

R. Begić, A. Imamović, R. Halilagić\*

# UTJECAJ ČESTICA ZAVARIVAČKOG DIMA NASTALIH ZAVARIVANJEM Cr-Ni RUTILNO OBLOŽENOM ELEKTRODOM NA ZDRAVLJE ZAVARIVAČA I ZAŠTITU

UDK 621.791.5.037:613.637.4

PRIMLJENO: 26.2.2013.

PRIHVAĆENO: 26.3.2013.

**SAŽETAK:** Zavarivački dimovi nastaju pri većini postupaka elektrolučnog zavarivanja. Najštetniji sastojci zavarivačkog dima kod zavarivanja s visokolegiranim Cr-Ni elektrodama su šesterovalentni krom (Cr VI), Ni, Mo, Mn, itd., a štetnim su se pokazali i mnogi drugi sastojci čestica zavarivačkog dima. Radi se o akutnim i kroničnim učincima na respiratorni sustav te kancerogenim utjecajima. Eksperimentalna istraživanja provedena su sa 6 laboratorijskih visokolegiranih Cr-Ni rutilnih elektroda izrađenih prema vlastitoj recepturi u laboratoriju tvornice za izradu dodatnog materijala za zavarivanje „ELEKTRODA“ Zagreb koje predstavljaju varijante komercijalne elektrode u klasi elektroda označenih prema EN, E 23 12 2 LR 12. Utvrđen je kvalitativni i kvantitativni kemijski sastav nastalih čestica dima tijekom REL postupka zavarivanja s navedenim elektrodama koji se izvodio u zavarivačkoj komori načinjenoj namjenski za tu svrhu prema normi EN ISO 15011. Analiza čestica dima provedena je s nekoliko spektroskopskih metoda, i to: AAS, SEM-EDS i XPS metodom u Metalurškom institutu „Kemal Kapetanović“, Zenica i Institutu za materijale i tehnologije IMT, Ljubljana. Nakon analize u skladu s dobivenim rezultatima za svaku eksperimentalnu elektrodu doneseni su zaključci o mogućnosti primjene. Drugo stajalište problematike zavarivačkih dimova podrazumijeva primjenu odgovarajućih mjera zaštite zavarivača i okoline u skladu s propisima o zaštiti i sigurnosti na radu u konkretnim uvjetima na radnom mjestu.

**Ključne riječi:** zavarivački dim, čestice, visokolegirane Cr-Ni elektrode, zaštita zdravlja

## UVOD

Zavarivački dimovi, koji se definiraju kao toksični metalni dimovi, su nerazdvojiva kemijska i fizička emisija koja se, u manjoj ili većoj mjeri, događa pri svim postupcima elektrolučnog zavarivanja (OSHA, 2003.). Epidemiološke studije su, kod zavarivanja nehrđajućih čelika elektrolučnim postupcima zavarivanja, pokazala-

le da su između ostalih, šesterovalentni krom i nikel kancerogeni i mutageni, mangan neurotoksičan, a molibden šteti jetri i bubrezima (Caster and Null, 1998.).

## Zdravstveni učinci kemijskih komponenti u zavarivačkom dimu

Otrovne tvari u dimnim plinovima pri zavarivanju se po jačini otrovnosti mogu podijeliti u tri skupine. Neke od njih i njihove maksimalno dopuštene koncentracije u prostoru navedene su u Tablici 1 (Zaštita na radu pri zavarivanju, 2006.).

\*Doc. dr. sc. Razija Begić (razijabegic@yahoo.co.uk), Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću, Irfana Ljubijankića bb, 77000 Bihać, BiH, prof. dr. Azra Imamović, Farmaceutski fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Zmaja od Bosne 8, 71000 Sarajevo, BiH, mr. sc. Ramo Halilagić, Tehnički fakultet, Univerzitet u Bihaću, Bihać, BiH.

