

USPOREDBA KONVENCIONALNOG I CBT NAČINA PRIJENOSA METALA U PODRUČJU PRIJELAZNOG LUKA

Maja Jurica, Ivica Garašić, Zoran Kožuh

Ključne riječi: CBT prijenos metala, dinamička karakteristika, prijelazni luk

Sažetak:

Uvodni dio članka navodi karakteristike CBT procesa, njegove prednosti i nedostatke te moguću primjenu u industriji. U eksperimentalnom dijelu rada snimljene su dinamičke karakteristike izvora struje OTC Daihen Welbee P500L prilikom konvencionalnog i CBT navarivanja čelika. Mijenjanjem brzine dodavanja žice (3m/min do 7,5 m/min) i mješavine zaštitnog plina (18 % CO₂/ 82 % Ar i 100% CO₂) uočene su promjene u snimljenim dinamičkim karakteristikama procesa.

U svrhu ocjene stabilnosti procesa prijenosa metala kroz električni luk izvršena je analiza trajanja kratkih spojeva i električnog luka po jedinici ciklusa. Velika prednost korištenja CBT prijenosa metala očitovala se u stabilnosti procesa odvajanja kapljice u područjima parametara karakterističnih za prijelazni luk što je u konačnici rezultiralo kvalitetnim i stabilnim procesom bez pojave štrcanja.

COMPARISON OF CONVENTIONAL AND CBT METAL TRANSFER IN TRANSITION ARC TRANSFER MODE

Key words: CBT metal transfer, dynamic characteristic, transition arc

Abstract:

Theoretical part of the paper presents CBT (Controlled Bridge Transfer) welding process characteristics, advantages and disadvantages and also the possible application in the industry. In the experimental part of the paper dynamic characteristics of the welding power source OTC Daihen Welbee P500L during conventional and CBT bead on plate welding of steel were recorded. By changing the wire feed speed (3 m/min to 7,5 m/min) and shielding gas composition (18 % CO₂/ 82 % Ar and 100% CO₂) some changes in the recorded dynamic characteristic were noted.

For the purpose of defining the stability of metal transfer during the transition arc parameter range, arcing and short circuit time during one period were analysed. The biggest advantage of the CBT welding process is its stable metal transfer in the transition arc parameter range during which a stable process with no or less spatter is obtained.

1. UVOD

Danas se velika se pozornost posvećuje postupcima zavarivanja koji rezultiraju sa što manjom količinom štrcanja kako bi se smanjila količina industrijskog otpada i dodatni troškovi naknadne obrade i ostalih postupaka potrebnih za uklanjanje posljedica štrcanja 0.

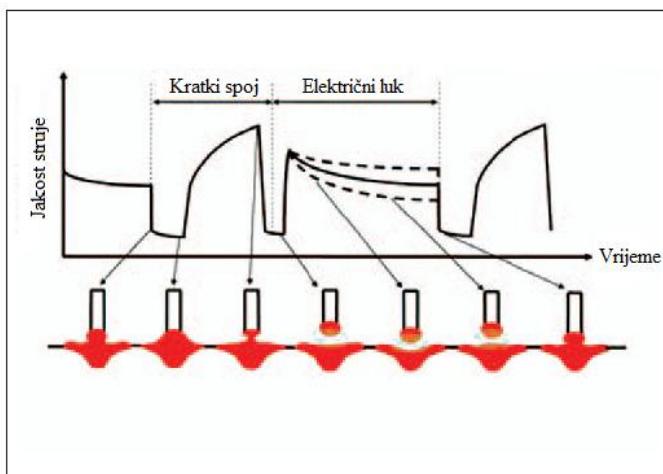
Do sada se kao najučinkovitiji postupak zavarivanja, u smislu male količine štrcanja, koristilo impulsno MIG/MAG zavarivanje. Međutim, impulsno zavarivanje zbog relativno velikog pritiska plazme luka i konstantnog održavanja električnog luka u području niskih parametara nije povoljno za zavarivanje korijena. Konvencionalno MIG/MAG zavarivanje u području prijenosa metala kratkim spojevima i prijelaznog luka, pomoću kojih je moguće smanjiti unos topline u radni komad, koristi se kod zavarivanja tanjih limova i u prisilnim položajima. No, pri korištenju konvencionalnog MIG/MAG postupka zavarivanja dolazi do veće količine štrcanja i to u trenutku ponovne uspostave električnog luka odmah nakon prekida kratkog spoja.

