Broj rada: 5.6
DOI: 10.65156/wws.sjdp.si.028

ZAVARIVANJE NERĐAJUĆEG ČELIKA PUNJENOM ŽICOM MAG POSTUPKOM U ZAŠTITI UGLJEN DIOSKIDA

MAG WELDING OF STAINLESS STEEL WITH FLUX-CORED WIRE IN A CARBON DIOXIDE SHIELDING ATMOSPHERE

Dragan Mitić[1] dipl. inž. Mašinstva, Mladen Mitić[1] mast.inž. mašinstva, Đorđe Hadži-Đokić[2] mast.inž. mašinstva, Srđan Milojković[1] dipl. inž. mašinstva

[1] Nivar D.O.O. Niš, Niš, Republika Srbija ,
[2] Mašinski fakultet u Nišu, Univerzitet u Nišu, Republika Srbija

E-mail: *hadzidjordje5@gmail.com*

Rezime: Za zavarivanje nerđajućih čelika MAG postupkom uobičajeno se koristi mešavina gasova, argon 98% i 2% kiseonika, ugljen dioksida ili azota. U ovom radu je prikazano zavarivanje nerđajućeg čelika punjenom žicom u stoprocentnoj zaštiti ugljen dioksidom. Prikazani su rezultati ispitivanja ovako zavarenih spojeva, kao i vizuelni izgled zavarenih spojeva.

Ključne reči: MAG postupak, punjena žica, zaštitni gas

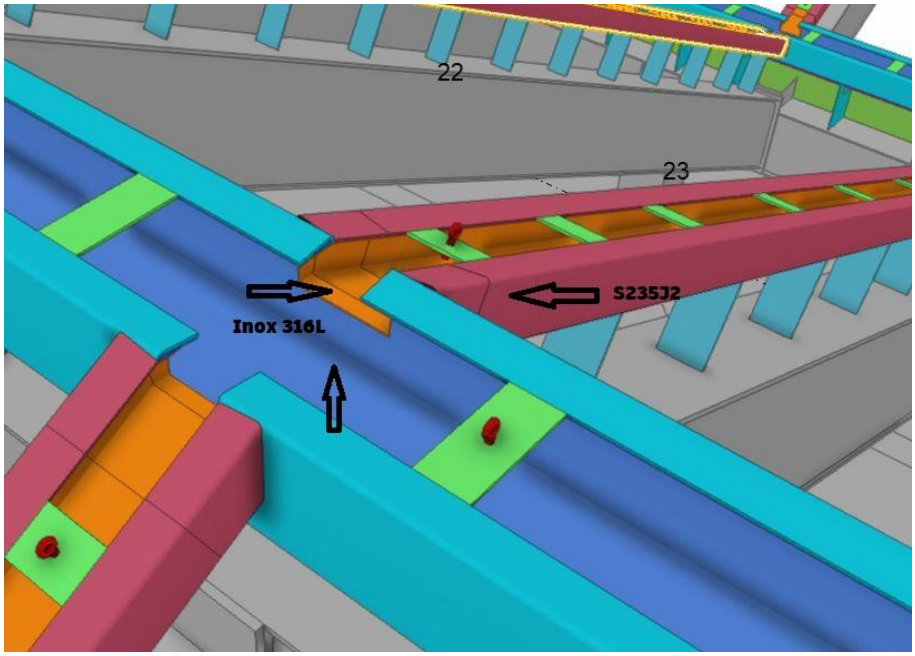
Abstract: For welding stainless steels using the MAG process, a gas mixture is commonly used, consisting of 98% argon and 2% oxygen, carbon dioxide, or nitrogen. This paper presents the welding of stainless steel using flux-cored wire with 100% carbon dioxide shielding. The results of testing such welded joints are presented, as well as the visual appearance of the welded joints.

