



**ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA OPLAŠTENIH ELEKTRODA
ZA RUČNO ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE**

**RESEARCH OF CHARACTERISTIC OF COVERED ELECTRODES
FOR MANUAL METAL ARC WELDING**

Marko BEŠKER, Ante MILAS¹

Ključne riječi: elektrode, učin taljenja, sadržaj vodika

Key words: electrodes, deposition rate, content of hydrogen

Sažetak: Vrlo je važno ispitati osobine koje karakteriziraju ekonomičnost primjene te operativno-tehnološke karakteristike oplštenih elektroda koje se masovno primjenjuju. Naime, rezultati provedenih ispitivanja istih tipova elektroda, a različitih proizvođača mogu značajno utjecati na efikasnost proizvodnog procesa i kvalitetu proizvoda. U radu su prikazani metodologija i rezultati jednog takvog ispitivanja.

Abstract: It is very important to analyze the features which characterize the economy of use and operative-technological characteristics of coated electrodes which are in mass use. Namely, the results of researches for the same types of electrodes made by different producers can have a big impact at production process efficiency and quality of product. In this research we give the methodology and the results of one such test.

¹ Brodosplit – Brodogradilište specijalnih objekata, Put Supavla 21, 21000 Split, Hrvatska



1. UVOD

U velikim proizvodnim sustavima u kojima je zavarivanje dominantan proizvodni proces vrlo je važno ispitati elemente koji karakteriziraju ekonomičnost primjene te operativno-tehnološke karakteristike svih tipova oploštenih elektroda koje se masovno koriste ili se pak potencijalno mogu koristiti. Istina je da se navedeni podatci često nalaze u katalogima renomiranih proizvođača dodatnih materijala za zavarivanje. Međutim, kako proizvođači imaju i svoje komercijalne interese, uvijek je korisno navedene podatke provjeriti za slučaj primjene u realnim proizvodnim uvjetima. Jedno takvo ispitivanje za elektrode bazičnog tipa obloge, koje se masovno koriste, svojevremeno je provedeno u brodogradilištu «Brodosplit» d.d.

Metodologija i rezultati ispitivanja daju se u ovome radu.

2. UTVRĐIVANJE ČIMBENIKA KOJI KARAKTERIZIRAJU EKONOMIČNOST PRIMJENE

Svi čimbenici koji karakteriziraju ekonomičnost primjene određenog tipa elektrode (koeficijent taljenja, učin taljenja, stupanj iskoristivosti, iskoristivost ukupne mase elektrode) određeni su na sljedeći način, odnosno uz sljedeće uvjete:

- Ispitivanja su provedena na elektrodama bazičnog tipa tri renomirana proizvođača (proizvođači «A», «B» i «C»). Konkretno se radi o elektrodama koje po AWS-u SFA-5.1 imaju oznaku E7018. Radi se, dakle, o elektrodama s niskim sadržajem vodika predviđenim za zavarivanje nelegiranih i nisko legiranih čelika čvrstoće do 590 N/mm², kao i za zavarivanje sitnozrnatih čelika s granicom razvlačenja do 355 N/mm².
- Probna zavarivanja su izvršena s po jednom elektrodom promjera 3,25 ; 4,0 i 5,0 mm nasumice uzetih iz kutija koje su uobičajenom procedurom pristigle u brodogradilište.
- Probe zavarivanja predviđene su kao navarivanje u položenoj poziciji na pločama dimenzije 90x200x5 mm. Korištene su ploče malih dimenzija, budući da su sva mjerenja vršena na preciznoj elektronskoj vagi s mjernim područjem 0,01 do 1200 grama.
- Što se tiče parametara zavarivanja, odlučili smo se za uobičajene iznose struje zavarivanja koju naši zavarivači prakticiraju za određeni promjer elektrode. Time su nam dobiveni rezultati primjenjivi za egzaktne proračune vremena zavarivanja, odnosno ukupnih kapaciteta naših radionica i pogona. Primjena maksimalnih parametara i inače je bila limitirana relativno malom masom ploča na kojima je vršeno zavarivanje jer bi to dovelo do njihovog prevelikog zagrijavanja.

Za eksperimentalno utvrđivanje ekonomičnosti primjene programom ispitivanja predviđeno je mjerenje i izračunavanje sljedećih veličina, koje su za svaki promjer elektrode upisane u Tablicu br.1:

- težina jezgre elektrode (stupac 2) – izračunata veličina na bazi mjerenja promjera jezgre pomičnom mjerkom
- duljina elektrode (stupac 3) – mjerena metrom
- težina elektrode s oblogom (stupac 4) – mjerena elektronskom vagom

- jakost struje zavarivanja (stupac 5) – mjerena obuhvatnim ampermetrom i instrumentom na ispravljaču
- napon električnog luka (stupac 6) – određen iz statičke karakteristike ispravljača
- vrijeme gorenja luka (stupac 7) – mjerena štopericom
- težina navara (stupac 8) – izračunata kao razlika mase zavarenog i nezavarenog uzorka mjenenog elektronskom vagom
- duljina ostatka elektrode (stupac 9) – izmjerena metrom
- težina jezgre ostatka elektrode (stupac 10) – izračunata vrijednost na bazi izmjerene duljine ostatka i njegova promjera
- ukupna težina ostatka elektrode (stupac 11) – mjerena elektronskom vagom
- koeficijent taljenja (stupac 12) – izračunata veličina
- učin taljenja (stupac 13) – izračunata veličina
- stupanj iskoristivosti (stupac 14) – izračunata veličina
- iskoristivost ukupne mase elektrode svedeno na ostatak od 50 mm (stupac 15) – izračunata veličina.