U proteklih nekoliko godina vidljiv je napor proizvođača izvora struje za zavarivanje u razvoju modificiranih postupaka koji u području kratkih spojeva i prijelaznog luka minimaliziraju štrcanje. Uz to, proširuje se i radno područje za primjenu čistog ugljičnog dioksida što u konačnici smanjuje i trošak zaštitnog plina.

1.1 CBT način prijenosa metala

MIG/MAG postupak prikladan je za zavarivanje tankih limova ali je u području minimalnog unosa topline tj. kratkom luku osjetljiv na štrcanje rastaljenih kapljica kao posljedica nestabilnog procesa. Kritični trenutak pojave štrcanja pri MIG/MAG zavarivanju kratkim spojevima je odmah nakon prekida kratkog spoja, odnosno u trenutku ponovne uspostave električnog luka 0.

Kod CBT - Control Bridge Transfer prijenosa metala, kako bi se smanjila pojava štrcanja kada na rastaljeni metal djeluje sila *pinch* efekta, precizno se određuje iznos pada napona u trenutku neposredno prije ponovne uspostave električnog luka. U skladu s padom napona, u istom trenutku dolazi i do pada vrijednosti jakosti struje kao što je prikazano na slici 1. Kao rezultat toga, prijenos rastaljenog metala s vrha elektrodne žice vrši se isključivo pomoću površinske napetosti.



Slika 1. Princip CBT MIG/MAG postupka zavarivanja 0

Trenutak u kojem se odvija odvajanje kapljice može zbog utjecaja različitih čimbenika (duljina slobodnog kraja žice; brzina zavarivanja; položaj zavarivanja; veličina, oblik i viskoznost rastaljene kapljice metala; ponašanje taline) varirati.

Kako bi se izbjegao utjecaj navedenih čimbenika, jakost struje zavarivanja podešava se optimalno prema varijabilnom parametru, naponu električnog luka. Na taj način moguće je upravljati prijenosom metala za vrijeme kratkog spoja i stabilizirati električni luk. Pomoću opisanog načina prijenosa metala moguće je precizno nadziranje procesa odvajanja rastaljene kapljice metala u svrhu predviđanja trenutka pojave kratkog spoja/ponovne uspostave električnog luka čime se minimalizira pojava štrcanja 0–0.

Opisana tehnologija zavarivanja rezultira smanjenjem ili u potpunosti eliminacijom štrcanja, a zbog precizno kontroliranog procesa i smanjenog unosa topline omogućuje se zavarivanje korijenskih prolaza s većim razmacima kao i zavarivanje ploča debljine manje od promjera dodatnog materijala (što uvelike utječe na troškove izrade konstrukcije) 0.

1.2 Utjecaj zaštitnih plinova na proces zavarivanja

Primarna funkcija plina kod MAG zavarivanja je formiranje zaštite oko električnog luka i zavarenog spoja na način da se izolacijom od okolišne atmosfere spriječi kontaminacija metala zavara. Osim što služi kao zaštitna atmosfera, plin svojim djelovanjem utječe i na karakteristiku

električnog luka, način prijenosa metala, profil zavara/navara, brzinu zavarivanja, pojavu ugorina, čišćenje površine i svojstva metala zavara 0.

Razumijevanjem osnovnih fizikalnih i kemijskih svojstava plina omogućava se pravilan odabir zaštitnog plina ili mješavine plinova za određenu primjenu. Ukoliko se odabere najbolja opcija za zaštitni plin moguće je ostvariti visokokvalitetne zavarene spojeve kao i značajne uštede u cijelokupnoj izradi konstrukcije. Najvažnija fizikalna svojstva plinova koja imaju utjecaj na proces zavarivanja su: gustoća plina, energija disocijacije, ionizacijski potencijal, sposobnost otapanja u metalu i toplinska vodljivost. Vrijednosti najvažnijih fizikalnih svojstava argona i ugljičnog dioksida dani su u tablici 1.

