



Olivera Popović¹, Radica Prokić Cvetković¹, Uroš Lukić¹, Radomir Jovičić², Meri Burzić², Biljana Beljić³

EMISIJA DIMNIH GASOVA PRI ZAVARIVANJU METALNOM PUNJENOM I SAMOZAŠTITNOM ŽICOM GAS EMISSION DURING WELDING WITH METAL CORED AND SELF-SHIELDED WIRE

Originalni naučni rad / Original scientific paper

UDK / UDC:

Rad primljen / Paper received:

Jun 2014.

Rad je u izvornom obliku objavljen u Zborniku sa savetovanja „ZAVARIVANJE 2014“ održanog na Borskom jezeru 4-7. Juna 2014, gde je i izlagan.

Ključne reči: metalna punjena žica, samozaštitna žica, emisija, dimni gasovi, maksimalno dozvoljene koncentracije

Rezime: Punjene i samozaštitne žice su dodatni materijali koji se poslednjih godina sve više koriste zbog povećane produktivnosti i ekonomičnosti, boljeg kvaliteta spoja i lakšeg rada na terenu. S druge strane, jedan od glavnih nedostataka ovih žica je povećana količina dimnih gasova i nedovoljna istraženost njihove štetnosti, naročito u slučaju samozaštitne žice. Zbog toga se pred nove generacije ovih žica postavlja i ekološki zahtev smanjenja emisije dimnih gasova radi zaštite kako zdravija zavarivača, tako i okoline. U cilju istraživanja ovog uticaja, ploče čelika mikrolegiranog sa V, Nb i Ti su zavarene metalnom punjenom žicom u zaštitnoj atmosferi Ar+5.9%CO₂+1.1%O₂ i samozaštitnom žicom. Pri tome su izmerene vrednosti emisije gasova CO, CO₂ i SO₂, kao i ukupne prašine. Dobijene vrednosti su upoređene kako međusobno, tako i sa maksimalnim dozvoljenim koncentracijama prema važećem standardu. Utvrđeno je da samozaštitne žice, suprotno očekivanjima, ne pokazuju veću toksičnost u odnosu na metalne punjene žice.

1. UVOD

Zavarivanje je, kao jedna od osnovnih tehnologija spajanja materijala, prisutno u svim vrstama metalnih konstrukcija. Većina postupaka zavarivanja ima veliki uticaj kako na okolinu, tako i na zdravlje zavarivača, i taj uticaj se ne sme zanemariti. Pri zavarivanju se emituju hemijske štetnosti, poput dimnih gasova, dima i prašine. Sa razvojem novih postupaka zavarivanja i dodatnih materijala, raste i broj zavarivača izloženih dimu i gasovima, uprkos mehanizaciji i automatizaciji procesa; smatra se da je trenutno tri miliona ljudi direktno izloženo ovim štetnostima. Cilj svakog

Adresa autora / Author's address:

¹Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, Beograd

²Inovacioni centar Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, Kraljice Marije 16, Beograd

³Tehpro d.o.o, Lole Ribara 120, Beograd

Key words: metal cored wire, self-shielded wire, emission, fume gases, permissible exposure limits

Abstract: The use of flux cored and self-shielded wires as filler materials for gas metal arc welding is growing constantly due to increased productivity and efficiency, better weld quality and easier operation. On the other hand, one of the major drawbacks of these wires is the increased amount of fumes and gases and insufficient data of their harmful effects, especially in the case of self-shielded wire. Therefore, in now days, one of the most important requirements is environmentally and health request for decreased fume and gas emission. In this paper, the plates of steel micro alloyed with V, Nb and Ti, were welded with metal cored wire in shielded atmosphere of Ar+5.9%CO₂+1.1%O₂ and with self-shielded wire. The concentrations of emitted total dust and gases CO, CO₂ and SO₂ were measured. Obtained values were compared with permissible exposure limits defined by standard. It was estimated that self-shielded wire did not show higher toxicity compare to metal cored wire, what is in the contrast with previous studies.

unapređenja postupka zavarivanja prethodnih godina je bio bolji kvalitet spoja, kao i povećanje produktivnosti. U današnje vreme, pored ova dva zahteva, postavlja se i ekološki zahtev smanjenja emisije dimnih gasova i određivanje uticaja te emisije na okolinu [1]. Novi zakoni o zaštiti životne sredine, kako u Evropskoj uniji, tako i u svetu, su sve oštriji, i nameću potrebu za sve čistijim tehnologijama, što se odnosi i na zavarivanje.

