

UTJECAJ DEBLJINE CINKOVOG PREMAZA NA KVALITETU ZAVARENOG SPOJA IZVEDENOG CMT NAČINOM PRIJENOSA METALA

Effect of zinc coating thickness on CMT weld quality

Maja Jurica, Filip Daničić, Jadranka Eržišnik, Zoran Kožuh

Fakultet strojarstva i brodogradnje, Ivana Lučića 1, 10 000 Zagreb

Ključne riječi: CMT prijenos metala, pocinčani limovi, kvaliteta zavara

Key words: CMT metal transfer, zinc coated steel plate, weld quality

Sažetak

U uvodnom dijelu članka opisan je princip rada CMT postupka, navedene su karakteristike i prednosti CMT postupka, glavna područja primjene postupka, te ograničenja primjene. U eksperimentalnom dijelu rada CMT postupkom su zavarena tri para pocinčanih limova debljine 3 mm, preklopni spoj. Korišteni limovi su na sebi imali različite debljine cinkove prevlake (raspon debljina je bio 5-20 µm). U svrhu određivanja utjecaja debljine premaza na kvalitetu zavarenog spoja parametri zavarivanja su fiksno postavljeni dok je jedina varijabla bila debljina prevlake. Nakon izvedenog zavarivanja izrađeni su makroizbrusci na kojima je izmjerena širina odgorenog sloja cinka, analizirana je geometrija zavara, te je provedena vizualna kontrola lica i korijena zavara. Pomoću dobivenih rezultata doneseni su zaključci o utjecaju debljine sloja prevlake cinka na kvalitetu zavara i stabilnost procesa zavarivanja.

Abstract

Theoretical part of the paper presents CMT (Cold Metal Transfer) welding process characteristics, advantages and disadvantages and also the possible application in the industry. The experimental part of the paper consists of welding of 3 pairs of galvanized steel plates, 3 mm in thickness, lap joint. Every pair of galvanized steel plates had different zinc coating thickness (thickness range was 5-20 µm). In order to analyse the impact of zinc coating on the weld quality, all of the welding parameters were maintained constant while the only parameter changed was the zinc coating thickness. After welding of plates, macrosamples were made, width of burned zinc coating was measured, weld geometry was analysed and visual control of weld face and root was performed. Using the obtained

information, conclusions on impact of zinc coating thickness on weld quality and weld process stability were made.

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. 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 [1].

1.1 CMT način prijenosa metala

CMT postupak predstavlja modificirani način prijenosa metala kratkim spojevima pri čemu se primjenjuje „mehaničko“ rješenje tj. povratno gibanje žice (Slika 1.). Karakteristično je da se odvajanje kapljice odvija u uvjetima jako niskog unosa topline koji kod klasičnog prijenosa kratkim spojevima jednostavno ne bi bio dovoljan. Digitalna tehnologija omogućuje precizno upravljanje gibanjem žice, a specifična je i vrlo precizna regulacija duljine električnog luka pomoću mehaničkog gibanja. Frekvencija povratnog gibanja žice najčešće je između 60 i 80 Hz što zahtijeva vrlo sofisticiranu kontrolu gibanja žice i primjenu određenih rješenja poput ugradnje dodatnog servomotora u pištoli za zavarivanje i ugradnju međuspremnika žice tzv. „wire-buffer“ koji kompenzira povrat žice elastičnom deformacijom [2].

