je visokobrzinskom videokamerom za sljedeće parametre zavarivanja: struja zavarivanja 300 A, napon zavarivanja 23 V i brzina zavarivanja 60 cm/min.

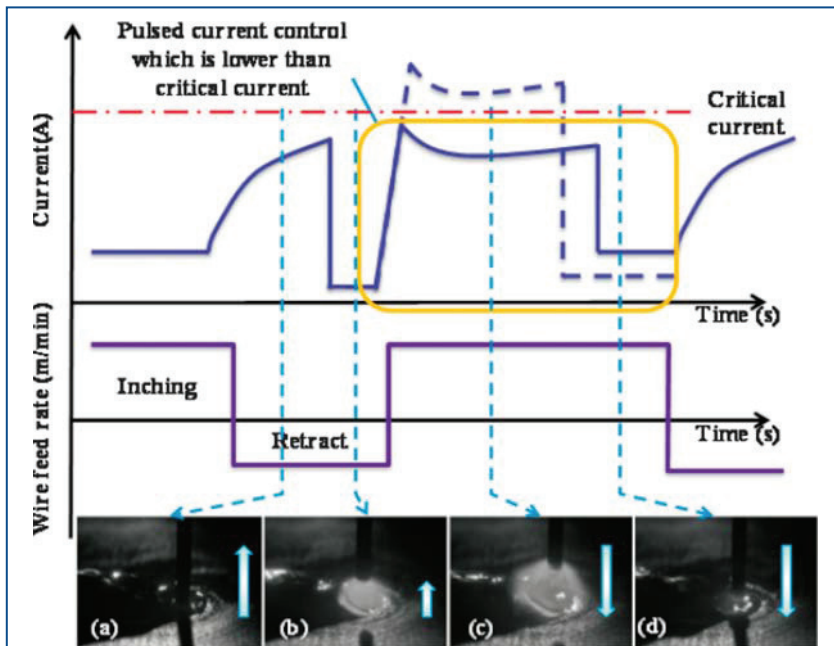
Nakon detekcije kratkog spoja kapljice i radnoga komada žica se povlači unatrag te se ovisno o statusu povlačenja primjenjuje optimirana struja kratkog spoja kako bi se poboljšala ponovna uspostava električnog luka. Kadar (a) prikazuje fazu kratkog spoja. Odmah nakon ponovne uspostave električnog luka žica se povlači sve dok brzina žice ne dosegne 0 m/min te se nakon toga ponovno gura u normalnom smjeru prema talini tijekom faze ponovne uspostave. Za vrijeme ove faze struja zavarivanja smanjena je da bi se spriječio prebrzi rast rastaljene kapi na vrhu žice. Kao što se vidi na kadru (b) nema nikakvog štrcanja metala. Kada žica krene prema talini aktivira se strujni impuls koji osigurava potreban tlak u luku koji potiskuje

talinu i osigurava postizanje bolje penetracije. Istodobno, približno ravna značajka konstantnog napona stabilizira prijenos kapljice tijekom trajanja impulsa, što je prikazano u kadru (c). U drugoj polovici faze električnog luka struja je ograničena na osnovnu vrijednost kako bi se olakšala ponovna uspostava kratkog spoja, što je prikazano u kadru (d). Kao što je veće napomenuto, Pulsed Dip Transfer Process koristi značajku konstantnog napona za vrijeme impulsa kako bi se održala stalna prosječna brzina dobave, bez obzira na prebacivanja smjera dodavanja žice, što je neophodna funkcija za održanje stabilnog prijenosa metala. Stabilizacija prijenosa metala ostvarena je pomoću ove funkcije u sprezi sa sinergijskim efektom kontrole brzine žice na motoru koji vuče žicu. Za usporedbu, pri primjeni impulsne struje koja je veća od kritične struje vrlo je teško ostvariti prijenos metala kratkim spojevima s obzirom na to da se počinje javljati slobodan let kapljice tj. štrcajući luk. Tipičan valni oblik struje za MAG zavarivanje u zaštiti mješavine CO_2 i Ar dan je na slici 4. gdje je za usporedbu valni oblik pri čistom CO_2 prikazan isprekidanim crtom. Prijenos metala u mješavini 80 % Ar i 20 % CO_2 pri struji zavarivanja od 250 A, naponu zavarivanja 20 V i brzini zavarivanja 60 cm/min, snimljen je visokobrzinskom videokamerom i prikazan na slici 4.