Dim od zavarivanja je aerosol koji sadrži veoma male čestice formirane kroz kompleksne procese isparavanja-kondenzacije-oksidacije tokom



zavarivanja. Hemijski sastav čestica i količina dima zavisi od postupka zavarivanja, hemijskog sastava osnovnog i dodatnog materijala, zaštitnog gasa, prisustva prevlaka, kao i vremena i učestanosti izloženosti [2]. Oko 90-95% dima potiče od dodatnog materijala, a samo mali procenat od osnovnog materijala. Jedini slučaj kada je osnovni materijal značajni faktor u emisiji dima je ako on ili njegova površina sadrži veoma toksične elemente, poput olova, kadmijuma, hroma i sl. Pored ovih faktora, istraživanja su pokazala da na stvaranje dima utiče i vrsta i jačina struje, napon luka, prečnik žice, brzina zavarivanja [3].

Dim od zavarivanja dospeva u telo zavarivača najvećim delom udisanjem, zbog malog prečnika čestica (0.1-5 μ m), mada se može i progutati preko kontaminirane vode i hrane, ili se apsorbovati preko kože. Uticaj na zdravlje zavisi od specifičnih metala koji su prisutni u dimu, i kreće se od kratkotrajne slabosti, poput groznice, pa do dugotrajnog oštećenja pluća i neuroloških oboljenja, poput raka pluća i Parkinsonove bolesti [4].

Pored dima, pri zavarivanju se stvaraju i gasovi, i to ugljendioksid (CO_2), ugljenmonoksid (CO), azotni oksidi (NO_x), sumpordioksid (SO_2) i ozon (O_3).

Ugljendioksid (CO_2) je gas bez boje i mirisa, prisutan u atmosferi usled kruženja ugljenika u prirodi. Međutim, istovremeno je i gas sa efektom staklene bašte, koji ima veliku ulogu u globalnom zagrevanju i klimatskim promenama. Koncentracija ugljendioksida u atmosferi se sve više povećava usled povećanja korišćenja fosilnih goriva u industriji, transportu i sl. Razvijene zemlje su postavile cilj - smanjenje emisije ugljendioksida u narednom periodu, uglavnom kroz korišćenje alternativnih izvora energije i unapređenje postojećih tehnologija. Pored uticaja na klimatske promene, CO_2 je opasan po zdravlje čoveka. Duže izlaganje povećanim koncentracijama CO_2 izaziva ubrzano disanje, lupanje srca, osećaj iscrpljenosti i intenzivnu glavobolju, a u izuzetnim slučajevima i smrt. Pošto je CO_2 teži od vazduha, zadržava se u nižim delovima prostorije, pa na to treba obratiti posebnu pažnju.

Ugljenmonoksid (CO) je gas bez boje, mirisa i ukusa i ne može se osetiti čulima. Može nastati nepotpunim sagorevanjem obloge elektrode ili punjenja žice, ili korišćenjem i disocijacijom CO_2 . Izlaganje CO sprečava crvena krvna zrnca da prenose kiseonik do tkiva i organa, i dolazi do brzog gušenja. Zavarivanje po pravilu ne stvara visoke koncentracije ugljenmonoksida; do njih najčešće dolazi pri zavarivanju u skućenim i

zatvorenim prostorima. Opasnost od nedostatka kiseonika postoji i u slučaju zavarivanja sa inertnim zaštitnim gasom u zatvorenom prostoru.

Sumpordioksid (SO_2) spada u grupu veoma reaktivnih gasova. To je toksičan gas sa neprijatnim mirisom koji se stvara u različitim industrijskim procesima, pa tako i u zavarivanju. Najveći izvor emisije SO_2 je sagorevanje uglja u termoelektranama. Povezan je sa brojnim štetnim efektima na respiratorni sistem, i svrstan je u pet glavnih zagađivača. Dosadašnja istraživanja su pokazala da kratkotrajna izlaganja ovom gasu od 5 minuta do 24 sata povećavaju mogućnost respiratornih problema poput bronhitisa i astme.

Ozon i azotni oksidi nastaju interakcijom ultravioletnog zračenja (iz električnog luka) sa okolnim vazduhom. Ove komponente iritiraju oči, nos i grlo. Visoke koncentracije izazivaju nedostatak daha, bolove u grudima, tečnost u plućima i druge bolesti pluća.