Svi čimbenici koji karakteriziraju ekonomičnost primjene određenog promjera elektrode (koeficijent i učin taljenja, stupanj iskoristivosti, iskoristivost ukupne mase elektroda) nalaze se u Tablici 1. (podaci za elektrode proizvođača «A»). Međutim, radi boljeg pregleda i mogućnosti uspoređivanja, isti podaci dani su u Tablici 2. skupa s podacima za elektrode istog tipa proizvođača «B» i «C». Podaci za ove elektrode su, također, po istoj metodologiji utvrđene u laboratoriju.

PROIZVOĐAČ	PROMJER	KOEFICIJENT TALJENJA	UČIN TALJENJA	STUPANJ ISKORISTIVOSTI	ISKORISTIVOST ELEKTRODE
	mm	kg/Ah	kg/h	%	%
PROIZVOĐAČ "A"	3,25	8,11	0,97	114,52	58,71
	4,0	8,61	1,4	109,21	63,34
	5,0	9,01	2,12	110,6	59,97
PROIZVOĐAČ "B"	3,25	8,154	0,978	112,3	59,1
	4,0	8,897	1,45	110,2	63
	5,0	8,80	2,06	105,1	62,4
PROIZVOĐAČ "C"	3,25	8,42	1,1	114,98	61,94
	4,0	8,91	1,45	114,90	65,53
	5,0	8,87	2,08	107,59	65,57

Tablica 2. Čimbenici koji karakteriziraju ekonomičnost primjene za elektrode proizvođača «A», «B» i «C»

Analizom podataka iz Tablice 2. može se zaključiti sljedeće:

- Ne postoje značajnije razlike među ispitivanim elektrodama niti po jednom elementu važnom za ocjenu ekonomičnosti primjene. Manja odstupanja koja postoje najvjerojatnije su posljedica stabilnosti, odnosno dužine električnog luka koju je zavarivač prilikom zavarivanja pojedinim tipom i promjerom elektrode uspio osigurati i konzekventno tome veličini prskanja. Naime, u primijenjenoj tehnologiji mjerenja prskotine rastaljenog metala nisu ulazile u proračun.



3. ISPITIVANJE OPERATIVNO-TEHNOLOŠKIH KARAKTERISTIKA

Provjeravanje dimenzija, stanja i prijanjanja plašta elektrode

a) Dimenzije

Nasumice je uzeto 10 komada elektroda i na njima je izvršena provjera sljedećih dimenzija:

- promjer jezgre elektrode
- promjer elektrode s plaštom
- ekscentričnost plašta
- Mjerenje promjera jezgre elektrode s plaštom vršeno je pomičnom mjerkom na jednom mjernom mjestu (dio elektrode koji se ulaže u zavarivačka kliješta). Mjerenja su pokazala da su sve ispitane elektrode zadovoljile zahtjevani kriterij da se odstupanje izmjerenog promjera ne razlikuje za više od 0,1 mm od specificiranog.
- Mjerenje promjera elektrode s plaštom vršeno je također s pomičnom mjerkom na 2 mjesta po dužini elektrode. Kod svih provjerenih elektroda ispunjen je zahtjevani kriterij da odstupanje od pojedinačnog mjerenja od srednje vrijednosti ne iznosi više od +1 mm.
- Mjerenje ekscentričnosti plašta također je vršeno pomičnom mjerkom na dva mjesta po dužini elektroda. Ispitivani uzorci su zadovoljili i ovaj kriterij, budući da se pojedinačne izmjere ne razlikuju od srednje vrijednosti za više od 0,5 mm.

b) Stanje plašta

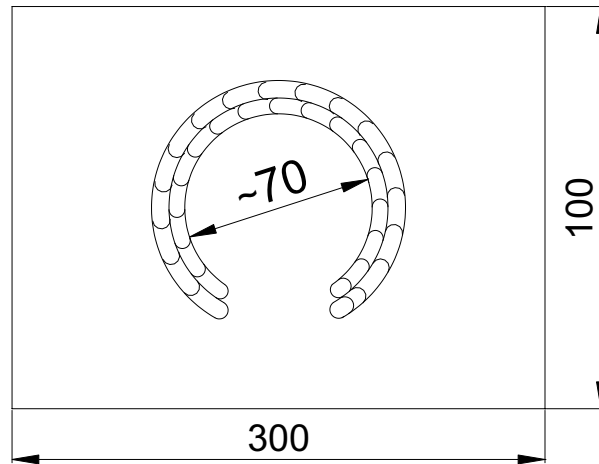
Stanje plašta procjenjeno je vizualnim pregledom reprezentativnog uzorka od po 10 elektroda određenog promjera. Svi promjeri elektrode su zadovoljili ovaj kriterij, budući da je kod svih konstatiran kompaktan plašt bez pukotina, mehaničkih oštećenja i nalijepljenih dijelova drugih materijala.

c) Prijanjanje plašta

Ispitivanje prijanjanja plašta izvršeno je na način da se ukupno 10 elektroda svakog promjera baca jedna po jedna s visine od 750 mm na ravnu ploču. Niti na jednoj od ispitivanih elektroda nije primijećeno ljuštenje plašta.