Tablica 1. Vrijednosti najvažnijih fizikalnih svojstava argona i ugljičnog dioksida 0

Zaštitni plin	Kemijski simbol	Pri 21°C i 0,101 N/mm ²		Energija disocijacije, eV	Ionizacijski potencijal, eV	Toplinska vodljivost, W/(mK) (pri 101325 N/mm ² i 227 °C)
		Gustoća, kg/m ³	Relativna gustoća prema zraku			
Argon	Ar	1,656	1,380	-	15,8	0,02573
Ugljični dioksid	CO ₂	1,833	1,529	5,3	14,4	0,03293

Gustoća plina značajna je radi potrebe učinkovite zaštite metala zavara i prijenosa dodatnog materijala, bez obzira radi li se o inertnim ili aktivnim plinovima. Plinovi teži od zraka imaju tendenciju padanja uz stup električnog luka, što pospješuje učinak zaštite kod zavarivanja u horizontalnom položaju. Molekularni plinovi (s dva ili više atoma) povećavaju zaštitu zbog povećanja volumena uz stup električnog luka zbog disocijacije.

Načelno, da bi se osigurala adekvatna zaštita taline zavara, plinovi teži od zraka, kao što su argon i ugljični dioksid, trebaju manji protok plina prilikom zavarivanja, nego što je potrebno kod lakših plinova, kao što je npr. helij 0, 0.

Energija disocijacije je ona količina energije koju je potrebno dovesti dvo- ili višeatomnoj molekuli plina kako bi došlo do disocijacije tj. do odvajanja jednog atoma. Zbog oslobođene topline nastale rekombinacijom višeatomni plinovi postižu efekt jednoatomnih plinova s višim toplinskim vodljivostima (npr. helij). Iz tog razloga je moguće pri istoj temperaturi električnog luka postići veće zagrijavanje radnog komada plinovima poput npr. ugljičnog dioksida u usporedbi s argonom. Opisana disocijacija i rekombinacija nije moguća kod argona jer se on sastoji od jednog atoma 0.

Zbroj energije disocijacije i ionizacijskog potencijala daje minimalnu energiju koju je potrebno dovesti plinu da bi došlo do ionizacije plina tj. da bi plin postao vodič električne energije 0. Pri konstantnim parametrima plina manji ionizacijski potencijal imaju plinovi s većom molekulskom tj. atomskom masom plina. Uspostava i održavanje električnog luka uvelike ovisi o ionizacijskom potencijalu zaštitnog plina. Zaštitni plinovi s relativno nižim vrijednostima ionizacijskog potencijala olakšavaju uspostavu električnog luka i povećavaju stabilnost tijekom rada 0.

Ukoliko se koristi plin s nižom toplinskom vodljivošću, jezgra električnog luka postaje šira rezultirajući ravnomjernijom raspodjelom temperature po njegovom presjeku. Iz tog razloga, profil zavara je u tom slučaju širi i s manjom penetracijom. Nasuprot tome, pri korištenju argona (koji ima relativno nisku toplinsku vodljivost) kao zaštitnog plina dolazi do formiranja električnog luka u kojem se jasno može razlikovati središnji dio u kojem dolazi do visokih temperatura i okolnog

plašta koji je znatno hladniji. Opisani električni luk rezultira profilom zavara koji ima uzak korijen i šire lice.

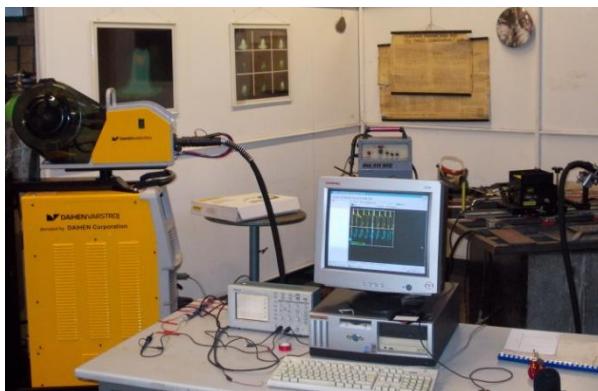
2. EKSPERIMENTALNI RAD

U eksperimentalnom dijelu rada analizirane su značajke izvora struje za zavarivanje OTC Daihen Welbee P500L koji omogućuje zavarivanje uz smanjenje štrcanja („Low spatter” - CBT način rada). Kao osnovni materijal odabran je visokočvrsti čelik API 5L X80 (oznaka L555MB prema HRN EN 10208-2:1996). Shodno osnovnom materijalu, odabrani dodatni materijal je LNM MoNi proizvođača Lincoln Electric (oznaka G 62 4 M Mn3NiCrMo prema EN ISO 16834). Za zaštitne plinove odabrani su mješavina 82% argona s udjelom 18% CO₂ (oznaka M21 prema normi HRN EN ISO 14175: 2008) i 100 % CO₂ (oznaka C1 prema normi HRN EN ISO 14175: 2008).