**Tablica 1. Otrovne supstance u zavarivačkom dimu****Table 1. Hazardous substances in welding fume**

Otrovne supstance u zavarivačkom dimu		
I. skupina	II. skupina	III. skupina
jako otrovne supstance	otrovne supstance	štetne supstance
MDK* < 0,1 mg/m <sup>3</sup>	MDK 0,1 ÷ 3,0 mg/m <sup>3</sup>	MDK > 3,0 mg/m <sup>3</sup>
metalni oksidi i soli Cr, Ni, Mo, Co, V, Cd, Pb, Be, O <sub>3</sub> , N <sub>2</sub> , H <sub>4</sub> – hidrazin, itd.	Cu, As, Mn, Zn, F, Cl, Ba HCHO - formaldehid NaOH, KOH, CaO, COCl <sub>2</sub> – fosgen, itd.	U ovu skupinu pripadaju sve ostale supstance, npr: Si i silikati, Al, Fe, Al, Mg, Sn, Ti, W, itd.

\*MDK – maksimalno dopuštena koncentracija

Fundamentalni učinci opasnih tvari na ljudski organizam dijele se na 5 skupina:

- iritativni,
- otrovni,
- alergijski,
- kancerogeni i
- temperaturni učinci.

Svih pet navedenih učinaka na zdravlje mogu nastati kod zavarivača izloženih zavarivačkim dimovima koji se generiraju tijekom REL postupka zavarivanja. Štetni sastojci čestica zavarivačkog dima najviše su oksidi metala i drugi kemijski spojevi koji nastaju kemijskim reakcijama između kemijskih elemenata od kojih se sastoje osnovni i dodatni materijal. Štetni sastojci zavarivačkih dimova, kao i sve do sada ispitane i registrirane opasne supstance za zdravlje čovjeka iz bilo kojeg izvora, nalaze se na listi nacionalne sigurnosti MSDS (Material Safety Data Sheet) kojom se koriste instituti kod ocjene štetnosti na zdravlje. Lista MSDS formira se niz godina i još nije konačna (*MSDS, 2010.*).

### Ocjena utjecaja supstanci zavarivačkog dima na zdravlje zavarivača

Postupci zavarivanja i srodni postupci proizvode supstance koje zagađuju zrak i u koncentracijama iznad ograničavajućih vrijednosti mogu biti štetne za zdravlje. Zakoni koji se odnose na sigurnost i zdravlje navode da se nastali štetni utjecaji moraju ocjenjivati tako da se odre-

de mjere potrebne za zaštitu zdravlja. S obzirom da zavarivanje i srodni postupci sadrže velike količine štetnih supstanci, potrebna je evaluacija šteta prouzrokovanih njihovim kemijskim učincima. Postoje metode koje mogu pomoći tvrtkama da ocijene štetnost ovakvih supstanci za zdravlje ljudi i da se na osnovi tih zaključaka izaberu odgovarajuće zaštitne mjere.

Za ocjenu tipa i količine štetnih supstanci odlučujući čimbenici su procesi i materijali koji se upotrebljavaju, a štetnosti se klasificiraju prema:

- *procesima* (procesu koji oslobađaju plinove i čestice)
- *učincima* (učinci koji utječu na respiratorni trakt i pluća, toksični, toksično nadražujući i kancerogeni učinci)
- *čimbenicima radnog mjesta* (*Spiegel-Ciohanu, 2003.*).

Kemijski sastav određene štetne tvari uglavnom ovisi o kemijskom sastavu upotrebljivanih materijala i parametrima zavarivanja. S obzirom na rezultate dostupne iz studija o stvaranju štetnih supstanci tijekom zavarivanja i na osnovi utjecaja štetnih supstanci na ljudsko tijelo, predložena je procedura u koju su uključena navedena tri čimbenika za ocjenu štetnosti.

### Čimbenici procesa i učinaka

Čimbenici procesa i učinaka s jedne strane uzimaju u obzir stupanj emisije mg/s, a s druge strane učinke plinova i čestica na zdravlje. Čestice za razliku od plinova nastaju u skoro

svim procesima u kombinaciji s materijalima koji se zavaruju te je problem njihove prisutnosti kompleksan zbog količine i kemijskog sastava. S obzirom da isparavanja koja nastaju tijekom zavarivanja imaju složenu i različitu strukturu, kontrola na radnom mjestu provodi se na osnovi toksičnosti ključnih komponenti. Termin ključne komponente predstavlja supstancu koja dominira u mješavini. Ključne komponente za REL zavarivanje i neke osnovne materijale prikazane su u Tablici 2 (*Spiegel-Ciobanu, 2003.*).