Key words: MAG process, flux-cored wire, shielding gas

1. UVOD

Zavarivanje nerđajućih čelika, predstavlja široko primenjivan postupak spajanja materijala u različitim industrijskim oblastima. Zbog specifičnog hemijskog sastava i izražene otpornosti na koroziju, pri zavarivanju je potrebno posebno voditi računa o izboru postupka, dodatnog materijala i zaštitnog gasa, kao i o unosu toplote. Najčešće se primenjuju TIG (141) i MIG/MAG (131/135) postupci, pri čemu se odgovarajućim parametrima zavarivanja nastoji obezbediti kvalitetan zavareni spoj uz očuvanje korozione otpornosti osnovnog materijala. Posebna pažnja posvećuje se sprečavanju pregrevanja, oksidacije i pojave neželjenih promena u mikrostrukturi materijala.
U ovom radu biće predstavljeno zavarivanje nerđajućeg čelika 316L (čelik 1.4404) MAG postukom (136) u zaštiti 100% ugljen dioksida (CO_2). Kod standardne primene MAG postupka za zavarivanje 316L najčešće se koriste argon-bogate zaštitne gasne smeše, a ne čist CO_2. Na primer, za dodatni materijal klasifikacije G 19 12 3 L / ER316L, proizvođači navode zaštitne gasove tipa M12 ili M13, odnosno argonom bogate smeše sa manjim dodatkom aktivne komponente.

Zavarivanje se izvodi na poslovnom objektu u zoni krovne konstrukcije, kao deo membranskog pokrivača, čija namena je prikupljanje i sprovođenje atmosferskih voda drenažnim sistemom. Vremenski uslovi, predata konstrukciona rešenja i metodologija zahtevaju izvođenje radova sa već obezbeđenim dodatnim materijalom, zaštitnim gasom i postojećim sertifikatima zavarivača. Uslovi rada, podrazumevaju hladno vreme i zavarivanje na 15m visine.



Slika 1. Prikaz pozicija zavarivanja na 3D modelu konstrukcije krova

Početak procesa zavarivanja zahtevao je pripremu samog materijala, obradu na terenu, pripremanje ivica, čišćenje osnovnog materijala i formiranje adekvatne zaštite na krovu objekta sa ciljem obezbeđenja što povoljnijih uslova za zavarivanje.



Slika 2. Prikaz pozicija zavarivanja u realnim uslovima

2. EKSPERiMENT

2.1 Osnovni materijal

Osnovni materijal je EN 1.4404 / X2CrNiMo17-12-2 (AISI 316L) debljine 3mm kao što je prikazano na slici 2. je smešten u kutijasti ram izrađen od konstrukcionog čelika S235J2, čija izrada zahteva posebnu pažnju, naročito prilikom obrade zavara.

Tabela 1. Hemijske karakteristike osnovnog materijala

Osnovni materijal	C %	Mn %	Si %	Ni %	Cr %	Mo %	Ti %	V %	Cu %
iNOX 316L/ č 1.4044	0,03	2,05	0,89	11,86	18,23	2,02	/	/	/

Tabela 2. Mehaničke karakteristike osnovnog materijala

Osnovni materijal	Rm (N/mm²)	Rv (N/mm²)	L (%)	Pv (J)	Tvrdoća (HB)
iNOX 316L/ č1.4044	608	336	40	-40°C 60	215

2.2 Dodatni materijal

U toku zavarivanja ovog materijala, kao dodatni materijal koristi se punjena žica komercijalne oznake JQ 316L (ISO 17 633-A-T 19 12 3 LP C1 1).

Tabela 3. Hemijske karakteristike dodatnog materijala

Dodatni materijal	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %	Ti %	Cu %
JQ 316L	0,02	0,64	1,38	0,023	0,004	18,96	11,97	2,63	/	0,0047

Tabela 4. Mehaničke karakteristike dodatnog materijala

Dodatni materijal	Rm (N/mm²)	Rv (N/mm²)	izduženje (%)	Pv jJ
JQ 316L	571	429	36	/

2.3 Metodologija rada

Zavarivanje materijala inox 316L sprovodi se na visini između 15-20m uz adekvatnu pripremu površina. Obrada i čišćenje ivica kod ugaonog zavarenog spoja na preklopu podrazumeva brušenje abrazivima predviđenim za brušenje nerđajućih (inox) čelika. Nakon pripreme ivica neophodno je obezbediti adekvatno snabdevanje električnom energijom na visini od 20m uz minimalne gubitke. Zavarivanje ugaonih zavarenih spjeva (FW) se izvodi u PB i PF poziciji gde zavarivač zbog veličine šobe posebno obraća pažnju na početak i kraj zavara uz kontrolisan unos toplote kao i brzinu hlađenja. Kako se zavarivanje odvijalo u toku februara meseca bilo je neophodno obaviti sušenje površina pre početka zavarivanja u slučaju padavina (slika 3.).