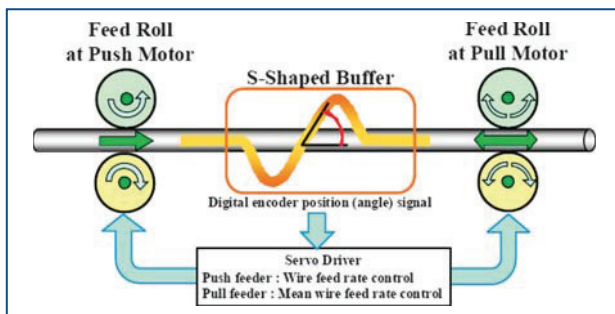
Na slici je razina kritične struje označena crvenom crtom. Pri zavarivanju Pulsed Dip Transfer Process može se spriječiti pojava štrcajućeg luka kontrolom maksimalne impulsne struje koja ne smije prijeći kritične vrijednosti te se tako omogućuje ponovna uspostava kratkog spoja. U kadrovima (a) i (b) teško je uočiti razliku o odnosu na sliku 3. Međutim, na kadrovima (c) i (d) očito je da se pri MAG zavarivanju u zaštiti mješa-



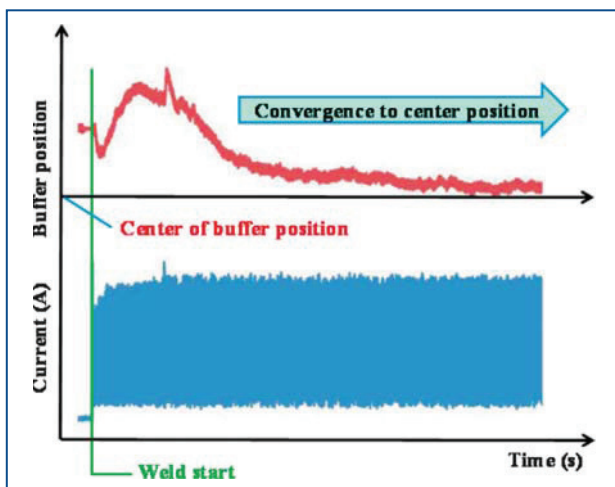
Slika 3. Princip Pulsed Dip Transfer Process pri zavarivanju u zaštiti CO_2
Fig. 3. Principle of Pulsed Dip Transfer Process on CO_2 shielded arc welding



Slika 4. Princip Pulsed Dip Transfer Process pri zavarivanju u zaštiti Ar i CO₂
 Fig. 4. Principle of Pulsed Dip Transfer Process on MAG welding



Slika 5. Shematski prikaz Buffer Position Control sustava
 Fig. 5. Schematic of buffer position control



Slika 6. Efekt djelovanja sustava Buffer Position Control
 Fig. 6. Effect of buffer position control

vine u zavarivanju Pulsed Dip Transfer Process prijenos metala provodi kroz kratke spojeve.

2.3. Upravljanje međuspremnikom žice

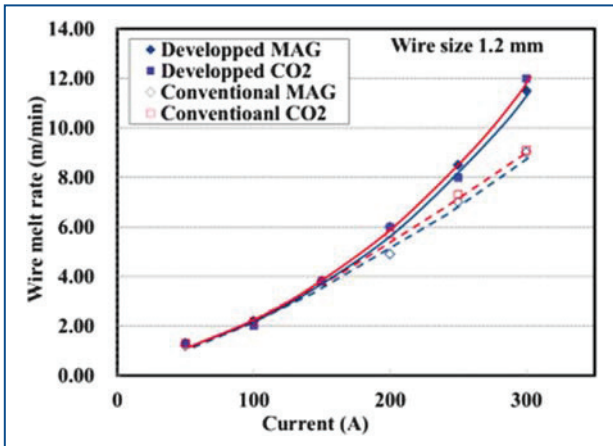
Pri Pulsed Dip Transfer Process zavarivanju stabilan prijenos metala može se održati pri brzini dodavanja žice od 10 m/min uz frekvenciju ciklusa kratki spoj-električni luk od 100 Hz. Za prebacivanje smjera dodavanja žice prema taktu perioda 10 ms vršna vrijednost brzine dobave nakon prebacivanja mora biti barem nekoliko puta veća od prosječne vrijednosti. Zbog toga je prijeko potrebno da sustav za dobavu žice, osim brzog odziva, može upravljati interferencijom kako bi se smanjilo opterećenje i pridonijelo stabilizaciji prijenosa metala. Slika 5. prikazuje shematski originalni mehanizam upravljanja međuspremnikom žice, tzv. Buffer Position Control za međuspremnik

