Broj rada: 1.2
DOI: 10.65156/wws.sjdp.si.002

KARAKTERITIKE PRIMJENE AKTIVATORA PRI ZAVARIVANJU UGLJENIČNIH ČELIKA POSTUPCIMA TIG I MIG

CHARACTERISTICS OF ACTIVATOR APPLICATION IN TIG AND MIG WELDING OF CARBON STEELS

Oleksandr M. Savytskyi PhD, ORCID broj: 0000-0002-2605-96471[1], Mykhailo M. Savytskyi Prof. dr, ORCID broj: 0000-0003-3175-43341[1], Darko Bajić Prof. dr, ORCID broj: 0000-0001-7567-59592

[1] E.O. Paton Electric Welding Institute, NAN Ukraina, Kyiv, Ukraine
[2] Univerzitet Crne Gore, Mašinski fakultet, Podgorica, Crna Gora

E-mail: darko@ucg.ac.me

Rezime: U radu su prikazani rezultati istraživanja koji pokazuju da stepen rafinacije čelika značajno utiče na sposobnost uvara električnog luka pri TIG zavarivanju, dok se pri MIG zavarivanju ovaj uticaj praktično ne ispoljava. Takođe, analiziran je uticaj topitelja na bazi oksida na sposobnost uvara električnog luka. Pokazuje se da efikasnost ovih topitelja u smislu poboljšanja dubine uvara električnog luka zavisi od temperature topljenja aktivatora i od energetskih karakteristika procesa zavarivanja - toplotne snage električnog luka i pogonske energije (količine unijete toplote u zavareni spoj). Što su ove vrijednosti veće, to je za aktiviranje procesa elektrolučnog zavarivanja neophodno primjenjivati topitelje sa višom temperaturom topljenja. Pri TIG zavarivanju u optimalnom opsegu struje zavarivanja (do 250 A), za povećanje dubine uvara električnog luka preporučuje se primjena aktivirajućih topitelja koji predstavljaju kombinaciju oksida sa srednjim temperaturama topljenja i vatrostalnih oksida sa temperaturom topljenja do 2400 °C. Za povećanje sposobnosti uvara električnog luka pri MIG zavarivanju pogodnije su kombinacije oksida sa srednjim temperaturama topljenja i vatrostalnih oksida čije temperature topljenja prelaze 2500 °C.

Ključne riječi: dubina uvara, oksidni aktivirajući topitelj, pogonska energija, toplotna snaga električnog luka, temperature topljenja aktivatora

Abstract: This paper presents research results demonstrating that the steel refining grade has a significant effect on the penetration capability of the welding arc during TIG welding, whereas this effect is practically negligible in MIG welding. The influence of oxide-based fluxes on the arc penetration capability was also investigated. The results show that the effectiveness of these fluxes in improving weld penetration depends on the melting temperature of the activator and on the energy characteristics of the welding process, namely the arc heat power and the welding energy input (heat input to the welded joint). As these values increase, activation of the arc welding process requires the application of fluxes with higher melting temperatures. For TIG welding, within the optimum welding current range (up to 250 A), an increase in arc penetration is achieved by using activating fluxes consisting of combinations of medium-melting oxides and refractory oxides with melting temperatures up to 2400 °C. For improving arc penetration in MIG welding, combinations of medium-melting oxides and refractory oxides with melting temperatures exceeding 2500 °C are more suitable.

Key words: arc penetration, oxide activating fluxes, heat input, arc thermal power, melting temperature of the activator