Slika 3. izgled zavarenog spoja pre čišćenja

Nakon završenog zavarivanja, pomenuta lokacija zavara se hladi, gde se nakon 30/45minut pristupa čišćenju zavarenoog spoja uz korišćenje čistača GSM, uz posebne mere zaštite (rukavice, maske i naočare) zbog štetnosti i opasnosti sredstva po korisnike prilikom neadekvatne primene. Nakon nanosa čistača, zone zavarenog spoja MŠ i ZUT se ispiraju vodom uz pritisak, sa ciljem uklanjanja zaostalih tragova čistača. Nakon ispiranja pristupa se sušenju površina i nanošenju pasivizatora (kiseline) sa ciljem povratka nerđajućih osobina osnovnom materijalu i samoj zoni zavarenog spoja.



Slika 4. Čistač zavarenih spojeva i njegova primena nakon zavarivanja

Po završetku procesa pasivizacije pristupa se daljem ispitivanju zavarenih spojeva metodama razaranja (VT 100%, PT 20%), nakon čega se na površine spojeva nanosi hidro premaz i potom završni sloj antikorozione zaštite.

U vremenskom periodu od početka zavarivanja do samog ispitivanja, koji obuhvata nekoliko nedelja, nije zabeležena ikakva pojava korozije ili elemenata tačkaste korosije u zoni zavarenih spojeva.



Slika 5. izgled zavarenog spoja nakon pasivizacije i konačni izgled membranskih svodova

2.4 Ispitivanje bez razaranja

U okviru iTP-a (inspection testing plan) i plana kontrole propisanog od strane stručnog nadzora u zoni zavarenih spojeva predviđeno je ispitivanje VT i PT metodama u određenom obimu prema zahtevu nivoa kvaliteta “C” (EXC2).



Slika 6. ispitivanje zavarneih spojeva

3. REZULTATI I DiSKUSIJA

Pre samog postupka realizacije poslova zavarivanja neophodno je bilo izraditi adekvatnu kvalifikaciju shodno standardima i pravilima struke. U daljem tekstu biće prikazani segmenti kvalifikacije (WPQR) za sprovedena zavarivanja u zaštiti ugljen dioksida,

Izdaje: WELD-ING DOO INŽENJERING U ZAVARIVANJU www.weld-ing.com | KVALIFIKACIJA TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA - WPQR | Broj: WK-14-136/26

UVERENJE /SERTIFIKAT O KALIFIKACIJI NA OSNOVU ISPITIVANJA UZORKA

Tehnologija zavarivanja broj:	WANHAO 06	Mesto/datum zavarivanja:	Beograd, 03.04.2026.
Proizvođač:	ZHEJIANG WANHAO SPACE STRUCTURE GROUP CO. LTD. OGRANAK BEOGRAD	Adresa proizvođača:	Ul. Bulevar Kralja Aleksandra I Karađorđevića 13, broj stana: 2, 11102 Beograd
Relevantni standard:	SRPS EN ISO 15614-1:2017/A1:2020	Mesto/datum kontrolisanja:	Beograd, 03.04.2026.
Izveštaj o kontrolisanju:	iWK-14-136/26	Mesto/datum izdavanja:	Beograd, 24.04.2026.

PODRUČJE VAŽENJA KVALIFIKACIJE

Postupak zavarivanja	136 - MAG zavarivanje sa punjenom elektrodnom žicom u zaštitnoj atmosferi aktivnog gasa; način prenosa dodatnog matrijala kratkospojeni prenos (short arc); Područje važenja kvalifikacije: kratkospojeni prenos (short arc).		
Grupa/podgrupa osnovnog materijala	OM: X2CrNiMo17-12-2, čelici grupe 8.1 prema SRPS CEN ISO/ TR 15608; Područje važenja kvalifikacije: 8 - 8	Vrsta spoja i šava	FW - ugaoni spoj: ploča (P-FW)
Jedan/više prolaza	Višeprolazno zavarivanje	Debljina osnovnog materijala (mm)	6,00/6,00
Ugao priključka		Debljina spoja i šava (mm)	Područje važenja kvalifikacije FW: 3,00 - 12,00
Oznaka dodatnog materijala	Golden Bridge JQ-316L, T 19 12 3 L P C1 prema SRPS EN ISO 17633	Visina šava ugaonog spoja (mm)	Bez ograničenja
Oznaka zaštitnog gasa	C1 prema SRPS EN ISO 14175	Spoljašnji prečnik cevi (mm)	
Položaj zavarivanja	PA, PB, PC, PD, PE, PF prema SRPS EN ISO 6947	Temperatura predgrevanja (°C)	
Tip struje i polarnost	DC +	Međuprolazna temperatura (°C)	Do 250
PWHT postupak		Ostali podaci	Nivo 2, prema SRPS EN ISO 15614-1:2017/A1:2020