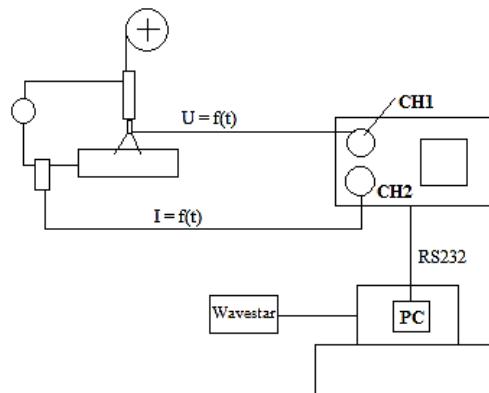
Brzina navarivanja je bila 25 cm/min za sve slučajeve, osim kod navarivanja brzinom dodavanja žice od 7,5 m/min kada je zbog veće količine rastaljenog dodatnog materijala povećana na 35 cm/min. Protok plina je u svim slučajevima bio 18 l/min uz slobodni kraj žice od 12 mm.

Prilikom snimanja dinamičkih karakteristika izvora struje WB – 500L korištena je oprema koja uključuje osobno računalo i osciloskop (Slika 2.). Korišteni osciloskop je dvokanalni Tektronix TDS 210 koji nudi veliko mjereno frekvencijsko područje, automatizaciju mjernih značajki i jednostavnost korištenja.

Slika 3. prikazuje shemu spajanja mjerne opreme. Podaci dobiveni osciloskopom analizirani su i obrađeni na osobnom računalu pomoću programske aplikacije Wavestar. Analiza dinamičke karakteristike provedena je u Laboratoriju za zavarivanje, Fakulteta strojarstva i brodogradnje.