2. METALNE PUNJENE I SAMOZAŠTITNE ŽICE

MIG/MAG postupak zavarivanja je poznat još od polovine dvadesetog veka, i smatra se da je danas zastupljen sa 70% u ukupnim zavarivačkim radovima, sa tendencijom daljeg rasta. Dodatni materijali za ovaj postupak mogu biti u obliku pune, punjene i samozaštitne žice. Punjene žice imaju jezgro koje sadrži legirajuće elemente, stabilizatore luka, dezoksidatore, denitratore i elemente za formiranje troske. Obezbeđuju bolje uvarivanje, ravnomerniji prenos dodatnog materijala, manje rasprskavanje i lakše zavarivanje u odnosu na punu žicu. U zavisnosti od hemijskog sastava jezgra, dele se na rutilne, bazne i metalne punjene žice. Metalne punjene žice predstavljaju noviju generaciju punjenih žica kojima se u punjenje dodaju metalne komponente, čime se istovremeno obezbeđuje visoka produktivnost prahom punjenih žica i velika brzina topljenja žice. Jezgra ovih žica sadrže Si, Mn, Al, Zr, Cr, Ni, Mo i V (kao legirajuće elemente, dezoksidatore i denitratore), dok dodatka za obrazovanje troske gotovo da i nema [5]. Ovi elementi su dodati u jezgro u obliku metalnog praha, metalnih oksida ili ferolegura. Pored ovih elemenata, u jezgru se nalaze Ca, Na, K i Ba, uglavnom u obliku karbonata i silikata. Punjenje omogućava prečišćavanje metala šava, dezoksidaciju, legiranje, veću stabilnost električnog luka, stvaranje kapi. Iako su po obliku i punjenju sličnije prahom punjenim žicama, po svojstvima su sličnije punim žicama.



Glavne karakteristike metalnih punjenih žica su velika brzina topljenja, manja poroznost šava, odlična zavarljivost, malo razbrizgavanje, pogodne za zavarivanje šavova sa više zavara popune jer nema čišćenja troske, veliki koeficijent iskorišćenja (90-98%). Jedna od značajnijih prednosti metalnih punjenih žica u odnosu na prah je značajno smanjena emisija dimnih gasova, čak 20-50% niža u odnosu na klasične punjene žice.

Samozaštitne žice su vrsta punjenih žica koje ne zahtevaju dodatnu zaštitu gasa i idealne su za primenu na otvorenom, jer oslobađaju veliku količinu dimnih gasova. Zona zavarivanja je zaštićena gasovima i metalnim dimom nastalim sagorevanjem i razlaganjem elemenata u jezgru žice. Mogućnost zavarivanja bez zaštitnog gasa je ostvarena dodavanjem odgovarajućih količina dezoksidatora i denitratora, pre svega Al, Ti i Zr, kao i Mn, Ni i Si. Posebna pažnja se posvećuje

smanjenju sadržaja formiranih nitrida dodavanjem aluminijuma, pa spojevi zavareni samozaštitnom žicom generalno imaju veći sadržaj aluminijuma, što se očekuje i u zavarivačkom dimu. Gasna zaštita se stvara dodavanjem nisko topljivih i lako isparljivih jodida, bromida, hlorida i fluorida alkalnih i zemnoalkalnih metala. Kod starijih generacija samozaštitnih žica zabeležena je povećana toksičnost emitovanih hemijskih štetnosti, pre svega heksavalentnog hroma, ali su kod novijih generacija ove emisije značajno smanjene.

3. EKSPERIMENT

Ploče mikrolegiranog čelika, klase P460NL1, debljine 14 mm, čiji je hemijski sastav dat u tabeli 1, su zavarene punjenim žicama. Kao dodatni materijali, korišćene su metalna punjena žica Filtub 12M (ϕ 1.2 mm) i samozaštitna žica Coreshield 8 (ϕ 1.6 mm), hemijskog sastava datog u tabeli 2.

Hemijski elementi [maseni %]										
C	Si	Mn	P	S	Al	Ni	Cr	V	Nb	Ti
0.15	0.38	1.70	0.015	0.0021	0.031	0.63	0.037	0.099	0.038	0.004

Tabela 1. Hemijski sastav osnovnog materijala

Dodatni materijali	Hemijski elementi [maseni %]					
	C	Si	Mn	P	S	Al
Filtub 12M-metalna punjena žica	0.05	0.55	1.40	-	-	-
Coreshield 8-samozaštitna žica	0.17	0.1	0.5	0.010	0.003	0.5