S-oblika. S obzirom na smjer žice koji određuje povlačeći motor, u međuspremniku dolazi do međudjelovanja koje interferira sa smjerom dobave. Rotacijski enkoder koji je ugrađen u međuspremnik očitava kut rotacije kao informaciju o položaju u realnom vremenu. Na osnovi informacije o položaju brzina dobave žice koju generira gurajući motor i određena brzina žice koju generira povlačeći motor međusobno se usklađuju i minimaliziraju pojavu interferencije. S obzirom na to da se kompenzira glavno gibanje žice na povlačećem motoru, pri Pulse Dip Transfer Process zavarivanju može se stabilizirati prijenos metala uz primjenu regulacije konstantnim naponom za vrijeme trajanja struje impulsa. S druge strane, ako se detektira pogreška koja onemogućuje kontrolu međuspremnika, proces zavarivanja zaustavlja se kako bi se spriječilo izvijanje žice.

Promjena položaja međuspremnika tijekom zavarivanja prikazana je na slici 6. Jasno je vidljivo da se položaj mijenja postupno, odmah nakon početka zavarivanja te zatim konvergira prema središnjem položaju. To je posljedica minimalizacije interferencije s glavnim smjerom gibanja žice u međuspremniku žice primjenom upravljanja Buffer Position Control. Ovom funkcijom moguće je ostvariti stabilnu brzinu dodavanja, čak i u slučaju ako se dogodi nagla promjena manipulatora ili nagla promjena slobodnoga kraja žice pri njihovju.

2.4. Brzina taljenja žice

Brzina taljenja žica za MAG i CO₂ zavarivanje prikazana je na slici 7., pri čemu su isprekidanom crtom označeni podaci za CBT-EX proces [6]. Brzina taljenja pune žice za novorazvijeni proces značajno se razlikuje od konvencionalnog MAG zavarivanja, poglavito za razine struje iznad 200 A, porastom struje raste i razlike u



Slika 7. Usporedba brzine taljenja
Fig. 7. Comparison of wire melting rate

brzini taljenja. Iznad 200 A, uz primjenu žice promjera 1,2 mm, javlja se globularni način prijenosa metala koji se često koristi za zavarivanje velikim brzinama, ali se teško kontrolira pojava prskanja velikih kapljica. S novo-razvijenim sustavom količina nataljenog metala po jedinici duljine zavara može biti veća od konvencionalnog MAG zavarivanja uz istu jakost struje, a to znači da će zavari biti širi što pridonosi boljoj toleranciji pripreme i vođenja električnog luka.

3. ANALIZA ZNAČAJKI NOVORAZVIJENOG SUSTAVA

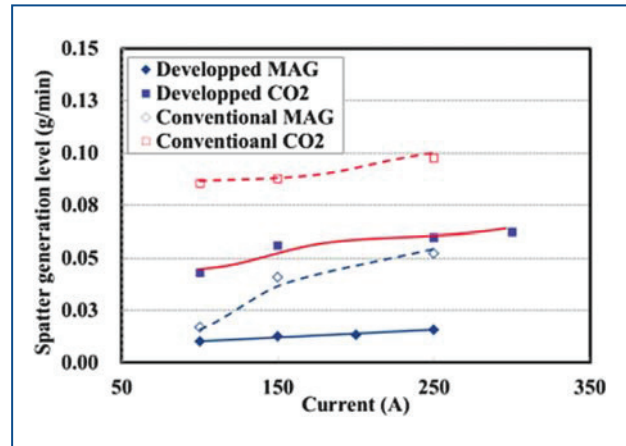
3.1. Štrcanje

Na slici 8. prikazana je količina štrcanja u vremenu od 1 min (jedne minute) pri konvencionalnom MAG i CO₂ zavarivanju sa žicom promjera 1,2 mm standardne kvalitete, u usporedbi s procesom sa sinkroniziranim dodavanjem žice.