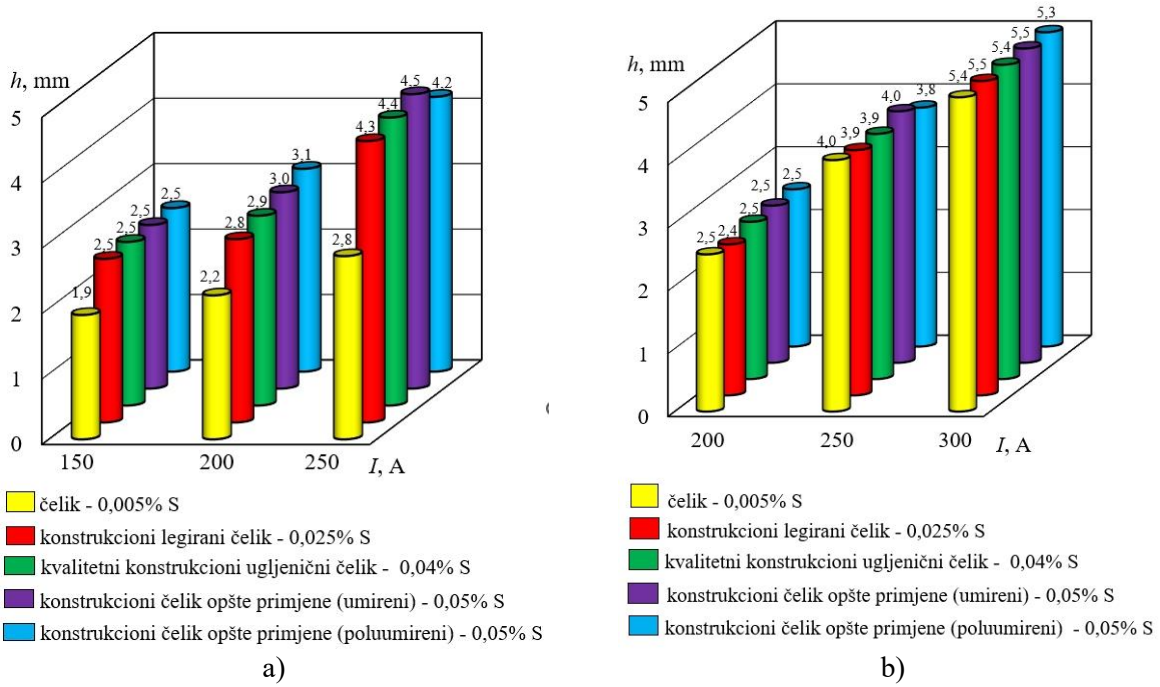
1. UVOD

Istraživanja i razvoj u oblasti aktivacije elektrolučnih procesa prvobitno su bila usmjerena na zavarivanje netopljivom volframovom elektrodom (TIG), dok su početkom devedesetih godina prošlog vijeka započeta istraživanja aktivacije električnog luka pri zavarivanju topljivom elektrodom u zaštitnim gasovima (MIG) [1].

I prije tog perioda, postojali su pokušaji primjene aktivacije električnog luka pri MIG zavarivanju. Međutim, postignuti rezultati nijesu ispunili očekivanja, iako je uočeno određeno povećanje dubine uvara. U to vrijeme, aktivacija električnog luka pri MIG zavarivanju prvenstveno se primjenjivala u cilju poboljšanja prenosa metala elektrode, smanjenja njenog rasprskavanja i unapređenja formiranja zavarenog spoja [2, 3]. Povećanje dubine uvara tada nije predstavljalo cilj istraživanja.

Rezultati istraživanja sprovedenih tokom devedesetih godina prošlog vijeka omogućili su definisanje najperspektivnijeg postupka MIG zavarivanja sa aspekta primjene aktivirajućih topitelja – AMIG postupka [1]. Pokazano je da aktivacija električnog luka omogućava ne samo povećanje dubine uvara, već i odustajanje od primjene zaštitnih gasnih smješa, pri čemu se kao zaštitni gas može koristiti samo argon.

Na slici 1 prikazani su rezultati koji daju procjenu uticaja stepena čistoće čelika na dubinu uvara (h) pri TIG (slika 1,a) i MIG (slika 1,b) zavarivanju. Izražen uticaj čistoće čelika na h pri TIG zavarivanju posledica je prisustva sumpora (S) u čeliku [4]. Sumpor predstavlja izuzetno površinski aktivan element, pa se njegov uticaj na h ispoljava već pri njegovom sadržaju od 0,01% [5].

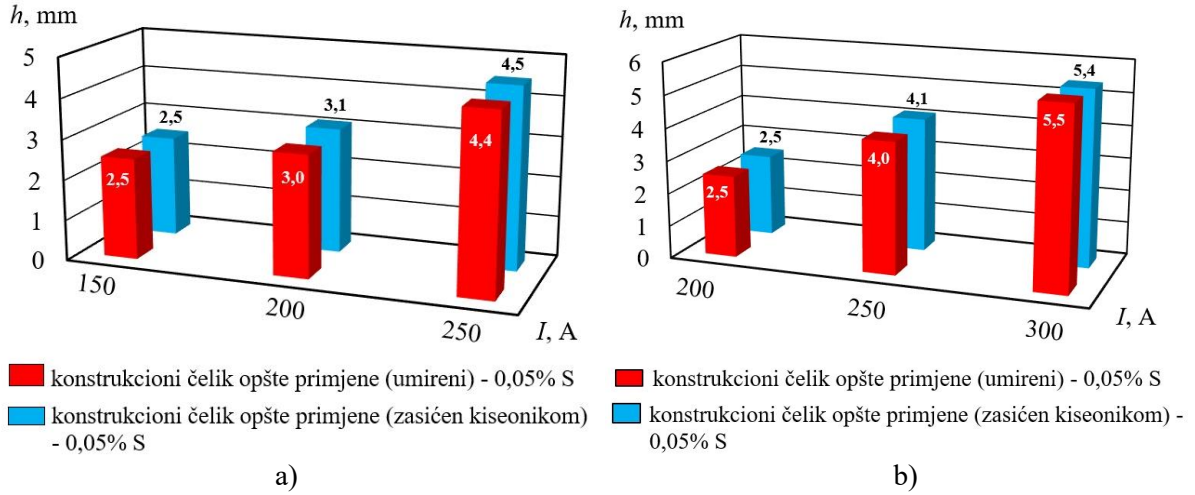


Slika 1. Uticaj čistoće čelika na dubinu uvara (h) pri: a) TIG zavarivanju; b) MIG zavarivanju

Karakteristično svojstvo MIG zavarivanja je da stepen čistoće osnovnog materijala (OM) nema značajan uticaj na h. Za razliku od TIG-a, pri MIG zavarivanju stepen čistoće čelika praktično ne utiče na h (slika 1,b). U čitavom opsegu struja zavarivanja, h kod rafinisanih čelika, kvalitetnih konstrukcionih legiranih čelika povećane čistoće,

konstrukcionih čelika običnog kvaliteta – umireni (dobro deoksidovan) i poluumireni (slabo deoksidovan) – praktično su jednake, pri čemu razlika ne prelazi 0,2 mm. Ovakvo ponašanje objašnjava se činjenicom da svaka legirana žica za MIG zavarivanje sadrži do 0,025% S, dok niskougljenične žice za zavarivanje sadrže S do 0,03% [6, 7]. Žice sa povećanim i visokim sadržajem ugljenika (C) sadrže S od 0,035 – 0,04% [7].