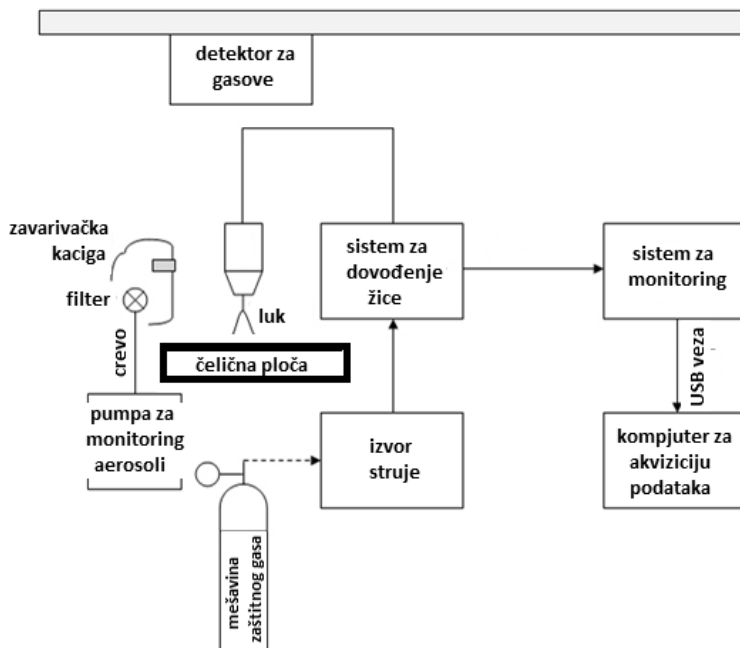
Tabela 2. Hemijski sastav dodatnih materijala

Zavarivanje je izvedeno pomoću uređaja za MIG/MAG zavarivanje Kemppi Fast MIG Pulse 350. Uređaj je snabdeven i sistemom za praćenje podataka u realnom vremenu, odnosno monitoring napona, jačine struje i brzine dovođenja žice tokom zavarivanja.

Kao zaštitna atmosfera za metalnu punjenu žicu korićena je smeša 93%Ar+5.9%CO₂+1.1%O₂ (smeša M33 prema EN 439), protoka 12 l/min za koreni prolaz i 18 l/min za prolaz popune.

Ploče su zavarene u pet prolaza: koreni prolaz i četiri prolaza popune, prosečnom strujom zavarivanja 120A za koreni prolaz i 220A za prolaze popune.

Kvalitativno i kvantitativno određivanje emisije dimnih gasova i prašine tokom zavarivanja određivano je na aparaturi prikazanoj na slici 1. Ugljendioksid, ugljenmonoksid i sumpordioksid mereni su direktno instrumentom-detektorom za više gasova, MSA AUER ORION. Tip detektora za ugljendioksid je infracrveni senzor, tip detektora za toksične gasove (ugljenmonoksid i sumpordioksid) je elektrohemijski senzor. Ukupna prašina je merena direktno sistemom za monitoring aerosoli, Casella Microdust Pro. Izloženost hemijskim štetnostima se uvek meri u zoni udisanja, pa je filter prikupljanje uzoraka postavljen na zaštitnu masku zavarivača, slika 2.



Slika 1. Aparatura za kvalitativno i kvantitativno određivanje emisije dimnih gasova i prašine tokom zavarivanja



Slika 2. Zavarivačka maska sa filterom za prikupljanje uzoraka

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Početni uslovi radne okoline u radionici, kao i maksimalno dozvoljene koncentracije detektovanih

gasova, prikazani su u tabeli 3, a izmerene vrednosti koncentracija ispitivanih hemijskih štetnosti i ukupne prašine pri zavarivanju metalnom punjenom i samozaštitnom žicom u tabeli 4.

Početne koncentracije ispitivanih hemijskih štetnosti, (mg/m ³)		Maksimalno dozvoljene koncentracije, (mg/m ³)
SO ₂	0.77	5
CO	1.6	55
CO ₂	910	9000
Ukupna prašina	0.937	15