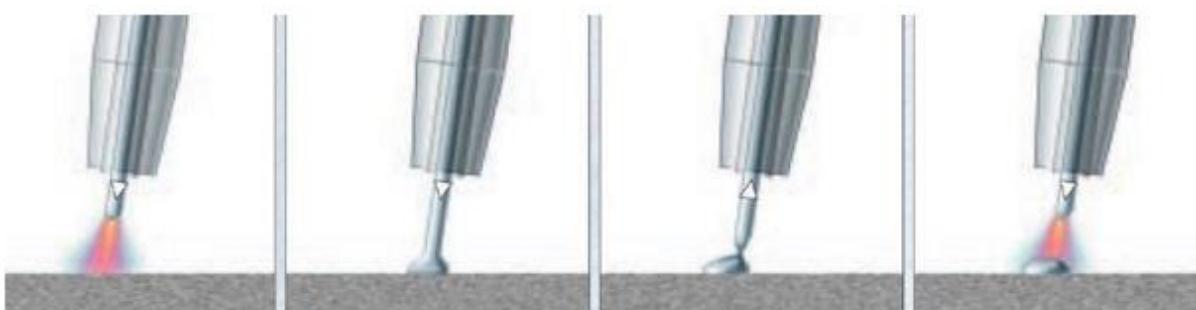


Figure 1. Shematski prikaz povratnog gibanja žice [3]

Značajna razlika CMT postupka u odnosu na konvencionalni MIG/MAG je što se žica ne giba samo kontinuirano prema radnom komadu, nego se i odmiče od radnog komada frekvencijom od prosječno 70 Hz, kao što je prikazano na slici 1. Tri su glavne značajke po kojima se CMT razlikuje od konvencionalnog MIG/MAG zavarivanja. Prvo, gibanje žice izravno sudjeluje u kontroli procesa zavarivanja. Kod CMT-a se žica giba prema radnom komadu dok ne dođe do kratkog spoja, a u tom trenutku žica mijenja smjer gibanja, odmiče se od radnog komada. Kada se prekine kratki spoj, smjer gibanja žice se opet mijenja, žica se opet giba prema radnom komadu i proces se ponavlja. Nema predodređenog gibanja žice, nego pojava i prekid kratkih spojeva određuje brzinu i smjer gibanja žice. Druga važna značajka koja karakterizira CMT proces jest činjenica da se sami prijenos metala odvija pri vrlo niskim strujama. Kod CMT-a struja više nije odgovorna za otkidanje kapljice i ponovno uspostavljanje električnog luka. Taj nedostatak konvencionalnih postupaka je riješen upravo povratnim hodom žice. Odmicanje žice od radnog komada potpomaže prijenosu metala uslijed površinske napetosti taline. Zbog toga struja kratkog spoja može biti niska, čime se smanjuje unos topline, što je konačno i treća razlika CMT-a u odnosu na konvencionalne postupke [4,5].

1.2 Zavarivanje pocičanih limova

Postupak zavarivanja pocičanih predmeta je gotovo isti kao i postupak zavarivanja čelika nezaštićenog površinskim slojem nekog drugog metala istog sastava. Uz male prilagodbe može se koristiti isti postupak, napon, jakost struje, brzina zavarivanja itd. Razlika između zavarivanja pocičanog obratka i nepocičanog je u niskoj temperaturi isparavanja zaštitnog sloja cinka. Cink se tali na temperaturi od oko 420°C i isparava na temperaturi od približno 900°C . Dok se, s druge strane, čelik tali na približno 1510°C , a temperatura električnog luka je između 8300°C i 11100°C iz čega proizlazi jasan zaključak da cink u blizini električnog luka isparava. To rezultira sljedećim posljedicama: ispareni cink povećava količinu dima i para nastalih pri zavarivanju; cink na zavaru i

u njegovoj neposrednoj blizini je spaljen pod utjecajem električnog luka, a ta mjesta ostaju nezaštićena.