Kiseonik (O) je još jedan značajan površinski aktivan element koji je prisutan u konstrukcionim čelicima. Rezultati istraživanja zajedničkog uticaja S i O na *h* pri elektrolučnom TIG i MIG zavarivanju prikazani su na slici 2. U istraživanjima su korišćena dva tipa ugljeničnih konstrukcionih čelika običnog kvaliteta opšte namjene: umireni i poluumireni čelik sa sadržajem S do 0,05%. Rezultati ovih istraživanja pokazuju da je *h* pri TIG zavarivanju praktično jednaka kod oba tipa čelika (slika 2,a). Ista zakonitost utvrđena je i pri MIG zavarivanju (slika 2,b).



Slika 2. Uticaj primjesa S i O na *h* pri: a) TIG zavarivanju; b) MIG zavarivanju

Pojedinačni uticaj svakog od ovih elemenata pri TIG zavarivanju detaljno je analiziran u radu [4]. Kiseonik, prema intenzitetu uticaja na penetracionu sposobnost električnog luka, približno 1,5 puta nadmašuje S. Zbog relativno visokog sadržaja S u žicama za zavarivanje, kod MIG zavarivanja ovakav uticaj praktično se ne ispoljava. Pored toga, zaštitna atmosfera pri ovom postupku zavarivanja – bilo da se koristi čisti argon (Ar) ili njegove mješavine sa CO_2 i O_2 – uvijek sadrži dovoljnu količinu kiseonika. To objašnjava odsustvo značajnijeg uticaja stepena čistoće OM na *h*.

2. ANALIZA EKSPERIMENTALNIH REZULTATA

2.1. Uticaj energetskih parametara procesa zavarivanja na izbor topitelja

Dosadašnja iskustva [8–10] stečena u razvoju i primjeni aktivirajućih topitelja za TIG zavarivanje u zaštiti Ar pokazuju da se kao njihove aktivne komponente najčešće koriste hemijska jedinjenja koja sadrže fluor ili kiseonik. U literaturi [10] postoje i podaci o primjeni aktivirajućih topitelja na bazi hlorida, ali zbog njihove izražene toksičnosti u ovom istraživanju nisu razmatrani. Shodno tome, ispitivane su dvije grupe hemijskih jedinjenja: oksidi i fluoridi.

Rezultati istraživanja [11] pokazaju da pri zavarivanju ugljeničnih konstrukcionih čelika fluoridi, kao aktivatori, nemaju značajan uticaj na penetracionu sposobnost električnog luka. Zbog toga su oksidi izabrani kao osnova za razvoj aktivirajućih topitelja namijenjenih zavarivanju ugljeničnih čelika u zaštitnim gasovima.

Do danas su fizički i hemijski procesi u zoni električnog luka pri ATIG zavarivanju detaljno istraženi [12–14]. Međutim, gotovo da nema podataka o uticaju energetskih parametara procesa zavarivanja na aktivaciju električnog luka, prije svega: efektivna toplotne snage električnog luka (q, J), količine unijete toplote u zavareni spoj, pogonskoj energije zavarivanja (q/v_z) i termofizičkih svojstava oksida koji se koriste kao aktivatori.

Pogonska energije analitički se određuje izrazom:

$$q/v_z=(IU\eta)/v_z \qquad (1)$$

gde je: v_z, cm/min – brzina zavarivanja; I, A – struja zavarivanja; U, V – napon električnog luka; η – efektivni koeficijent korisnog dejstva električnog luka.

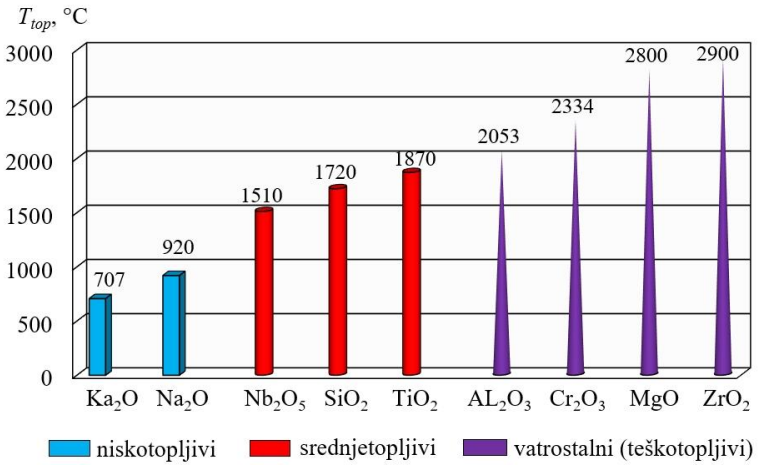
Razmatranje uticaja ovih parametara neophodno je iz više razloga. Prije svega, oksidi imaju različite temperature topljenja, što značajno utiče na penetracionu sposobnost električnog luka [11]. S druge strane, TIG i MIG zavarivanje predstavljaju izrazito termičke procese koje karakterišu: lokalno topljenje OM; formiranje kupke zavara i zagrijavanje okolnog metala na visoke temperature. Takvi uslovi neminovno utiču na efikasnost pojedinih oksida, aktivatora topitelja.

Pored toga, aktivacija električnog luka pri TIG i MIG zavarivanju odvija se u različitim uslovima, pri čemu se oba postupka razlikuju kako po tehnološkim karakteristikama, tako i po energetskim parametrima procesa. Uticaj ovih faktora na procese elektrolučnog zavarivanja do sada nije bio sistematski istražen. Iz navedenih razloga sprovedena su odgovarajuća eksperimentalna istraživanja primjenom oksida različitih temperatura topljenja.