POTVRĐUJE SE DA JE ISPITNI UZORAK WK-14-136/26 PRIPREMLJEN, ZAVAREN I ISPITAN SA ZADOVOLJAVAJUĆIM REZULTATIMA U SKLADU SA ZAHTEVIMA STANDARDA SRPS EN ISO 15614-1:2017/A1:2020

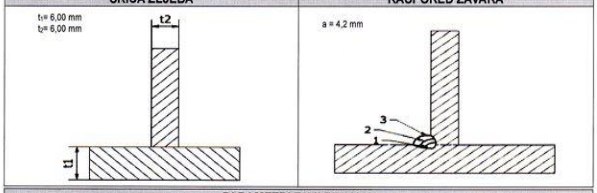
Kontrolisanje obavio: Radoš Lilić mast.inž.maš./EWE | Odobrio: Vladan Macanković ing.maš. EWE, IWI

Izdaje: WELD-ING DOO INŽENJERING U ZAVARIVANJU www.weld-ing.com | KVALIFIKACIJA TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA - WPQR | Broj: WK-14-136/26

PODACI O ZAVARIVANJU ISPITNOG UZORKA - WPS

Tehnologija zavarivanja – broj:	WANHAO 06	Proizvođač:	ZHEJIANG WANHAO SPACE STRUCTURE GROUP CO. LTD. OGRANAK BEOGRAD
Mesto:	Beograd	Zavarivač:	Luo Eruha
Postupak zavarivanja:	136	Položaj zavarivanja:	PF i PD
Vrsta spoja:	FW	Priprema - čišćenje:	DA
Osnovni materijal		Dodatni materijal	
Oznaka / standard:	X2CrNiMo17-12-2 prema SRPS EN 10216-5	Oznaka / standard:	T 19 12 3 L P C1 prema SRPS EN ISO 17633
Grupa:	8.1	Trgovački naziv:	JQ-316L
Debljina (mm):	6,00	Proizvođač:	Golden Bridge
Spoljni prečnik cevi (mm):	/	Sušenje:	/

SKICA ŽLJEBA: t_1= 6,00 mm, t_2= 6,00 mm | RASPORED ZAVARA: a = 4,2 mm



PARAMETRI ZAVARIVANJA

Zavar br.	Postupak	Prečnik dodatnog materijala	Struja (A)	Napon (V)	Vrsta struje/polaritet	Brzina: dodavanja žice/ zavarivanja	Unos toplote
1-3	136	Ø 1,2 mm	160-180	22,0-23,0	= (+)	20 cm/min-22 cm/min	0,95 kJ/mm

Zaštitni gas/ prašak:	C1 prema SRPS EN ISO 14175	Ostali podaci:	kratkospojeni prenos (short arc)
Protok gasa:	Od 15 l/min do 18 l/min	Njihanje (maksimalna širina):	/
Tip volframove elektrode/prečnik:	/	Oscilacije: (ampliitude, frekvencije, vreme):	/
Podaci o žljebljenju/podloška:	Ne	Podaci o impulsnom zavarivanju:	/
Temperatura predgrevanja:	/	Rastojanje mlaznice:	/
Međuslojna temperatura:	Do 250°C	Podaci o zavarivanju plazmom:	/
Termička obrada posle zavarivanja i/ili starenje:	/	Ugao nagiba pištolja (gorionika):	/
Vreme, temperatura, metoda:	/	Dimenzija mlaznice:	/
Datum izdavanja:	24.04.2026.	Zavarivanje je izvedeno u prisustvu:	Radoša Lilića

ZA PROIZVOĐAČA: Đorđe Hadži-Đokić mast.inž.maš. IWE; 03.04.2026. (ime, datum i potpis)

ZA WELD-ING D.O.O.: Radoš Lilić mast.inž.maš. EWE; 03.04.2026. (ime, datum i potpis)

Slika 7. Deo kvalifikacije i pWPS

U toku zavarivanja neophodno je bilo pratiti paramtere radi kontrole unosa toplote i ponašanje osnovnog materijala obzirom da se radilo sa materijalom male debljine čija geometrija mora da prati okvir sekundarne čelične konstrukcije (S235J2). Zavarivanje se izvodilo u PF i PA položaju.