Tabela 3. Početni uslovi radne okoline

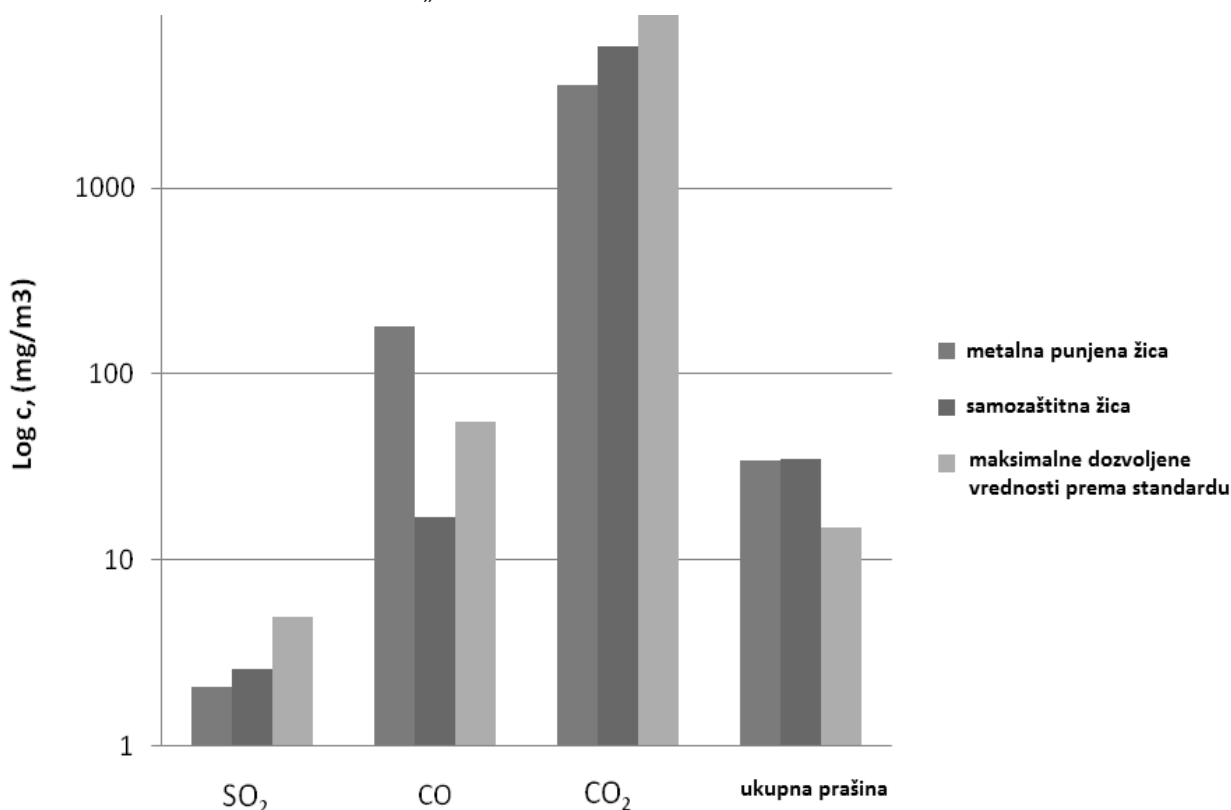


	Koncentracija gasova, mg/m ³			
	SO ₂	CO	CO ₂	Ukupna prašina
Filtub 12M- metalna punjena žica	2.09	181	3590	35.11
Coreshield 8-samozaštitna žica	2.62	17.2	5760	35.20

Tabela 4. Izmerene koncentracije gasova u dimu od zavarivanja i ukupne prašine

Izmerene vrednosti pri zavarivanju sa obe žice su poređene sa vrednostima propisanim nacionalnim standardom SRPS Z.BO.001/1:2007 „Maksimalno

dozvoljene koncentracije škodljivih gasova, para i aerosola u atmosferi radnih prostora i radilišta“, i prikazane su na slici 3.



Slika 3. Poređenje izmerenih koncentracija gasova u dimu od zavarivanja sa vrednostima prema standardu

Pri zavarivanju sa metalnom punjenom žicom, može se konstatovati da ukupna prašina izmerena pri zavarivanju (34.20 mg/m³) je veća od vrednosti dozvoljene standardom (15 mg/m³), kao i koncentracija CO (181 mg/m³ prema dozvoljenih 55 mg/m³). Pri zavarivanju samozaštitnom žicom, takođe se uočava da je ukupna prašina iznad vrednosti propisane standardom (35.20 mg/m³), dok su ostale vrednosti koncentracija hemijskih štetnosti u dimu od zavarivanja su u okviru dozvoljenih vrednosti.

Veća koncentracija CO₂ pri zavarivanju samozaštitnom žicom u odnosu na metalnu punjenu žicu je verovatno posledica povećanog

prisustva karbonata i celuloze u punjenju ovih žica, čijim sagorevanjem nastaje gasna zaštita.