Zavarivanje (ATIG i AMIG) je izvođeno u zaštiti Ar preko nanešenog sloja topitelja. Kao OM korišćen je niskolegirani konstrukcioni čelik 09G2S (GOST 5520) (S355JR EN), dok je kao dodatni materijal (DM) korišćena žica Sv-08G2S (GOST), prečnika 1,2 mm (tabela 1).

Tabela 1. Hemijski sastav korišćenih materijala [6, 7]

Materijal	Maseni udio elemenata, %									
	C	Si	Mn	max						
				Cr	Ni	Cu	P	S	As	N
OM - čelik 09G2S	≤0,12	0,5-0,8	1,3-1,7	0,30	0,30	0,30	0,035	0,040	0,08	0,008
DM – žica Sv-08G2S	0,5-0,11	1,8-2,10	0,7-0,95	0,20	0,25	-	0,025	0,030	-	-



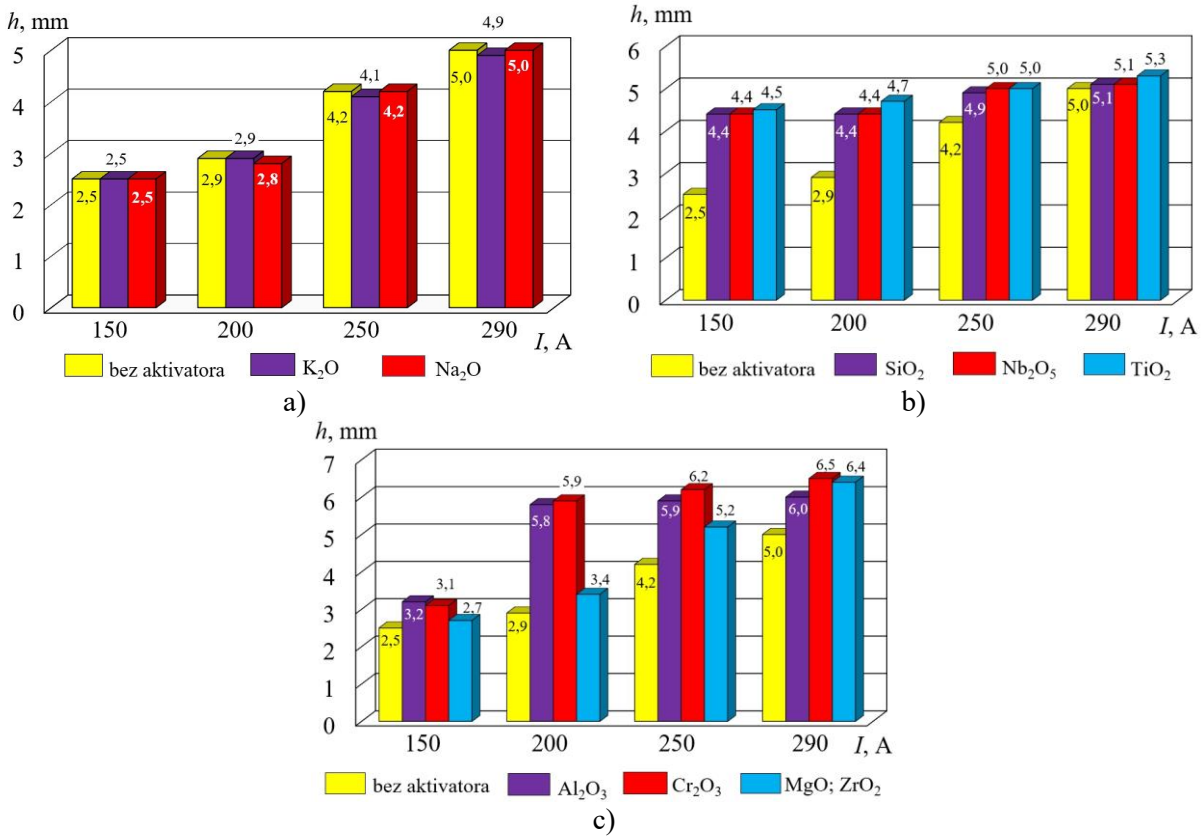
Slika 3. Hemijski sastav i temperature topljenja oksida koji se koriste kao aktivatori [15]

Za lakšu analizu rezultata istraživanja, korišćeni oksidi razvrstani su u tri grupe (slika 3) [15], pri čemu je kao referentna vrijednost uzeta temperatura topljenja ugljeničnih čelika (oko 1500 °C). Prvu grupu čine niskotopljivi oksidi K i Na, čije su temperature topljenja niže od temperature topljenja čelika. Drugoj grupi pripadaju oksidi sa srednjim temperaturama topljenja – oksidi Nb (niobijuma), Si i Ti – čije se temperature topljenja

kreću u opsegu od 1500 – 2000 °C. Treću grupu čine vatrostalni oksidi Al, Cr, Mg i Zr cirkonijuma), čije temperature topljenja prelaze 2000 °C i približavaju se vrijednosti od 3000 °C.

2.2. Uticaj oksida na *h* pri TIG zavarivanju

Rezultati istraživanja uticaja odabranih oksida na *h* pri TIG zavarivanju prikazani su na slici 4. Ispitivanja su pokazala da niskotopljivi oksidi K i Na praktično ne utiču na prodornu sposobnost električnog luka (slika 4,a).