Slika 8. izgled uzorka nakon zavarivanja

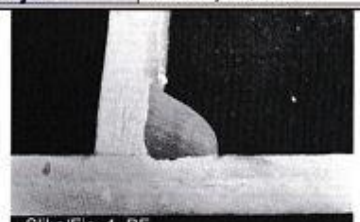
Izdaje: WELD-ING DOO INŽENJERING U ZAVARIVANJU www.weld-ing.com	KVALIFIKACIJA TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA - WPQR	Broj: WK-14-136/26

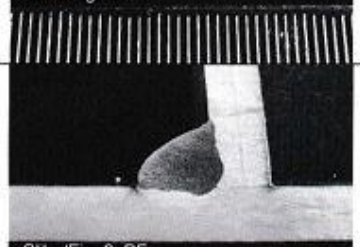
REZULTATI ISPITIVANJA ISPITNOG UZORKA WK-14-136/26 PREMA SRPS EN ISO 15614-1:2017/A1:2020			
Tehnologija zavarivnaja - broj:	WANHAO 06		
Vizuelni pregled:	Zadovoljava; 416/26	~~Radiografsko isptivanje:~~	
Penetrantsko/~~magnetsko~~ ispitivanje:	Zadovoljava; 416/26	~~Ultrazvučno isptivanje:~~	
~~Ispitivanje zatezanjem:~~		~~Temperatura ispitivanja:~~	

Tip/br.	Re (N/mm^2)	Rm (N/mm^2)	A (%)	Z (%)	Mesto prekida	Ocena

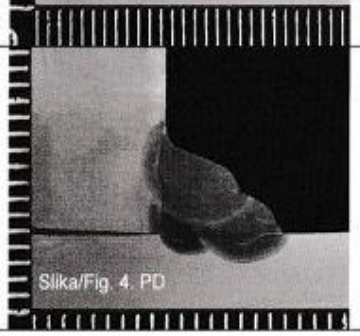
~~Ispitivanje savijanjem:~~		~~Mikrografija:~~	
~~Prečnik trna:~~		Makrografija:	Zadovoljava; 416/26

Broj epruveta	Ugao savijanja	Metoda	Ocena


Slika/Fig. 1. PF


Slika/Fig. 2. PF


Slika/Fig. 3. PD


Slika/Fig. 4. PD

Slika 9. Rezultati ispitivanja ispitnog uzorka

4. ZAKLJUČAK

Da bi se pomenuti postupak zavarivanja nerđajućeg čelika (316L) u zaštiti 100%CO2 u potpunosti verifikovao neophodo je izraditi i kvalifikaciju za sučeoni tip zavara (BW) sa potpunim prikazom makro strukture, a nakon izrađene kvalifikacije neophodno je obaviti testiranje na pojavu interkristalne korozije.

Pored svega navedenog, ovaj postupak ekonomski opravdava svoje izvođenje jer je upotreba čistog ugljen dioksida 100% CO2 isplativija, ali takođe treba sagledati samu obuku zavarivača i proces pasivizacije radi efikasnosti i uštede vremena jer je pomenuti proces pasivizacije neophodan prema proceduri, radi dobijanja očekivanih osobina nerđajućeg čelika i nakon završenog zavarivanja.

LITERATURA

[1] Catalog Golden Bridge, flux cored wire, stainless steel, (AWS A5.22 E316LT1-1iSO 17633-A-T 19 12 3 L P C1 1), Liujing Road, Dongli Economic Development Area, Tianjin, P. R. China

[2] Radica Prokić Cvetković, Olivera Popović, Metalurgija zavarivanja, Univerzitet u Bogradu, Mašinksi fakultet, Beograd 2019.

[3] Izveštaj o vizuelnom ispitivanju (VT), Laboratorija, RD Dijagnostika, Beograd, izveštaj broj:416/26 VT, izveštaj o penetratskom ispitivanju (PT) izveštaj br.: 416/26 PT Beograd, Republika Srbija