Ključne komponente nastaju tijekom procesa zavarivanja i potječu od:

- dodatnog materijala (elektroda, obloga elektrode, punjena žica i žice),
- spojeva koji sadrže šesterovalentni krom, posebno su to komponente nastale kod REL i MAG zavarivanja s visokolegiranim Cr-Ni dodatnim materijalima,

- punjene žice koja sadrži Ni (formira se nikl oksid, nastao FCAW postupkom zavarivanja),
- isparavanja tijekom zavarivanja koja nastaju u formi željeznog oksida kod REL zavarivanja nelegiranim i niskolegiranim obloženim elektrodama,
- fluorida iz bazične obloge ili punjene žice,
- sastojaka koji sadrže barij, u većini slučajeva to su žice u postupcima zavarivanja koji razvijaju zaštitne plinove (*Spiegel-Ciobanu, 2003.*).

Isparavanja koja nastaju tijekom zavarivanja se prema specifičnim učincima individualnih komponenti na ljudsko tijelo mogu podijeliti u 3 klase. Ova klasifikacija u kombinaciji s vrstama primijenjene ventilacije prikazana je u Tablici 3.

**Tablica 2. Ključne komponente kod REL zavarivanja**

**Table 2. Key components for MMAW welding**

Proces	Metal	Ključna komponenta
REL zavarivanje	Nelegirani ili niskolegirani čelik <sup>3)</sup>	Zavarivački dimovi <sup>1)</sup>
	Krom nikl čelik sa $\leq 20\%$ Cr i $\leq 30\%$ Ni	Krom VI sastojci
	Nikl, nikl legure sa $> 30\%$ Ni	Nikl oksid, bakar oksid <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Ograničenja za izlaganje respiratornih organa primjenjuju se kao limiti izlaganja zav. dimu.  
<sup>2)</sup> Samo za određene legure nikla s bakrom uzimaju se vrijednosti isparavanja bakra.  
<sup>3)</sup> Sadržaj legirajućih elemenata treba biti  $< 5\%$ .

**Tablica 3. Podjela isparavanja generiranih u procesu zavarivanja**

**Table 3. The division of fumes generated during welding process**

Stupanj emisije mg/s	Postupak zavarivanja	Klase zavarivačkog dima		
		Klase učinka zavarivačkog dima		
		A	B	C
<b>1. stupanj</b> nizak stupanj emisije $< 1$	TIG EPP	A1-E/T	B1-E/T	C1-E/T
<b>2. stupanj</b> srednji stupanj emisije $(1 \div 2)$	lasersko	A2-E	B2-E	C2-E
<b>3. stupanj</b> visok stupanj emisije $> (2 \div 25)$	REL MAG	A3-E	B3-E	C3-E
<b>4. stupanj</b> vrlo visok stupanj emisije $> 25$		A4-E	B4-E	C4-E

T - ventilacija u prostoriji, E - ventilacija na izvoru nastanka

*Učinci klase A:* su isparavanja bez toksičnih supstanci koja utječu na respiratorni trakt i pluća unutar vrijednosti MDK, npr. željezni oksid.

*Učinci klase B:* su isparavanja s toksičnim ili toksično iritirajućim supstancama unutar vrijednosti MDK, npr. fluoridi, mangan oksid, bakar oksid, krom(III), itd.

*Učinci klase C:* su isparavanja s kancerogenim supstancama s graničnim vrijednostima, jedna od njih je prosječna vrijednost izloženosti TRK (Technische Richtkonzentration). Neki od njih su krom (VI) spojevi, nikl oksidi itd.

S obzirom na *stupanj emisije čestica (mg/s) i njihove učinke*, procesi zavarivanja mogu se podijeliti na 4 klase. Čimbenici klase zavarivačkih dimova poredani su odozgo prema dolje po štetnosti ujecaja na zdravlje:

- klasa A1 predstavlja nisku razinu štetnosti za zdravlje,
- klase A2, B1, C1 predstavljaju srednju razinu štetnosti za zdravlje,
- klase A3, B2, B3, C2, C3 predstavljaju visoku razinu štetnosti za zdravlje,
- klase A4, B4, C4 predstavljaju veoma visoku razinu štetnosti za zdravlje (*Spiegel-Ciobanu, 2003., 2006.*).