Slika 2. Radno mjesto s opremom za snimanje dinamičkih karakteristika

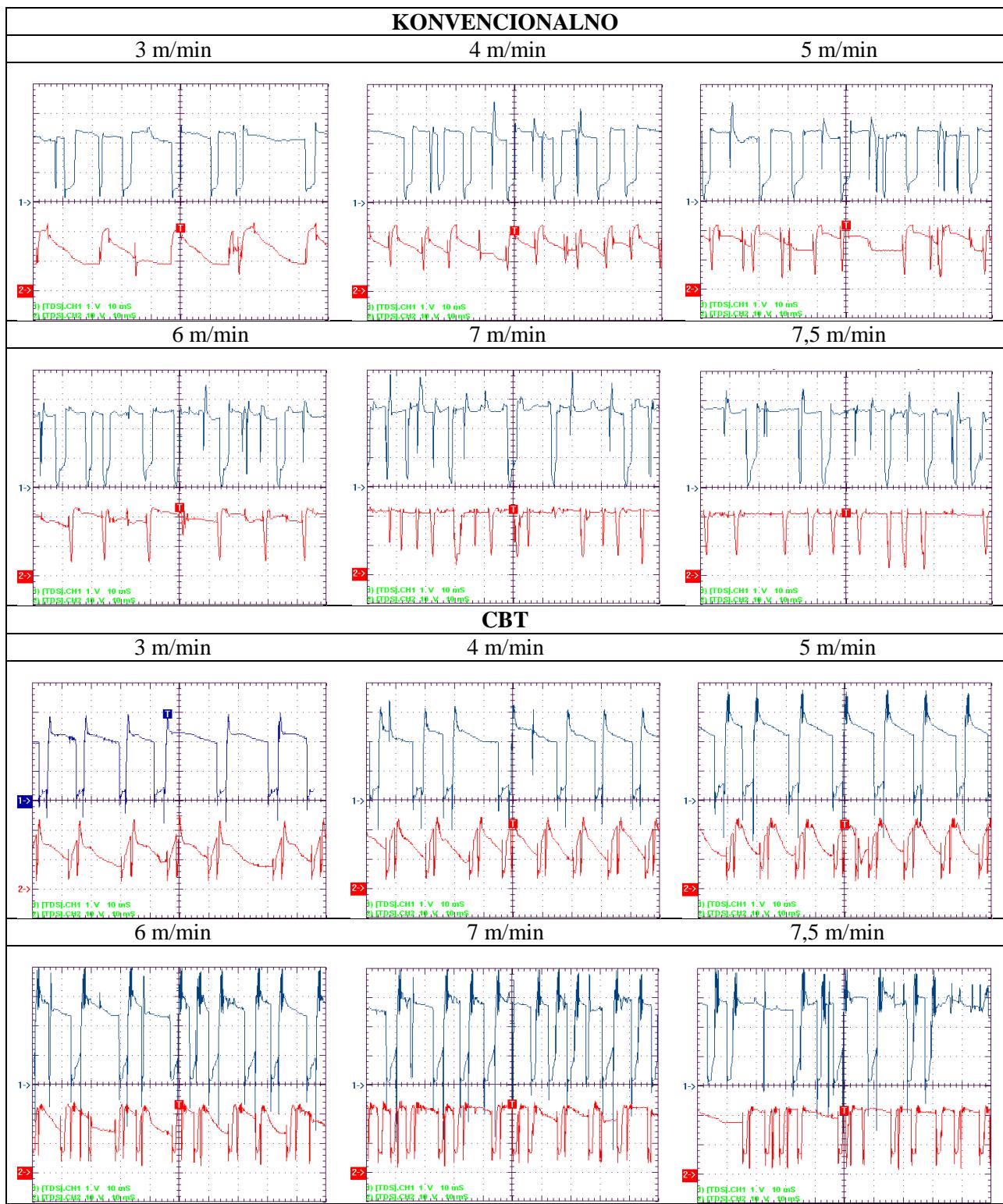


Slika 3. Shema spajanja mjerne opreme

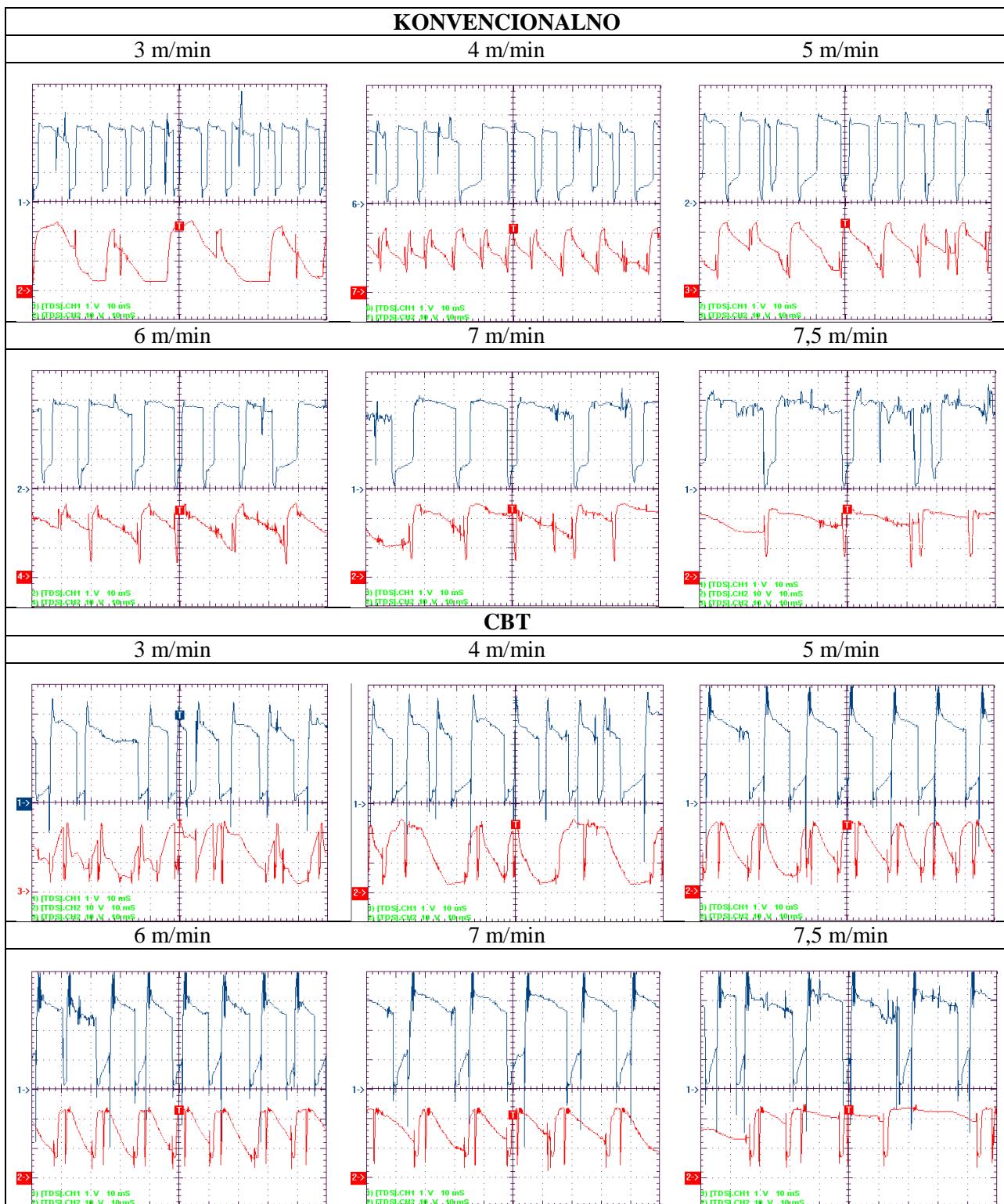
Snimanje dinamičke karakteristike tj. bilježenje promjena struje i napona u vremenu na izvoru struje provedeno je na način da se tijekom navarivanja na osnovni materijal mjereni signal prikuplja pomoću osciloskopa i pohranjivao u računalu uz primjenu programa Wavestar. Snimane su pojedine karakteristike za slučajeve različitih brzina dodavanja žice (3 m/min – 7,5 m/min) i različitih zaštitnih atmosfera (100% CO₂ i 82%/18% Ar/CO₂).