Slika 4. Uticaj oksida na *h* pri TIG zavarivanju:
a) niskotopljivi oksidi; b) oksidi sa srednjim temperaturama topljenja; c) vatrostalni oksidi

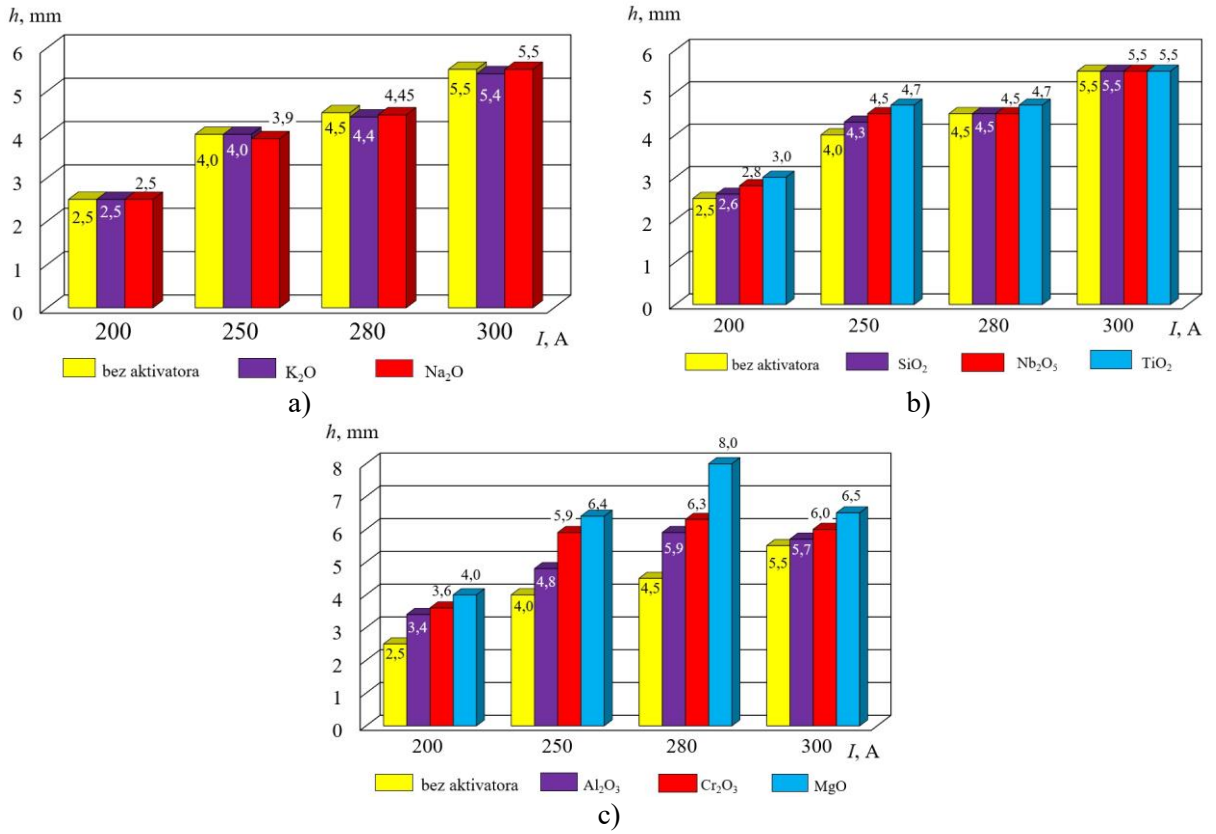
Nasuprot tome, oksidi Si, Nb i Ti, čije su temperature topljenja više od temperature topljenja čelika, ali ne prelaze 2000 °C, ispoljavaju izražen uticaj na prodornu sposobnost električnog luka (slika 4, b). Njihovo dejstvo je, međutim, najizraženije pri manjim vrijednostima struje zavarivanja, dok sa njenim povećanjem postepeno slabi. Na primer, SiO_2, čija je temperatura topljenja 1720 °C, pri struji zavarivanja od 150 A povećava dubinu uvara približno 80% u odnosu na zavarivanje bez aktivatora. Povećanjem struje zavarivanja na 200 A i 250 A intenzitet njegovog dejstva se smanjuje, tako da *h* raste približno 50%, odnosno 20%. Pri daljem povećanju struje zavarivanja na 290 A, uticaj SiO_2 gotovo potpuno nestaje. Slična zavisnost utvrđena je i za okside Nb_2O_5 i TiO_2.

Vatrostalni oksidi MgO i ZrO_2, čije su temperature topljenja bliske 3000 °C, pri manjim strujama zavarivanja (150 A) gotovo da ne utiču na *h* (slika 4,c). Za razliku od njih, oksidi Al_2O_3 i Cr_2O_3, čije temperature topljenja ne prelaze 2400 °C, povećavaju *h* za 28% odnosno 24%. Povećanjem struje zavarivanja na 200 A i 250 A, efikasnost Al_2O_3 i Cr_2O_3 naglo raste. U tim uslovima *h* je približno dvostruko veća nego pri zavarivanju bez aktivatora. Daljim povećanjem struje zavarivanja na 250 A i 290 A njihovo dejstvo slabi.