Budući da je temperatura električnog luka veća od temperature isparavanja cinka on isparava prilikom zavarivanja. Ako se isparavanje javlja na površini onda to i ne predstavlja veliki problem, jer postoji mogućnost da ispareni cink ode u atmosferu u obliku dima pa kao takav nema značajnog utjecaja na sam zavar. Međutim, problem je kad se javlja isparavanje cinka na rubovima osnovnog materijala ili u samom zavaru. U tom slučaju cink ne može otići u atmosferu, nego pri hlađenju zavara ostaje zarobljen u metalu zavara, a pri tome dolazi i do taloženja cinka na granicama zrna. Ovo taloženje dovodi do stvaranja pukotina u zavarenom spoju posredstvom zaostalih naprezanja. Tako zarobljenom plinskom mjehuriću cinka povećava se pritisak i kada dođe do određene granice nastaje pora ili pukotina u metalu zavara. Pore i pukotine dovode do smanjenja čvrstoće zavarenog spoja [6,7].

2 EKSPERIMENTALNI RAD

U eksperimentalnom dijelu rada zavarena su 3 para ploča različitih debljina cinkovog premaza. Korišteni izvor struje je bio Fronius TPS 400i u sprezi s robotskom stanicom Almega OTC AX V6. Osnovni materijal, oznaka S235 (prema normi HRN EN 10027-1:2007-Sustavi označivanja za čelike-1. dio: Nazivi čelika), je konstrukcijski čelik čija je minimalna granica elastičnosti u području najmanjih debljina 235 N/mm^2 . Kao dodatni materijal za zavarivanje korištena je puna žica proizvođača Elektroda Zagreb d.d. trgovačkog imena EZ – MIG CuSi3 (prema normi HRN EN ISO 24373: S CU 6560) promjera 1 mm. Zaštitni plin, 100 % Ar, korišten u eksperimentalnom radu je plin oznake I1 (prema normi EN ISO 14175:2008 Dodatni i potrošni materijali za zavarivanje-plinovi i plinske mješavine za zavarivanje i srodne postupke).

U eksperimentu su korištena 3 para limova s različitim debljinama sloja cinka. Kako bi se utvrdila debljina sloja cinka na pocinčanim limovima, prije samog zavarivanja provedeno je mjerjenje sloja cinka na svakom od ukupno 6 limova, pri čemu je na svakom limu provedeno po 10 mjerjenja. Rezultati mjerjenja kao i oznake uzoraka dani su u tablici 1. Oprema korištena za mjerjenje debljine cinkovog premaza je bila Elcometer 456.

Table 1. Rezultati mjerenja debljine sloja cinka na limovima korištenim u eksperimentu

Lim	Debljina, [μm]	x _{min} ,[μm]	x _{max} ,[μm]	\bar{x} , [μm]
1a	5...8	1,1	5,9	2,67
1b	5...8	2,8	4,9	3,96
2a	10...15	8,8	11,7	9,94
2b	10...15	9,9	11	10,46
3a	15...20	13,5	17,5	15,21
3b	15...20	13	20,8	15,36

Parametri zavarivanja tijekom zavarivanja sva tri para ploča postavljeni su fiksno dok je jedini parametar koji se mijenjao bila debljina cinkovog premaza. Dimenzije pocinčanih ploča su bile 300 x 150 x 3 mm, a tip spoja je bio preklopni s preklopom od 20 mm. Položaj zavarivanja je bio horizontalni dok je tehnika rada bila lijeva s nagibom pištolja od 30°. Ovaj položaj pištolja omogućava isparavanje cinka malo ispred pištolja. To je povoljno jer pare koje nastaju ne ulaze u zonu zaštitnog plina i ne ometaju djelovanje električnog luka. Protok plina je bio postavljen na 16 l/min uz slobodni kraj žice od 14 mm. Struja zavarivanja je bila postavljena na 100 A, napon zavarivanja je bio 11,5 V dok je brzina zavarivanja postavljena na 50 cm/min. Postavljeni i očitani parametri tijekom zavarivanja prikazani su u Tablici 2.

Table 2. Parametri zavarivanja – postavljeni i očitani tijekom zavarivanja

Parametri	Jakost struje [A]	Napon [V]
Početni	100	11,5
Tijekom zavarivanja, uzorak 1	107	11
Tijekom zavarivanja, uzorak 2	105	11,8
Tijekom zavarivanja, uzorak 3	100	12

Izgled lica zavara svih zavarenih uzoraka prikazani su na slikama 2 – 4.