Namještena brzina zavarivanja je 100 cm/min pri struji zavarivanja od 200 A ili više, 75 cm/min pri 150 A i 50 cm/min pri 100 A. ZA MAG zavarivanje korištena je mješavina 80 % Ar i 20 % CO₂. Bez obzira na to radi li se o konvencionalnom ili novorazvijenom postupku primjena mješavine će generirati manju količinu štrcanja u odnosu na čisti CO₂. Masa krhotina je ispod 0,1 g/min, što se vizualno očituje kao male iskre. Razvidno je da sustav sa sinkroniziranim dodavanjem žice generira gotovo duplo manju masu prskotina u odnosu na konvencionalne procese.

3.2. Utjecaj napona na oblik zavara

Na slici 9. prikazan je utjecaj napona od 16,0 V i 20,0 V na geometriju zavara, pri konvencionalnom MAG i novorazvijenom postupku sa sinkroniziranim dodavanjem žice, pri struji zavarivanja od 150 A. Slike u lijevom stupcu prikazuju geometriju bez primjene Buffer Position upravljanja, dok je u desnom stupcu ista regulacija korištena. U donjem redu je isprekidanom crtom naznačena geometrija zavara načinjenih s naponom od 16,0 V radi lakše usporedbe. Sve geometrije daju tzv.



Slika 8. Usporedba količine krhotina
Fig. 8. Comparison of spatter generation level

	Without BP control		With BP control	
3.2 mm 150A 16.0V 50 cm/min				
3.2 mm 150A 20.0V 50 cm/min				
Macro section	16.0V	Small	16.0V	Nearly constant
section	20.0V	Large	20.0V	

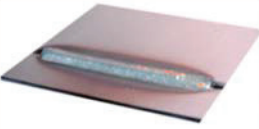
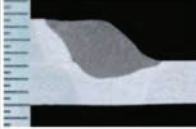
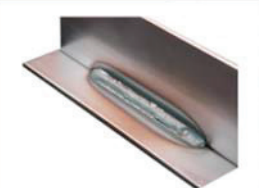
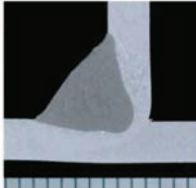
Slika 9. Usporedba presjeka zavara
Fig. 9. Comparison of cross section

prstasti oblik što je uobičajeno za MAG zavarivanje. Pri zavarivanju sa sinkroniziranim dodavanjem žice uspostava električnog luka mijenja se prema podešenom naponu zavarivanja i utječe na promjenu brzine žice, čime se mijenja količina nataljenog metala po jedinici duljine. Kod novorazvijenog procesa, povlačeći motor je upravljan tako da održava brzinu dodavanja žice konstantnom primjenom Buffer Position kontrole, što kao posljedicu daje neovisnost količine nataljenog metala o naponu zavarivanja. Kada se Buffer Position upravljanje isključi i napon se povisi, poveća se i presjek zavara uz gotovo konstantno nadvišenje. Kada se Buffer Position upravljanje uključi i napon se povisi, nadvišenje zavara je nešto manje s povećanom širinom zavara, dok je presjek zavara gotovo konstantan. U slučaju kada je Buffer Position upravljanje isključeno, s povećanjem

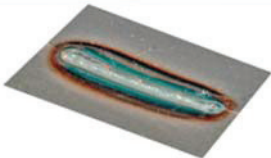
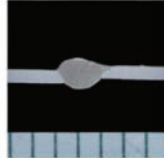

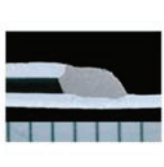
napona zavarivanja rast će i količina nataljenog metala i obratno, kada se napon smanji količina nataljenog metala se smanjuje, čime se utječe i na mogućnost premošćivanja razmaka. Uključivanjem Buffer Position upravljanja presjek zavora se može podesiti ovisno parametrima zavarivanja, isto kao i kod konvencionalnog MAG zavarivanja.