U opsegu struja zavarivanja od 150 - 250 A, vatrostalni oksidi MgO i ZrO_2 imaju relativno mali uticaj na *h*. Međutim, sa povećanjem struje zavarivanja njihov efekat postepeno raste: pri 150 A povećanje dubine uvara iznosi oko 8%; pri 250 A oko 24% i pri 290 A približno 28%. Može se pretpostaviti da bi pri daljem povećanju struje zavarivanja iznad 300 A efikasnost oksida Al i Cr nastavila da opada, dok bi uticaj oksida Mg i Zr postajao sve izraženiji. Međutim, za potvrdu ove pretpostavke bilo bi neophodno ispitivanje pri $I > 300$ A, a poznato je da se optimalni opseg struja zavarivanja pri TIG zavarivanju uglavnom kreće do 250 A, dok se zavarivanje pri strujama pri $I < 300$ A primjenjuje samo izuzetno. Na osnovu dobijenih rezultata može se zaključiti da je u optimalnom opsegu struja pri TIG zavarivanju za povećanje dubine uvara najpogodnije koristiti: pri strujama zavarivanja do 150 – 200 A okside sa srednjim temperaturama topljenja; pri strujama zavarivanja 200 – 250 A vatrostalne okside tipa Al_2O_3 i Cr_2O_3.

2.3. Uticaj oksida na *h* pri MIG zavarivanju

Dobijeni reziltati istraživanja uticaja oksida na *h* pri MIG zavarivanju prikazani su na slici 5. Prezentovani rezultati pokazuju da niskotopljivi oksidi nemaju nikakav uticaj na *h* (slika 5, a). Oksidi sa srednjim temperaturama topljenja pri MIG zavarivanja djeluju znatno slabije nego kod TIG postupka, povećavajući *h* svega 10 - 15% u odnosu na konvencionalno zavarivanje (slika 5, b).



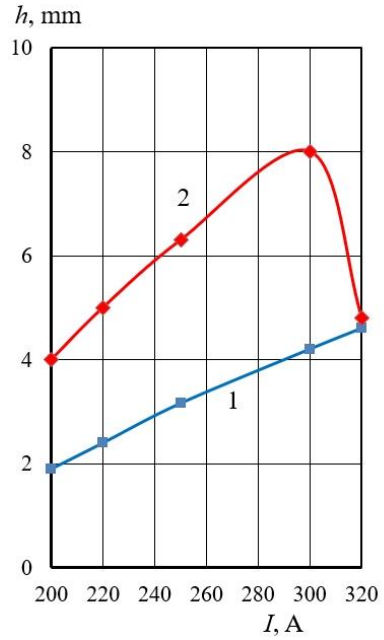
Slika 5. Uticaj oksida na *h* pri MIG zavarivanju:
a) niskotopljivi oksidi; b) oksidi sa srednjim temperaturama topljenja; c) vatrostalni oksidi

Najizraženiji efekat ostvaruju vatrostalni oksidi, prije svega MgO (slika 5, c). Primjena magnezijum-oksida pri $I < 280$ A povećava *h*, 60 - 78%. Nešto slabiji efekat ostvaruje Cr_2O_3, koji povećava penetracionu sposobnost električnog luka ~40%. Još manje dejstvo ima Al_2O_3, pri čemu se *h* povećava približno 30% u odnosu na zavarivanje bez aktivatora.

Međutim, povećanjem struje zavarivanja do 300 A, efikasnost svih vatrostalnih aktivatora naglo opada. U tim uslovima h se povećava svega oko 18%. Autori ovaj fenomen objašnjavaju dostizanjem kritične zakrivljenosti površine kupke zavara, pri kojoj aktivatori, odnosno aktivirajući topitelji, gube sposobnost da utiču na penetracionu sposobnost električnog luka.

Promjenom parametara režima zavarivanja, prvenstveno brzine zavarivanja i ugla nagiba gorionika, bilo je moguće produžiti efikasno dejstvo MgO do struje zavarivanja od 300 A (slika 6). Povećanjem struje zavarivanja na 320 A, njegov uticaj praktično potpuno nestaje. Kod manje vatrostalnih aktivatora granica efikasnog delovanja nalazi se već oko 280 A.

Ovakav stepen razlike između dejstva oksida sa srednjim temperaturama topljenja i vatrostalnih oksida pri TIG i MIG zavarivanju ukazuje na potrebu analize energetskih karakteristika oba postupka, pre svega toplotne snage električnog luka (1), koja predstavlja jedan od osnovnih parametara procesa zavarivanja.

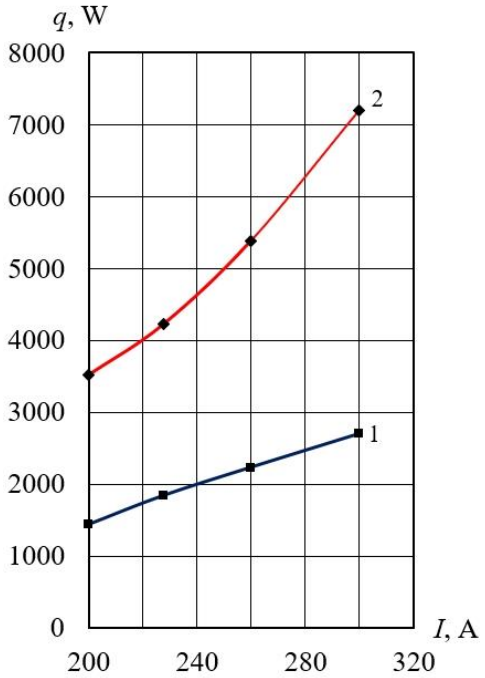


Slika 6. Uticaj MgO na h pri MIG zavarivanju u funkciji struje zavarivanja:
1 – bez aktivatora; 2 – primjena aktivatora