Figure 2. Lice zavara – uzorak 1



Figure 3. Lice zavara – uzorak 2



Figure 4. Lice zavara – uzorak 3

Kao što je i vidljivo sa slika 2 – 4, povećanjem debljine cinkovog premaza pogoršavala se kvaliteta zavarenih spojeva. Kako je rasla debljina cinkovog premaza na površini zavarenih spojeva uočena je sve veća količina pora. Također, iz Tablice 2 je moguće vidjeti da debljina cinkovog premaza ne utječe samo na kvalitetu zavarenog spoja već i na parametre zavarivanja. Tako je moguće bilo uočiti da je s porastom debljine cinkovog premaza jakost struje padala (Slika 5), dok je obrnuto napon zavarivanja rastao (Slika 6).



Figure 5. Pad jakosti struje zavarivanja
ovisno o debljini cinkovog
premaza

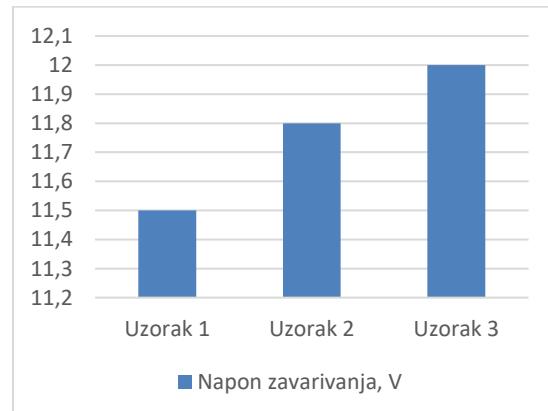


Figure 6. Rast napona zavarivanja ovisno
o debljini cinkovog premaza

2.1 Izrada i ispitivanje makroizbrusaka

U sklopu eksperimentalnog dijela rada bilo je potrebno odrediti utjecaj debljine sloja cinkovog premaza na geometriju zavara. Kako bi to bilo utvrđeno na strojnoj pili su izrezana 3 uzorka makroizbrusaka, po jedan za svaki par limova, nakon zavarivanja. Poprečni presjeci makroizbrusaka su zatim bili brušeni brusnim papirima, od grublje prema finijoj obradi uz posljednju gradaciju P4000 na uređaju za brušenje s brusnom pločom, uz brzinu okretaja ploče 300 o/min. Tokom brušenja tekla

je voda za vodeno hlađenje i podmazivanje. Nakon toga su makroizbrusci nagriženi u 3%-tnom nitalu. Uronjeni su u otopinu za nagrizanje na 10 sekundi, a zatim su stavljeni u posudu s vodom da se prekine kemijska reakcija i osušeni. Dobiveni makroizbrusci prikazani su na slikama 7 – 9.