Kad se radi s visokolegiranim elektrodama legiranim kromom i/ili niklom bez adekvatnih mjera za prozračivanje prostora u kojem se izvodi zavarivanje, uvijek se može očekivati povećana količina krom (VI) spojeva i nikl oksida, što ovisi o kombinaciji procesa i materijala (REL zavarivanje s visokolegiranim obloženim elektrodama, MIG zavarivanje sa žicom koja sadrži najviše Ni, i sl.). Dakle, visoka štetnost za zdravlje nastaje od isparavanja koja se generiraju tijekom zavarivanja i kada njihove koncentracije prelaze dopuštene granice izlaganja. Procjena se može provesti na osnovi mjerenja na radnom mjestu i mjerenja prikupljenih iz ranijih iskustava i studija.

## Čimbenici radnog mjesta

Ključne varijable za evaluaciju štetnosti učinaka radnog prostora na zdravlje su: veličina prostora, prozračnost, pozicija glave i tijela zavarivača. Učinkovito izvlačenje štetnih supstanci na izvoru njihovog nastajanja može bitno smanjiti štetnost za zdravlje izlaganju krom (VI) spojevima prilikom zavarivanja REL postupkom s visokolegiranim elektrodama. Koncentracija krom (VI) spojeva u zoni zavarivanja će tada biti ispod granične vrijednosti.

## EKSPERIMENT

Za ispitivanje zavarivačkog dima generiranog tijekom zavarivanja načinjeno je 6 eksperimentalnih visokolegiranih Cr-Ni elektroda promjera 3,25 mm. Kemijski sastav i receptura obloge elektrode su poslovna tajna svakog proizvođača dodatnog materijala te je zbog toga dana samo oznaka klase elektroda prema EN, E 23 12 2 LR 12.

Dizajniranje eksperimentalnih elektroda postavljeno je tako da se mijenja sadržaj kroma u elektrodnoj žici i u oblozi elektroda. Upotrijebljene su dvije vrste visokolegiranih žica, jedna s približno 18 % Cr i druga s približno 20 % Cr, a sadržaj kroma u oblozi elektrode je mijenjan približno od 18 % do 30 %. Elektrode A, E i C u elektrodnoj žici imaju 18,2 % Cr, a elektrode B, F i D 19,6 % Cr. Svaka elektroda u oblozi ima drugačiji sadržaj Cr: elektroda A ima 20,8 % Cr u oblozi, elektroda E 22,8 % Cr, elektroda C 29,4 % Cr, elektroda B 18,1 % Cr, elektroda F 20 % Cr i elektroda D 27,4 % Cr. Detaljni kemijski sastav elektrode i njezinih komponenti (elektrodna žica i obloga) za najutjecajnije kemijske elemente, pored Cr, za Mn, Mo i Ni prikazan je u doktorskoj disertaciji (*Begić, 2011.*). Zavarivanje je provedeno u zavarivačkoj komori REL postupkom zavarivanja, pri čemu su uzeti uzorci zavarivačkih čestica. Zavarivačka komora napravljena je prema normi EN ISO 1501 (*2002.*) i smještena u laboratoriju na Mašinskom fakultetu u Mostaru. Fotografija zavarivačke komore i zavarivača tijekom rada prikazana je na slici 1.



Slika 1. Zavarivačka komora  
Figure 1. Welding chamber

Uzorkovanje je obavljeno prema uputama iz navedene norme. Za jedan uzorak potrošene su tri elektrode tako da je težina krutih čestica jednog uzorka iznosila oko 0,35 g. Osnovni materijal je bio čelik S235JRG2. Jačina struje zavarivanja bila je 95 A. Upotrijebljen je aparat s istosmjernom strujom (DC), elektroda je priključena na (+) pol iz razloga što se na (+) polu razvija viša temperatura, čime je smanjena temperatura topljenja osnovnog materijala koji je za eksperimente trebao imati što manji utjecaj