3.3. Rezultati ispitivanja zavora

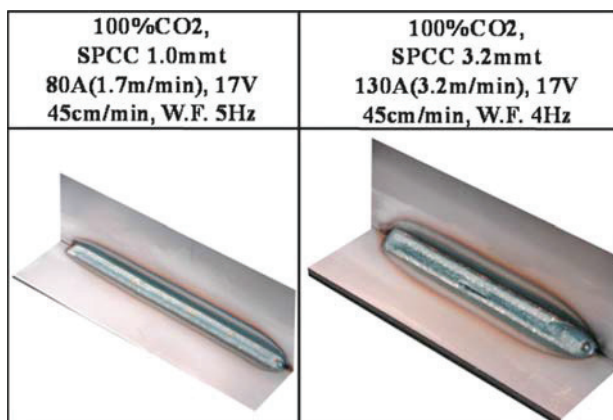
U zaštiti plina 100 % CO₂ i žice promjera 1,2 mm načinjeni su zavareni spojevi na nelegiranom hladno valjanom čeliku standardne kvalitete (SPCC) različitih konfiguracija spojeva. Na *sluci 10.* prikazani su rezultati zavarivanja kutnog zavora na T-spoju, na limu debljine 3,2 mm. Na svim uzorcima zabilježena je dovoljna penetracija, zavari su bili pravilnog oblika bez ugorina. Rezultati zavarivanja na limu debljine 0,6 mm u sučeljenom i preklopnom spoju s razmakom prikazani su na *sluci 11.* Općenito se pri MAG zavarivanju tankih limova pri niskom unosu topline javljaju pregaranja osnovnog metala uz konveksni oblik zavora. U ovom slučaju zabilježeno je dobro protalijvanje i oblik zavora, bez prevelike penetracije i pregaranja osnovnog materijala. Rezultat njihanja pri zavarivanju limova različite debljine prikazan je na *sluci 12.* Bez obzira na uvjete zavarivanja

	Bead appearance	Cross section
3.2 mm Lap joint 300A 22.5V 100cm/min		
3.2 mm T-fillet joint 250A 23.0V 50cm/min		

Slika 10. Oblik i presjek zavora na limu debljine 3,2 mm
Fig. 10. Bead appearance and cross section of 3.2 mm

	Bead appearance	Cross section
0.6 mm Butt joint 50A 18.0V 70 cm/min		
0.6 mm Lap joint 0.6mm gap 50A 18.0V 70cm/min		

Slika 11. Oblik i presjek zavora na limu debljine 0,6 mm
Fig. 11. Bead appearance and cross section of 0.6 mm



Slika 12. Izgled zavora pri zavarivanju njihanjem
Fig. 12. Bead appearance against disturbance

njihanje nije utjecalo na prijenos metala te nisu uočeni tragovi prskanja. Oblik zavora je pravilan i jednolik s dobrim protalijvanjem.

4. ZAKLJUČAK

- Razvijen je novi koncept upravljanja prijenosom metala u električnom luku primjenom sinkroniziranog dodavanja žice i valnog oblika struje za praktične namjene.
- *Buffer Position Control*, tj. upravljanje položajem međuspremnika žice omogućuje da je brzina dobave žice konstantna što pomaže regulaciji duljine luka primjenom značajke konstantnog napona u globularnom prijenosu metala, čime se sprječavaju problemi s dodavanjem žice.
- *Pulsed Dip Transfer Process*, tj. prijenos metala kratkim spojem i impulsom osigurava minimalno štrcanje s dovoljnom penetracijom i visokom brzinom zavarivanja.
- Rezultati ispitivanja pokazali su da novorazvijeni sustav omogućuje minimalno štrcanje pri zavarivanju u zaštiti CO₂ i žicom promjera 1,2 mm, u rasponu parametara od 50 do 300 A. Pri struji od 50 A moguće je ostvariti pravilnu široku geometriju zavora bez pregaranja osnovnog materijala. Na visokim strujama od 250 do 300 A postiže se glatka i pravilna površina zavora s dovoljnom penetracijom.

LITERATURA

- [1] T. Era: Leading Edge of Control Technology of Arc Welding Equipment, Welding International, Vol. 26 (2012) No. 3, pp. 170 – 174
- [2] H. Yamamoto et al.: Study on short-circuit time ratio control in arc welding (4th report), Development of mechanical short-circuit transfer arc welding process, Preprints of the National Meeting of JWS, Vol. 12 (1973) pp. 294-295 (in Japanese)
- [3] G. HuismanProc International Conference on 'Advances in welding technology 2000' ('Gas metal arc welding for the 21st century'), Orland, FL, USA, December 2000, The American Welding Society, p. 165-172
- [4] K. HimmelbauerThe CMT-Process – A revolution in welding technology, IIW Doc. XII-1875-05 (2005)
- [5] J. Fujiwara: The new welding robot fused with welding power source which realizes super low spatter [Active TAWERS], Welding technology, Vol. 59 (2011) No. 2 pp. 51-56 (in Japanese)
- [6] T. Era, et al.: Leading Edge of Current Waveform Control Technology on Digital Inverter Controlled Welding Power Source and Its Peripheral Equipment, IIW Doc. XII-2122-13 (2013)