Sposobnost prijanjanja zavara i ostale karakteristike

Sposobnost prijanjanja i ostale karakteristike ispitivane su navarivanjem na ploči iz konstrukcijskog niskougličnog čelika dimenzija 20x100x300 mm postavljenog u vertikalni položaj. Navarivanje se vrši u obliku kruga promjera oko 70 mm (vidi skicu br.1) počevši odozdo.



Skica 1. Ispitivanje sposobnosti prijanjanja zavara

Zapaženo je vrlo dobro prijanjanje zavara (talina ne kaplje naniže). Također je uočeno lako uspostavljanje električnog luka te njegova velika stabilnost (prskanja skoro i nema). Šljaka se vrlo lako odstranjuje.

Ispitivanje sadržaja vodika

Budući da se prisutnost vodika u zavarenom spoju smatra jednim od najznačajnijih uzročnika hladnih (naknadnih) pukotina, to je njegov sadržaj u oblozi jedan od značajnijih kriterija ocjene kvalitete bazičnih elektroda.

Mjerenje sadržaja vodika u metalu zavara izvršeno je glicerinskom metodom na 3 uzorka za svaki promjer elektrode i to za dva režima sušenja i držanja.

I. režim

Elektrode su prije ispitivanja sušene po uobičajenom režimu 2 sata na 350°C. Ispitivani uzorci zavareni su neposredno poslije sušenja. Sadržaji vodika za pojedini tip i promjer elektrode izmjereni 48 sati nakon zavarivanja dani su u tablici br.3.

TIP ELEKTRODE	PROIZVOĐAČ "A"		PROIZVOĐAČ "B"	
Promjer [mm]	3,25	4,0	3,25	4,0
SADRŽAJ VODIKA (cm/100 gr. zavara) prosjek iz 3 mjerenja	0,483	1,52	2,803	2,469

Tablica 3. Sadržaji vodika

Dakle, vidljivo je da sve ispitivane elektrode, odnosno promjeri, uz navedeni režim sušenja daju sadržaj vodika ispod 3,5 cm/100 grama zavara, koji se smatra limitom za zavarivanje najodgovornijih konstrukcija.

Međutim, također je vidljivo da elektroda proizvođača «A» za isti režim sušenja pokazuje znatno manji sadržaj vodika od elektrode iste klase drugog proizvođača (5,8 puta za promjer 3,25 i 1,6 puta za promjer 4,0 mm). Praktična posljedica je da se elektroda proizvođača «A» može podvrći blažem režimu sušenja a da ipak osigura limit od 3,5 cm vodika na 100 grama zavara.

Ovaj novi režim, u cilju smanjenja troškova sušenja, u svakom bi slučaju trebalo eksperimentalno utvrditi.

II. režim

Elektrode su osušene po režimu 2 sata na 350°C, a zatim 4 dana ostavljene na otvorenom prostoru (ispod nadstrešnice). Vrijeme je bilo bez kiše s prosječnom relativnom vlažnošću od oko 46%. Sadržaj vodika za pojedini tip i promjer elektrode izmjereni su 48 sati nakon zavarivanja dani su u tablici br.4.

TIP ELEKTRODE	PROIZVOĐAČ "A"		PROIZVOĐAČ "A"	
Promjer [mm]	3,25	4,0	3,25	4,0
SADRŽAJ VODIKA (cm/100 gr. zavara) prosjek iz 3 mjerenja	0,043	2,399	4,025	3,204

Tablica 4. Sadržaji vodika

Dakle, po ovakvom režimu ispitivanja elektroda proizvođača «A» pokazuje znatno niži sadržaj vodika od elektrode iste klase drugog proizvođača. Štoviše, sadržaji vodika su za oba ispitana promjera daleko ispod dozvoljenog limita. Ovo je bez sumnje vrlo značajno svojstvo, budući da se smanjuje opasnost od pucanja zavarenog spoja i za slučaj neadekvatnog držanja bazičnih elektroda, što je na montažnim radovima čest slučaj (ostavljanje elektroda na «otvorenom», korištenje neispravnih individualnih grijača).

4. ZAKLJUČAK

Elektrode proizvođača «A» i «B» po svim ispitanim elementima u potpunosti odgovaraju najkvalitetnijim elektrodama ove klase. Elektroda proizvođača «A» po pitanju sadržaja vodika u metalu zavara izdvaja se u pozitivnom smislu. Stoga se njena primjena posebno sugerira na montažnim radovima (navoz) gdje se teže osigurava adekvatan režim sušenja i držanja bazičnih elektroda.