Tablica 4. Srednje vrijednosti sadržaja Mn, Mo, Cr i Ni u česticama dima

Table 4. Mean values of Mn, Mo, Cr and Ni content in fume particles

Elektrode	Srednji sadržaj kemijskih elemenata u česticama dima u postotnim masenim udjelima (w %)			
	Mn	Mo	Cr	Ni
A	2,85	0,09	5,91	0,43
B	2,38	0,23	5,09	0,40
C	2,34	0,06	5,58	0,28
D	2,45	0,14	5,18	0,26
E	2,50	0,08	5,06	0,35
F	2,27	0,20	5,01	0,30

na kemijski sastav zavarivačkog dima, kako su ispitivanja usmjerena na isparavanja nastala iz elektrode. Kemijska analiza prikupljenih uzoraka je rađena sa tri metode, i to: AAS (Atomic absorption spectrometry), SEM-EDS (Scanning Electron Microscopy - Energy Dispersive Spectrometry) i XPS (x-ray photoelectron spectrometry) metodom u Institutu za materijale i tehnologije IMT, Ljubljana i u Metalurškom institutu „Kemal Kapetanović“, Zenica.

## REZULTATI I RASPRAVA

Od velikog broja eksperimentalnih rezultata postignutih tijekom izrade doktorske disertacije za prezentaciju u ovome radu prikazani su srednji postotni maseni udjeli (w %) najštetnijih komponenti (Mn, Mo, Cr i Ni) u česticama zavarivačkog dima za 6 eksperimentalnih elektroda označenih sa A, B, C, D, E i F (Tablica 4). Osim navedenih štetnih komponenti, u česticama dima prisutni su i mnogobrojni drugi sastojci koji također negativno utječu na zdravlje zavarivača i okolinu. Cilj istraživanja bio je smanjenje sadržaja štetnih komponenti u radnom okruženju preko udjela kemijskih sastojaka obloge elektrode. Bitna je i produkcija zavarivačkog dima koja također ovisi o više čimbenika (parametri zavarivanja, osnovni i dodatni materijal itd.). Kvaliteta zavarenog spoja i sigurnost konstrukcije su ograničenja koja ne dopuštaju da se previše utječe na kemijski sastav dodatnog materijala (obloga i žica elektrode), zavarivačke parametre (struja, napon), te je stoga potrebno osigurati kvalitetnu osobnu zaštitu zavarivača i ventilaciju radnog prostora.

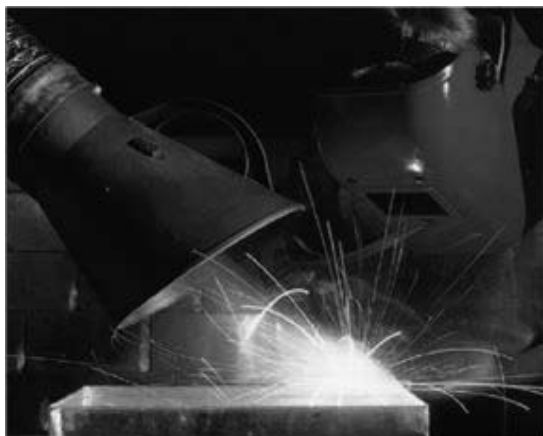
Sadržaj Mn u česticama dima kreće se od 2,27 % (elektroda F) do 2,85 % (elektroda A). Sadržaj Mo u česticama dima kreće se od 0,06 % (elektroda C) do 0,23 % (elektroda B). Sadržaj Cr u česticama dima kreće se od 5,01 % (elektroda E) do 5,91 % (elektroda A).

Sadržaj Ni u česticama dima kreće se od 0,28 % (elektroda C) do 0,43 % (elektroda A).

Na slici 2 prikazana su dva primjera lokalne ventilacije na mjestu izvora. Ovakav način odvođenja isparavanja s izvora nastanka predstavlja jedan od najboljih načina zaštite zdravlja zavarivača. Najveća koncentracija isparavanja je upravo na mjestu nastanka.