2.4. Uticaj efektivne toplotne snage električnog luka i pogonske energije zavarivanja

Na osnovu eksperimentalno određenih parametara režima zavarivanja i izraza (1) [16, 17] izračunata je efentivna toplotna snaga električnog luka (q) za oba postupka zavarivanja pri svim primjenjenim vrijednostima struje zavarivanja. Rezultati prikazani na slici 7 pokazuju da je pri MIG zavarivanju, pri istim vrijednostima struje zavarivanja, toplotna snaga električnog luka dva do tri puta veća nego pri TIG zavarivanju. Ovakva razlika posledica je nekoliko faktora. Prije svega, napon električnog luka (U) pri MIG zavarivanju, uprkos nastojanjima da se ograniči njegova vrijednost, približno je 1,5 – 2 puta veći nego kod TIG zavarivanja. Pored toga, efektivni koeficijent korisnog dejstva električnog luka (η) pri MIG zavarivanju veći je za 20 –35% u odnosu na TIG postupak [16, 17].

Iz toga proizlazi da je pri istim vrijednostima struje zavarivanja efektivna toplotna snaga električnog luka uvek veća kod MIG zavarivanja, pri čemu se razlika dodatno povećava sa porastom struje zavarivanja. Upravo zbog toga je pri ovom postupku za aktiviranje elektrolučnih procesa opravdano koristiti vatrostalnije okside, odnosno aktivatore sa višim temperaturama topljenja. Drugim rečima,



Slika 7. Toplotna snaga električnog luka pri

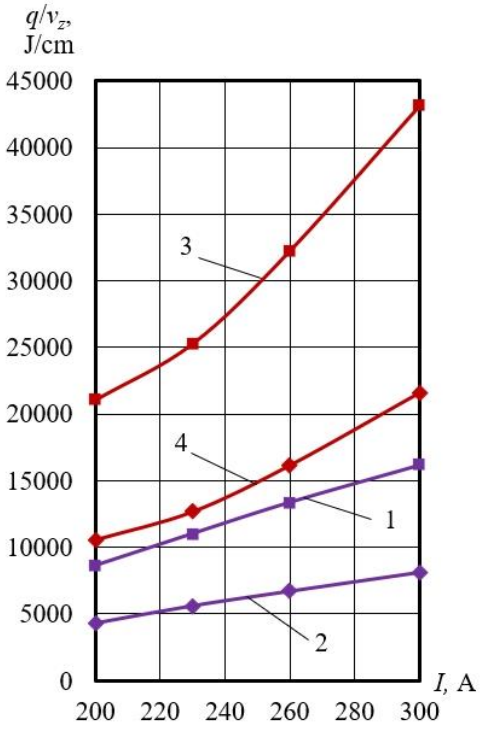
povećanjem toplotne snage električnog luka potrebno je koristiti okside čije su temperature topljenja sve više.

zavarivanju: 1 – TIG; 2 – MIG

Pored efektivne toplotne snage električnog luka, značajan pokazatelj energetske intenzivnosti procesa predstavlja i pogonska energija zavarivanaj (q/v_z), odnosno količina unešene toplote po jedinici dužine zavarenog spoja.

U praksi se TIG zavarivanje najčešće izvodi pri brzinama 10 – 20 cm/min što predstavlja optimalan opseg. Samo u pojedinim slučajevima brzina zavarivanja može biti povećana do 30 cm/min. Nasuprot tome, MIG zavarivanje uobičajeno se izvodi pri brzinama većim od 20 cm/min, koje mogu dostići 40 - 50 cm/min. Bez primjene posebnih tehnoloških postupaka TIG zavarivanje ne može ostvariti tako velike brzine, čak ni uz korišćenje aktivatora. Radi objektivnog poređenja potrebne pogonske energije oba postupka, autori su za MIG zavarivanje analizirali iste brzine koje su karakteristične za TIG postupak, odnosno 10 cm/min i 20 cm/min.

Krive prikazane na slici 8 predstavljaju zavisnost pogonske energije od struje zavarivanja pri TIG zavarivanju u zaštiti Ar i MIG zavarivanja na navedenim brzinama.



Slika 8. Pogonska energija zavarivanja:
TIG zavarivanje: 1 – v_z = 10 cm/min; 2 – v_z = 20 cm/min;
MIG zavarivanje: 3 – v_z = 10 cm/min; 4 – v_z = 20 cm/min

Rezultati jasno pokazuju da je pri istim strujama zavarivanja pogonska energija MIG zavarivanja veća od pogonska energije TIG postupka zavarivanja, bez obzira na brzinu zavarivanja. Eksperimentalnim putem utvrđeno je da pri TIG zavarivanju, u opsegu pogonskih energija koje odgovaraju krivima 1 i 2 (slika 8), oksidi sa srednjim temperaturama topljenja, kao i vatrostalni oksidi, efikasno povećavaju h u odgovarajućim optimalnim opsezima struja zavarivanja.

Nasuprot tome, pri MIG zavarivanju, u području pogonskih energija koje odgovaraju krivima 3 i 4 (slika 8), nijedan od ispitivanih oksida nije pokazao značajniji uticaj na povećanje vrijednosti h.

6. ZAKLJUČAK

Rezultati sprovedenih istraživanja pokazali su da stepen čistoće OM značajno utiče na penetracionu sposobnost električnog luka pri TIG zavarivanju, dok se kod MIG zavarivanja takav uticaj praktično ne ispoljava.