Podaci s osciloskopa analizirani su nakon snimanja dinamičkih karakteristika čime se dobio detaljan uvid u proces prijenosa metala i filozofiju prijenosa metala uz različite parametre zavarivanja. Tablica 2 i tablica 3 prikazuju snimljene dinamičke karakteristike za slučajeve korištenja zaštitnog plina s 18 % CO₂/82 % Ar i 100 % CO₂.

Tablica 2. Dinamičke karakteristike $u, i = f(t)$ procesa zavarivanja pri 18 % CO₂/82 % Ar



Tablica 3. Dinamičke karakteristike $u, i = f(t)$ procesa zavarivanja pri 100 % CO₂

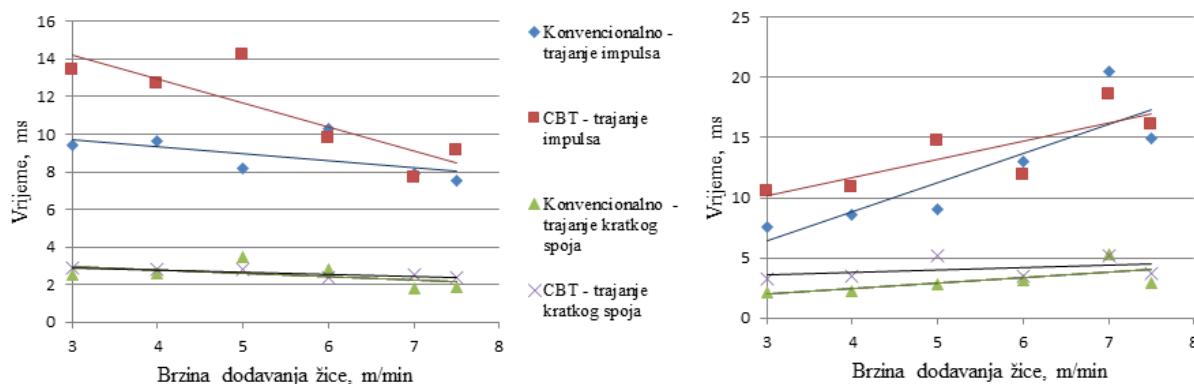


Snimljene dinamičke karakteristike prikazane u tablicama 2 i 3 jasno definiraju područja stabilnog procesa kod oba načina prijenosa metala. Pri konvencionalnom načinu prijenosa metala (kratkim spojevima i prijelaznim lukom) vidljivo je da se stabilnost prijenosa metala polako gubi pri brzini dodavanja žice od 5 m/min (~170 A). U tom slučaju je vidljivo da daljnjim povećanjem brzine dodavanja žice dolazi do prelaska u područje prijelaznog luka gdje se pojavljuje prijenos krupnim kapljicama tj. iregularno se izmjenjuju ciklusi električnog luka i kratkog spoja.

To područje je poželjno izbjegavati tijekom rada zbog nepredvidljivosti i nestabilnosti samog procesa prijenosa metala kroz električni luk. Također je analizom dinamičkih karakteristika moguće uočiti razlike u područjima stabilnosti procesa korištenjem različitih zaštitnih plinova. Povećanjem udjela aktivne komponente (CO_2) povećava se i područje stabilnosti prijenosa metala te je radi toga moguće uočiti da kod zaštitnog plina sa 100% udjelom CO_2 područje stabilnog prijenosa metala održano i kod brzine dodavanja žice od 6 m/min (~205 A).

Za razliku od konvencionalnog načina prijenosa metala kratkim spojevima i prijelaznim lukom, pri modificiranom prijenosu metala CBT načinom područje stabilnosti pomaknuto je sve do brzine dodavanja žice od 7 m/min (~ 225 A). Sa snimljenih oscilograma je vidljivo da u području nestabilnog prijenosa metala konvencionalnim načinom (pri brzini dodavanja žice od 5 m/min), CBT način prijenosa metala pokazuje područje najveće stabilnosti prijenosa metala. Kao što je bilo moguće uočiti razlike u područjima stabilnih prijenosa metala u ovisnosti o zaštitnom plinu kod zavarivanja kratkim spojevima, isto je moguće uočiti i kod CBT načina prijenosa metala. Naime, pri korištenju zaštitnog plina sa 100 % udjelom CO_2 vidljivo je da je prijenos metala najstabilniji i da bi bilo moguće koristiti i brzinu dodavanja žice od 7,5 m /min.

Osim analize očitanih vrijednosti parametara zavarivanja tijekom snimanja dinamičke karakteristike, u svrhu ocjene stabilnosti procesa prijenosa metala kroz električni luk, moguće je izmjeriti i duljinu trajanja pojedinog impulsa kao i trajanje kratkog spoja. To su vrijednosti koje je moguće pratiti i kod konvencionalnog načina prijenosa metala i kod CBT načina prijenosa. Grafički prikaz očitanih vrijednosti s oscilograma dan je na slici 4.



Slika 4. Grafički prikaz promjene trajanja impulsa u zaštitnoj atmosferi s
a) 18 % CO_2 i b) 100 % CO_2

Slike 4.a) vidljivo je da s povećanjem brzine dodavanja žice sve mjerene vrijednosti pokazuju padajući trend. Kod prijenosa metala CBT načinom riječ je o nešto strmijem padu vrijednosti trajanja impulsa kojeg prati i pravac aproksimacije za vrijednosti trajanja kratkog spoja. U području brzine dodavanja žice od 5 m/min i 6 m/min moguće je uočiti nešto veća odstupanja izmjerenih vrijednosti od aproksimacijskog pravca što upućuje na određene nestabilnosti tijekom procesa prijenosa metala.

Smanjenje trajanja kratkih spojeva analogno je činjenici da se približavanjem prijenosu metala štrcajućim lukom produžuju vremena trajanja električnog luka, odnosno polako dolazi do eliminacije pojave kratkih spojeva. Potrebno je i napomenuti da je to riječ o snimljenim karakteristikama u vrlo malom periodu trajanja procesa, što može uzrokovati manja odstupanja od realnog stanja.