### Određivanje ključnih komponenti u zavarivačkom dimu

U radu je prikazan način određivanja ključnih komponenti u česticama dima za elektrodu A. Da bi se izračunala koncentracija pojedinih komponenti zavarivačkog dima u radnom prostoru, potrebno je poznavati dopuštene granične vrijednosti izlaganja za te komponente kao i postotne količine nastalih komponenti. Svaka pojedina komponenta zavarivačkog dima ima graničnu vrijednost dopuštenog izlaganja koja je određena na osnovi štetnosti za ljudski organizam koja se ne smije prijeći kao što ni ukupna količina štetnih sastojaka u zavarivačkom dimu ne smije prijeći gornju granicu od 3 mg/m<sup>3</sup> (*Zaštita na radu pri zavarivanju, 2006.*). Postot-



ni udio pojedinih komponenti u zavarivačkom dimu računa se prema izrazu 1 (*NIOSH, 1970., Begić, 2011.*):

$$K(x) = \frac{L \times X}{100} \quad \text{mg/m}^3 \quad [1]$$

gdje je:

- K(x) - koncentracija komponente u zavarivačkom dimu (mg/m<sup>3</sup>),
- L - dopuštena granična vrijednost izlaganja komponente ili dopuštena ukupna emisija dima (mg/m<sup>3</sup>) i
- X - količina nastale komponente u dimu (%).

### Granične vrijednosti Cr, Cr(VI), Cr(III), Mn, Mo i Ni u česticama

Kako u literaturi i praktičnoj primjeni ima velik broj različitih vrsta graničnih vrijednosti koje su različite u pojedinim državama, za primjer je uzeta prosječna vrijednost izloženosti na temelju 8 sati rada na dan ili 40 sati tjednog rasporeda rada za razdoblje izloženosti više od prosjeka životnog vijeka bez negativnih zdravstvenih učinaka, TLV (Threshold Limit Value). Kao primjer dani su postotni sadržaji navedenih komponenti za elektrodu A, kao i njihov iznos u mg/m<sup>3</sup>, kako bi se dobiveni rezultati kemijske analize mogli usporediti s graničnom vrijednošću izlaganja TLV (Tablica 5).



Slika 2. Izvedba ventilacije na mjestu izvora (lokalna ventilacija)  
Figure 2. Exhaust ventilation at source (local ventilation)

**Tablica 5. Granične i stvarne vrijednosti štetnih supstanci u česticama dima****Table 5. Limiting and actual values of harmful substances in fume particles**

Štetna supstanca elektroda A	Maksimalni sadržaj supstance		Granična vrijednost TLV
	w %	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>
Cr	5,91	0,18	0,50
Cr(III)	0,37	0,01	0,50
Cr(VI)	5,63	0,14	0,05
Mn	2,85	0,09	0,20
Mo	0,23	0,06	0,02
Ni	0,43	0,11	0,20
		Σ 0,561	

Na osnovi dobivenih kvantitativnih sadržaja štetnih supstanci (Cr, Cr(VI), Cr(III), Mn i Mo), utvrđeno je da elektroda A generira veću količinu Cr(VI) u vrijednosti 0,14 mg/m<sup>3</sup>, što je više od dopuštene granične vrijednosti izlaganja koja iznosi 0,05 mg/m<sup>3</sup> (Begić, 2011.). Sadržaji ostalih supstanci, Cr, Cr(III), Mn, Mo i Ni su manji od dopuštenih (Tablica 5).

## ZAKLJUČAK

Izlaganje zavarivačkom dimu je specifično. Ne postoji niti jedan materijal od bilo kojeg izvora koji se može direktno usporediti s kompozicijom i strukturom isparavanja proizvedenog zavarivanjem. Kontrola izlaganja isparavanjima je važno pitanje za zdravlje i sigurnost na radnom mjestu. Istraživanja visokolegiranih Cr-Ni elektroda pokazala su da se kod obloženih elektroda najviše štetnih supstanci generira iz obloge elektrode. S tog stajališta bi se s promjenom kemijskog sastava obloge elektrode moglo utjecati na smanjenje količine i vrste štetnih supstanci u česticama zavarivačkog dima (Begić, 2011.). Eksperimentalni rad s dodatnim materijalom (u ovom radu s obloženim elektrodama) iziskuje složenu opremu, a rezultati ispitivanja mijenjaju se od elektrode do elektrode u ovisnosti o kemijskom sastavu. Na osnovi rezultata ispitivanja elektrode klase E 23 12 2 LR 12 neki od načelno donesenih zaključaka su: rutilni karakter obloge elektrode za razliku

od bazičnog karaktera generira manju količinu zavarivačkog dima, pa je preporuka da se upotrebljavaju elektrode s rutilnom oblogom gdje je to moguće u skladu s drugim zahtjevima.