Utvrđeno je i da efikasnost kiseoničnih aktivatora zavisi od međusobnog odnosa između temperature topljenja aktivatora i energetskih karakteristika procesa zavarivanja, odnosno: toplotne snage električnog luka i količine unijete toplote u zavareni spoj (pogonska energije zavarivanja).

Sa povećanjem toplotne snage električnog luka i pogonska energije zavarivanja potrebno je primjenjivati aktivatore sa višim temperaturama topljenja. Na taj način moguće je odrediti optimalne grupe oksida za aktiviranje elektrolučnih procesa pri različitim postupcima elektrolučnog zavarivanja u zaštitnim gasovima, kao i za različite režime zavarivanja unutar svakog postupka.

Pri TIG zavarivanju, u optimalnom opsegu struje zavarivanja do 250 A, za povećanje dubine uvara preporučuje se primjena aktivirajućih topitelja koji predstavljaju kombinaciju: oksida sa srednjim temperaturama topljenja (SiO_2, Nb_2O_5, TiO_2) i vatrostalnih oksida sa temperaturama topljenja do približno 2400 °C.

Kod MIG zavarivanja optimalni rezultati postižu se primjenom kombinacije: oksida sa srednjim temperaturama topljenja i vatrostalnih oksida čije temperature topljenja prelaze 2500 °C.

Takođe, utvrđeno je da se pri TIG zavarivanju intenzitet djelovanja aktivatora povećava sa porastom struje zavarivanja do približno 200 A, nakon čega u opsegu 200 – 250 A postepeno opada.

Pri MIG zavarivanju aktivatori najefikasnije povećavaju dubinu uvara pri strujama zavarivanja do 280 A. Povećanje struje zavarivanja iznad ove vrijednosti dovodi do naglog smanjenja efikasnosti aktivirajućih topitelja, dok pri strujama zavarivanja većim od 300 A njihov uticaj na prodornu sposobnost električnog luka praktično potpuno prestaje.

LITERATURA

[1] Dydko, D. A., Savitskii, A. M., Savitskii, M. M., Consumable electrode welding in shielding gases using an activating flux, The Paton Welding Journal, 1996, 10, pp. 599–601.

[2] Воропай, Н. М., Бельфор, Л. М., Механизированная сварка в CO_2 активированной проволокой диаметром 3...4 мм, Автоматическая сварка, 1981, 10, pp. 51–54.

[3] Воропай, Н. М., Костенюк, Н. И., Влияние состава активированной проволоки на характеристики процесса сварки в углекислом газе, Автоматическая сварка, 1986, 7, pp. 2– 5.

[4] Savytsky, O. M., Savytsky, M. M., Bajic, D. Shkrabalyuk, Y., Influece of the impurities on the depth of penetration with carbon steel weldings, Metalurgija, 2014, 2, pp. 167–170.

[5] Макара, А. М., Савицкий, М. М., Кушниренко, Б. Н., и др., Влияние рафинирования на проплавление металла при дуговой сварке, Автоматическая сварка, 1977, 9, pp. 7–10.

[6] Патон, Б. Е., Технология электрической сварки плавлением, М.: Машиностроение, Москва, 1974.

[7] Сорокин, В. Г., Марочник сталей и сплавов, М.: Машиностроение, Москва, 1989.

[8] Паршин, С. Г., Состав и выбор пастообразных флюсов для дуговой сварки промышленного оборудования, Промышленная энергетика, 2000, 2. pp. 18 – 21.

[9] Паршин, С. Г., Техника применения химических активаторов дуги в пастообразном

и сухом состоянии, Энергосбережение Поволжья, 2001, 4. pp. 93 – 95.
[10] Паршин С.Г. Электродуговая сварка с применением активирующих флюсов. Тольятти.: Тольяттинский государственный университет, 2005.
[11] Savitskyi, O. M., Savitskyi, M. M., Bajic, D., Influence of thermophysical properties of materials on formation conditions and quality of welded joints, *Proceedings, 10. International scientific-professional conference SBW 2019 "Engineering technologies in manufacturing of welded constructions and product, SBW 2019"*, Slavonski Brod, October 16-18, 2019, pp. 27 – 36.
[12] Паршин, С. Г., Влияние активирующих флюсов на формирование сварных швов при ручной аргонодуговой сварке, Сварочное производство, 2000, 10, pp. 23 – 27.
[13] Патон, Б. Е., Савицький, М. М.. Савицький, О. М., Ващенко, В. М., Шкрабалюк, Ю. М., Пат. 74706 Україна, МПК B23K 9/095, B23K 9/12. Автоматизований зварювальний пристрій для одностороннього ATIG-зварювання неповоротних стиків труб; заявник і патентовласник інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України. № u 2012 04415; заявл. 09.04.2012; опубл. 12.11.2012, Бюл. №21.
[14] Savitskij, M. M., Savitskij, A. M., Bajic, D., Blecic, Z., Tehnologija elektrolučnog zavarivanja čelika korišćenjem aktivirajućih topitelja, *Međunarodna konferencija „Zavarivanje 2003",* Beograd, 2003.
[15] Самсонов, Г. В., Физико-химические свойства окислов: справочник, М.: Металлургия, Москва, 1978.
[16] Рыкалин, Н. Н., Пугин, А. И., Тепловые процессы при сварке плавлением. М.: Профиздат, Москва, 1959.
[17] Фролов, В. В., Теория сварочных процессов: учебник. М.: Высшая школа, Москва, 1988.