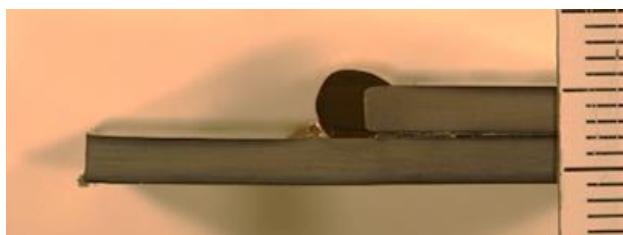


Figure 7. Makroizbrusak uzorka 1

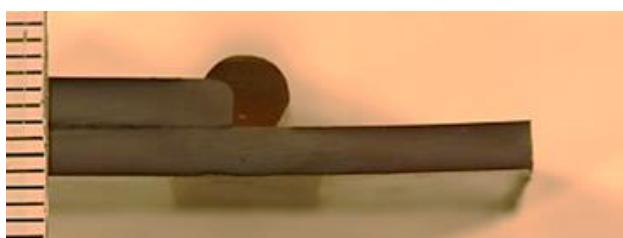


Figure 8. Makroizbrusak uzorka 2

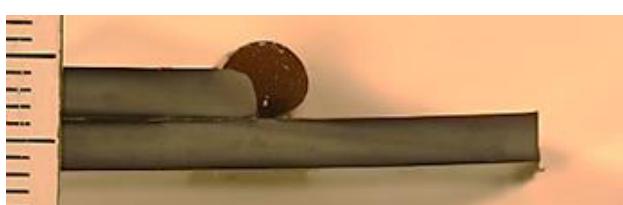


Figure 9. Makroizbrusak uzorka 3

Sa slika 7 – 9 moguće je vidjeti izgled profila zavara. Sa spomenutih slika se može uočiti da debljina cinkovog premaza utječe na profil zavarenog spoja i to prvenstveno na razlijevanje taline, odnosno kut kvašenja taline. Vidljivo je da s povećanjem debljine cinkovog premaza kut kvašenja raste, odnosno da se talina sve slabije razlijeva formirajući zavareni spoj većeg nadvišenja i zaobljenijeg izgleda. Također je moguće uočiti povećanu količinu pora što se više povećava i debljina cinkovog premaza.

3 ZAKLJUČAK

Na osnovu provedenog eksperimentalnog rada, moguće je zaključiti sljedeće:

- Debljina cinkovog premaza utječe na kvalitetu zavarenog spoja. Prvenstveno se utjecaj očituje u količini pora koje se javljaju u zavarenom spaju. S povećanjem debljine cinkovog premaza povećava se i broj pora u zavarenom spiju. Zbog povećane količine

cinka, on ne može otići u atmosferu, nego pri hlađenju zavara ostaje zarobljen u metalu zavara i potiče stvaranje pora.

- Utjecaj debljine cinkovog premaza očituje se i u parametrima zavarivanja. S povećanjem debljine cinkovog premaza, došlo je do pada jakosti struje i povećanja napona zavarivanja. Iako bi bilo za očekivati da će takva promjena u parametrima zavarivanja utjecati povoljno na profil zavara (ljepše razlijevanje taline), to nije bio slučaj.
- Debljina cinkovog premaza također utječe i na profil zavarenog spoja. Naime, uočeno je da se s povećanjem količine cinka talina slabije razlijeva, odnosno da kut kvašenja pada kako i pada debljina cinkovog premaza. Rezultat utjecaja debljine cinkovog premaza na profil zavara je taj da što je deblji premaz, to će profil zavara biti većeg nadvišenja i zaobljenijeg izgleda.

4 POPIS LITERATURE

- [1] Garašić, I., Kožuh, Z., Remenar, M.: Analiza prijenosa metala pri MAG CBT zavarivanju; Zavarivanje vol. 57 (3/4); 85-92; Zagreb, 2014.
- [2] Kožuh, Z., Garašić, I. : Priručnik iz kolegija strojevi i oprema za zavarivanje, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb, 2016.
- [3] Himmelbauer, K.: CMT postupak – revolucija u tehnologiji zavarivanja, Zavarivanje, 51 (2008), pp. 115 – 121
- [4] Furukawa, K.: New CMT arc welding process – welding of steel to aluminium dissimilar metals and welding of super – thin aluminium sheets, Welding international, Volume 20 (2006), pp. 440 – 445
- [5] Horvat, M., Kondić, V.: Primjeri modificiranih postupaka MIG/MAG zavarivanja, Tehnički glasnik, Vol. 6 (2012), pp. 137 – 140.
- [6] Ma, J., Kong, F., Carlson, B.D., Kovacevic, R.: Mitigating Zinc Vapor Induced Weld Defects in Laser Welding of Galvanized High-Strength Steel by Using Different Supplementary Means, 2012.
- [7] Weman, K.: Welding processes handbook“ Cambridge, 2003.