Produkcija zavarivačkog dima povećava se s porastom jačine struje zavarivanja, pa je preporuka da se koriste manje jačine struje zavarivanja ako postoji mogućnost takvog izbora. Veća masa obloge elektrode daje i veću količinu čestica zavarivačkog dima.

Veća količina zavarivačkog dima ne znači i veću opasnost za zdravlje zavarivača. Pravu opasnost predstavlja nedopuštena količina štetnih sastojaka u česticama zavarivačkog dima, što se može utvrditi kemijskom analizom. Osim što elektroda mora zadovoljiti ekološke kriterije zaštite zavarivača i okoline, za njezinu komercijalnu upotrebu najvažnije su zavarivačke karakteristike koje određuju kvalitetu zavarenog spoja. Elektrode C i D ne daju zadovoljavajuću mikrostrukturu zavarenog spoja (grubo zrnata stubasta mikrostruktura, ferit po granicama primarnih austenitnih zrna te beinit i martenzit), te kao takve nisu upotrebljive, bez obzira što daju povoljan kemijski sastav čistog metala zavara.

Funkcionalna ovisnost Cr u česticama zavarivačkog dima u odnosu na sadržaj Cr u oblozi elektrode pokazala je da dodavanjem Cr u oblogu elektrode u vrijednosti od 23 % do 24 % ne dolazi do značajnijeg povećanja sadržaja Cr u zavarivačkom dimu. Međutim, iznad ovih vrijednosti sadržaj Cr u česticama dima ima znatno izraženiji trend rasta, te ne bi trebalo ići na povećanje sadržaja Cr u oblozi preko 24 %.

Ako se promatraju sva navedena stajališta koja su analizirana na osnovi dobivenih rezultata u radu, optimalni izbor bila bi elektroda s povećanim stupnjem legiranja žičane jezgre (konkretno žica sa 19,6 % Cr) i relativno nižim stupnjem legiranja preko obloge elektrode, (približno 20 % Cr).

Drugi način smanjenja štetnog utjecaja na zdravlje zavarivača i okoline je primjena osobne zaštite zavarivača, primjena lokalne ventilacije na mjestu nastanka i primjena ventilacije radnog

prostora i okoline kroz sustav filtriranja. Zavod za javno zdravstvo u zakonski propisanom razdoblju provodi mjerenje koncentracija štetnih plinova u zoni disanja zavarivača, radnom prostoru i okolini kako bi se u skladu sa stupnjem emisije čestica i učincima na zdravlje mogle poduzeti odgovarajuće mjere zaštite. Štete nanese zdravlju zavarivača izloženih prekomjernim dozama ovakvih štetnih tvari i dugoročni učinci na zdravlje zbog dugotrajnog izlaganja iziskuju velike troškove za osiguravajuća društva ako se ocijene kao takve. Osnovni problem dobre zaštite na radu je ekonomske prirode i spremnost poslodavaca da ulože sredstva u ovaj najvažniji segment za zdravlje radnika, što ovisi o njima samima, kao i o poštovanju zakonskih propisa o štetnim emisijama. Svako smanjenje štetnih emisija pridonosi ukupnom smanjenju štetnih emisija u okolinu, što bi trebao biti zadatak svih subjekata u društvenoj zajednici.

## LITERATURA

*BG Rules for Occupational Health and Safety, BGR 220*, 2006.

Begić, R.: *Istraživanje optimalnog tehnološkog sastava obloge elektrode sa aspekta minimiziranja zavarivačkog dima (doktorski rad)*, Tehnički fakultet Bihać, 2011.

Castner, H. R. and Null, C. J.: Chromium, Nickel and Manganese in Shipyard Welding Fumes, *Welding Research Supplement*, 1998.

*EN ISO 15011-1*, Health and Safety in welding and allied processes-Laboratory method for sampling fume and gases generated by arc welding-part 1:determination of emission rate sampling for analysis of particulate fume, 2002.

Fiore, S. R.: Reducing Exposure to Hexavalent Chromium in Welding Fumes, *Welding Journal*, 87-s, kolovoz, 2006.

Jenkins, N. T. and Eagar, T. W.: Chemical Analysis of Welding Fume Particles, *Supplement to the welding journal*, 2005.