Očitane i analizirane vrijednosti sa snimljenih dinamičkih karakteristika pri zavarivanju sa zaštitnim plinom koji sadrži 100 % CO_2 (Slika 4.b)) prikazuju drugačiji trend promjena u trajanjima impulsa i kratkih spojeva za oba načina prijenosa metala. Naime, vidljivo je da s povećanjem brzine dodavanja žice dolazi i do rasta trajanja impulsa. Tu činjenicu je moguće povezati s time da se povećanjem udjela aktivne komponente u zaštitnom plinu koja zbog svoje relativno niže vrijednosti

ionizacijskog potencijala (spram argona) olakšava uspostavu električnog luka i povećava stabilnost tijekom rada.

Također, može se vidjeti da aproksimacijski pravci trajanja kratkih spojeva prate aproksimacijske pravce trajanja impulsa upučujući na relativno konstantan omjer kratkih spojeva i električnog luka.

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenog eksperimentalnog rada, moguće je zaključiti sljedeće:

- a) Konvencionalni MAG proces u području prijelaznog luka pokazuje veću nestabilnost i posljedično intenzivnije štrcanje u odnosu na CBT način prijenosa metala. Ukratko rečeno, kombinacija CBT načina prijenosa metala i zaštitne atmosfere sa 100 % udjelom CO₂ rezultira stabilnim procesom zavarivanja uz smanjenje ili eliminaciju pojave štrcanja i to u području parametara koji se kod konvencionalnog procesa ne preporuča, poglavito 190-230A.
- b) Usporedbom zavarivanja kratkim spojevima i CBT načina prijenosa metala vidljivo je da je kod CBT načina prijenosa metala moguće ostvariti manji unos topline uz identično postavljene parametre zavarivanja. Uz smanjenje unosa topline, posebno oblikovanom dinamičkom karakteristikom moguć je prijenos metala pretežito silama površinske napetosti. Ta činjenica je ključna za primjenu tehnologije u praksi jer je na taj način moguće ostvariti zavarivanje ploča manjih debljina od promjera dodatnog materijala ili zavarivanje korijenskih prolaza s većim razmacima, te zavarivanje uz manje gubitke dodatnog materijala.

4. LITERATURA

- [1] Garašić, I., Kožuh, Z., Remenar, M.: Analiza prijenosa metala pri MAG CBT zavarivanju; Zavarivanje vol. 57 (3/4); 85-92; Zagreb, 2014.
- [2] Ushio, M.: Development of gas-shielded arc process in automatic welding; 62nd IIW Annual assembly, Singapore, 2009.
- [3] Ueyama, T.: Trends in developments in gas shielded arc welding equipment in Japan; Zavarivanje 57, 1/2, 25-30, 2014.
- [4] Ushio, M.: Development of gas-shielded arc process in automatic welding; 62nd IIW Annual assembly, Singapore, 2009.
- [5] Era, T., Ueyama, T., Brooks, M.: Welding steel sheet with modified short circuiting process; Welding journal, 28-33, 2009.
- [6] Era, T., Ide, A., Uezono, T., Yamamoto, H., Ueyama, T.: Spatter reduction of steel sheets welding using controlled bridge transfer (CBT) GMA process, IIW Doc.No. XII-1900-06, 2006.
- [7] Garašić, I., Kožuh, Z., Kralj, S., Tomić, T., Glogović, Z.: Primjena izmjenične struje kod MAG navarivanja legure Inconel 625, Zbornik radova "Suvremeni proizvodni postupci, oprema i materijali za zavarene konstrukcije i proizvode" / Samardžić, I.; Despotović, B. (ur.). - Slavonski Brod : Strojarski fakultet u Slavonskom Brodu, 2013.
- [8] O'Brien, A. (Ed.): Welding handbook (9th edition) Volume 2, Welding processes; American Welding Society, Miami, USA, 2004.
- [9] Jurica, M.: Utjecaj zaštitnoga plina i načina prijenosa metala na svojstva zavarenoga spoja čelika X80, Doktorski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2015.
- [10] Panić, V.: Utjecaj plinova pri zavarivanju na svojstva zavara; Magistarski rad, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2001.
- [11] ASM International Handbook Committe: ASM Handbook – Welding, Brazing and Soldering, ASM International Materials park, 1993.

- [12] Kolednjak, D.: Utjecaj parametara zavarivanja na strukturu i svojstva čelika API 5L X80, Doktorski rad, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Sveučilište u Zagrebu, 2014.