Koncentracija emitovanog CO kod metalne punjene žice je deset puta veća u odnosu na samozaštitnu žicu i tri puta veća od maksimalno dozvoljene koncentracije. Visok nivo CO pri zavarivanju sa metalnom punjenom žicom je najverovatnije posledica nepotpunog sagorevanja punjenja, kao i razlaganja CO₂ koji je korišćen kao zaštitni gas, a kojeg nije bilo pri zavarivanju samozaštitnom žicom. Imajući u vidu toksičnost ugljenmonoksida i činjenicu da se pri zavarivanju uobičajeno ne stvara tako velika koncentracija CO, pojačana ventilacija i zaštitna oprema za disanje moraju biti obavezni.



Koncentracije SO₂ i ukupne prašine pri zavarivanju sa obe žice su približno iste. Pri tome treba imati u vidu da su koncentracije SO₂ ispod maksimalno dozvoljenih koncentracija, dok je koncentracija ukupne prašine u oba slučaja dva puta veća od dozvoljene.

5. ZAKLJUČAK

Dimni gasovi kao posledica elektrolučnog zavarivanja, predstavljaju nepoželjnu i štetnu emisiju u okolinu. Emisija dimnih gasova, njena količina i hemijski sastav, zavise od brojnih faktora. U ovom radu je istraživana uticaj vrste dodatnog materijala na emisiju dimnih gasova. Na osnovu sprovedenih istraživanja, mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Metalne punjene žice i samozaštitne žice su relativno novi dodatni materijali i o njihovoj upotrebi nema dovoljno eksperimentalnih podataka. Iako su skuplje od punih žica (20-25%), rad sa njima obezbeđuje stabilan luk, dobro uvarivanje i malo rasprskavanje. Imajući u vidu da dodatni materijal predstavlja 10-15% cene ukupnih troškova, opravdana je njihova upotreba u cilju dobijanja kvalitetnijeg zavarenog spoja.
- Nove generacije metalnih punjenih žica, zahvaljujući posebnoj tehnologiji, imaju značajno smanjenu emisiju dimnih gasova, čak 20-50% nižu u odnosu na klasične punjene žice. Eliminacija zaštitnog gasa kod samozaštitne žice kao njihova prednost je istovremeno i nedostatak u pogledu emisije dimnih gasova.
- Koncentracije emitovanih SO₂ i CO₂ za obe žice su ispod graničnih dozvoljenih vrednosti. Nešto veća koncentracija CO₂ kod samozaštitnih žica je verovatno posledica većeg prisustva karbonata i celuloze u punjenju, čijim sagorevanjem nastaje gasna zaštita.
- Koncentracija emitovanog CO kod punjenih žica je deset puta veća nego kod samozaštitnih žica i tri puta veća od maksimalno dozvoljene koncentracije. To je posledica nepotpunog sagorevanja, kao i razlaganja CO₂ kao komponente zaštitnog gasa. Imajući u vidu toksičnost CO, moraju se sprovesti odgovarajuće mere zaštite, poput poboljšane ventilacije i obaveznog nošenja zaštitne opreme.
- Na osnovu svega navedenog, može se konstatovati da sprovedena istraživanja nisu pokazala veću toksičnost samozaštitnih žica u

odnosu na metalne punjene žice. Naravno, dalja istraživanja se moraju fokusirati na detaljnijoj analizi drugih toksičnih elemenata za koje se pretpostavlja da su prisutni u obe žice.

ZAHVALNOST

Rad je proizašao iz istraživanja na projektu TR 35024 „Istraživanje mogućnosti unapređenja tehnologije zavarivanja mikrolegiranih čelika“, finansiranom od strane Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije.

LITERATURA

- [1] Myers, D., Metal cored wires:advanteges and disadvantages, *Welding journal* (2002) 81 (9), pp. 39-42
- [2] Lyttle, K., Optimizing consumable selection increases productivity, decreases fumes, *Gases&Welding distribution*, (2004) March/April: 45-7
- [3] Pires, I., Quintino, L., Miranda, R.M., Gomes, J.F.P., Fume emissions during gas metal arc welding, *Toxicological&Environmental Chemistry*, July-Sept. (2006) 88 (3), pp. 385-394
- [4] Pires, I., Quintino, L., Amaral, V., Rosado, T., Reduction of fume and gas emissions using innovative gas metal arc welding variants, *Int J Adv Manuf Technol* (2010) 50, pp. 557-567
- [5] Lakota, I., Bregant, M., Šolar, M., Metalne punjene žice, *Zavarivanje i zavarene konstrukcije*, (3/2009), pp. 112-118