Jenkins, N.T., Pierce, W. M.–G. and Eagar, T. W.: Particle Size Distribution of Gas Metal and Flux Cored Arc Welding Fumes, *Welding research*, 156-s, 2005.

*Manual Metal Arc Welding*, Aachen ISF, 2005.

Matusik, J., Wycislik, A.: Methodology and laboratory Testing Stands For Determination The Welding Fumes Due To Arc Welding of Steels, *Journal of engineering annals of th Faculty of engineering hunedoara*, 1/2009.

*MSDS*, National Standard, Stainless steel welding wire, 2010.

*OSHA Occupational Safety & Health Administration*, DC 20210, Washington, 2003.

*Recommendations for a standard NIOSH*, 1970.

Robert, W. Messler, Jr.: Principles of welding; *Materials and Science and Engineering Department Rensselaer Politechnic Institute Troy, NY*; WILEY-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Weinheim, 2004.

Sowards, J.W., Lippold, J.C., Dickinson, D. W. and Ramirez, A.J.: Characterization of Welding Fume from SMAW Electrodes –Part I, *Welding research*, 106-s, 2008.

Spiegel-Ciobanu, V.E.: Norddeutsche Metall-Berzsfgenossenschaft, Germany, Evaluation of Health Hazard Caused by Hazardous Substances in Welding, *Welding Research, ASR International Conference*, Bucharest, 2003.

Spiegel-Ciobanu, V.E.: Schadstoffe beim Schweißen und bei verwanten Verfahren, *BG-Information*, 2007.

Spiegel-Ciobanu, V.E.: Die Entstehung von ultrafeinen Partikeln beim Schweißen und bei verwanten Verfahren, Norddeutsche Metall-Berufsgenossenschaft, *Hannover BIA-Report*, 7/2003.

Spiegel-Ciobanu, V.E.: Von „ Schweißbrauche“ zu „ Schweißtechnische Arbeiten“ Die ne-



uen technischen regeln für Gefahrstoffe, Hannover TRGS 528TÜ Bd.50, 9/2009.

Spiegel-Ciobanu, V.E.: Parkinsons disease and exposure to manganese during welding, Specialist Articles, *Welding and Cutting*, 5, 2006., No. 2.

*Welding fumes, BG Rules for Occupational, Health and Safety, BGR 220*, januar 2006.

*Zaštita na radu pri zavarivanju (2. dio)*, Hrvatsko društvo za tehniku zavarivanja, Zagreb, 2006.

### **THE IMPACT OF FUME PARTICLES GENERATED DURING MMAW WELDING WITH Cr-Ni RUTILE ELECTRODE ON THE WORKERS' HEALTH AND PROTECTION**

*SUMMARY: Welding fumes are generated during most types of MMAW welding. The most harmful substances in welding fumes using Cr-Ni electrodes are hexavalent chromium (Cr VI), Ni, Mo, Mn, etc. with many other substances in welding fumes also proven harmful. The unwanted impacts include acute and chronic effects on the respiratory system as well as carcinogenic effects. Experimental studies were carried out using 6 laboratory ultra LEGe CrNi rutile electrodes manufactured according to the formula developed in the lab of company "ELEKTRODA" Zagreb manufacturing auxiliary welding supplies. They are a variation of the commercial electrode of the EN class, E 23 12 2 LR 12. Quality and quantity of the chemical composition of the generated fume particles in MMAW welding with the aforementioned electrodes was determined. The procedure was performed in the welding chamber made specifically for the purpose, according to the norm EN ISO 15011. The fume particle analysis was carried out using several spectroscopic methods: AAS, SEM-EDS and XPS methods, at the "Kemal Kapetanović" Metallurgy Institute in Zenica and at IMT – Institute for Materials and Technologies in Ljubljana. The analysis of results obtained for each experimental electrode yielded conclusions regarding possible use. A second aspect of the problem of welding fumes focuses on the implementation of suitable protection measures for the welder and the environment, in keeping with the regulations on the protection and safety at work in the concrete conditions of the workplace.*

**Key words:** *welding fumes, particles, ultra LEGe Cr-Ni electrodes, health protection*

*Preliminary communication*

*Received: 2013-02-26*

*Accepted: 2013-03-26*