

## ANALIZA HEMIJSKOG SASTAVA ČESTICA ZAVARIVAČKOG DIMA

### PARTICULAR FUME CHEMICAL STRUCTURE ANALYSIS

Razija BEGIĆ<sup>1)</sup>, Sead PAŠIĆ<sup>2)</sup>, Azra IMAMOVIĆ<sup>3)</sup>, Arif SALKIĆ<sup>4)</sup>

**Ključne riječi:** zavarivački dim, evropske norme, komora, obloga, hemijski sastav

**Key words:** welding fume, European norm, fume chamber, coating, chemical structure

**Sažetak:** U toku zavarivanja nastaje zavarivački dim, za koji su mnogobrojne studije utvrdile da je po svom hemijskom sastavu veoma štetan po zdravlje zavarivača. Pri REL postupku zavarivanja obloženom elektrodom generiše se najveća količina zavarivačkog dima koji je disperzni sistem sastavljen od plinovite i čvrste faze. Čvrsta faza su sitne čestice od kojih su najopasije čestice veličine oko 5 µm. Težina ove grupe čestica iznosi ~ 30 % ukupne emitovane mase čestica u zavarivačkom dimu. Zavarivač se od štetnog dejstva zavarivačkog dima, u nekim slučajevima, može zaštитiti ličnim sredstvima zaštite i dobro izvedenom ventilacijom radnog prostora ali se na smanjenje ukupne količine zavarivačkog dima, kojem je zavarivač izložen tokom rada, može djelovati i izborom odgovarajuće elektrode. Pod ovim se podrazumjevaju elektrode, koje zahvaljujući dobro podešenom sastavu obloge, emituju manju količinu zavarivačkog dima. Istraživanja opisana u ovom radu su urađena na elektrodama sa oznakama EL E 27 R i EL R61 B, koje proizvodi tvornica za izradu elektroda "ELVACO", Bijeljina. Prikupljanje zavarivačkog dima od navedenih elektroda je izvršeno pomoću specijalne zavarivačke komore, instalirane na Mašinskom fakultetu u Mostaru, a analiza hemijskog sastava prikupljenih čestica zavarivačkog dima je radena na Metalurškom institutu "KEMAL KAPETANOVIĆ" Zenica.

**Abstract:** Welding fumes, which occur during welding, are proven to be hazardous for welders' health by its chemical structure. REL welding procedure with coated electrode generate great amount of welding fume, which is dispersion system, made of gaseous and firm phase. Dispersion phase have small particular (5 µm) which are most dangerous for welders' health. Weight of these particular group is ~ 30 % of total emitted mass in welding fume. Welder is protecting with personal protective means, good working space ventilation and using appropriate coating electrode, which generate less welding fume. Research described in this paper was on electrodes EL E 27 R and EL R61 B, which are produced by ELVACO Plant for making electrodes in Bijeljina. Welding fume sampling was made in fume chamber installed in Mechanic faculty of Mostar. Chemical analysis of welding fume was made in Metallurgy institute KEMAL KAPETANOVIC Zenica.

<sup>1)</sup> Univerzitet u Bihaću, Tehnički fakultet, Bihać

<sup>2)</sup> Univerzitet "Džemal Bijedić", Mašinski fakultet, Mostar

<sup>3)</sup> Univerzitet u Sarajevu, Farmaceutski fakultet

<sup>4)</sup> Institut "Kemal Kapetanović", Zenica

## 1. UVOD

Kod elektrolučnih postupaka zavarivanja, posebno REL postupka, pri visokim temperaturama električnog luka dolazi do brojnih fizičko-hemijskih reakcija čiji se produkti šire po okolnom prostoru. Zavarivački dimovi su, po definiciji, toksični metalni dimovi koji se generišu pri svim postupcima elektrolučnog zavarivanja. Sastoje se od teških metala, metalnih oksida, hemijskih jedinjenja, plinova, para i lebdećih čestica nastalih tokom elektrolučnih postupaka zavarivanja. Opsežne i mnogobrojne studije su pokazale da sastojci zavarivačkog dima imaju veoma štetan utjecaj na zdravlje zavarivača i okolinu. Prekomjerno izlaganje zavarivačkom dimu može da dovede do različitih neželjenih efekata po zdravlje zavarivača. U tabeli 1 su dati neki štetni sastojci zavarivačkog dima i zdravstvene smetnje koje oni izazivaju kod zavarivača [1].

Tablica 1. Opasni metali i metalni oksidi u dimu i njihovi efekti na ljudski organizam

ELEMENT	UZROČNI FAKTORI	POTENCIJALNI EFEKTI
Cr	Šestovalentna jedinjenja (kromat, Cr-VI)	Rastvorljivi Cr-VI: Iritativne i toksične efekte na kožu i sluzokožu, nerastvorljivi Cr-VI: kancerogen za ljude (pluća, respiratori trakt), alergijski efekti na koži
Ni	Jedinjenja sa niskom i visokom rastvorljivošću, NiO	Kancerogen za ljude (pluća, unutrašnjost nosa), alergijski efekti na koži
Mn	Metal i jedinjenja	Štetan za živce, kao oksid ima iritativan i toksičan efekat na respiratori trakt, neurotoksičan
Zn	Oksid-sastojak dima	Izaziva metalnu groznicu uključujući zastoje u disanju (nerazumljiv mehanizam, moguće imunološki), generalno nerazjašnjene štete
Cu	Oksid-sastojak dima	Izaziva metalnu groznicu uključujući zastoje u disanju (nerazumljiv mehanizam, moguće imunološki), generalno nerazjašnjene štete
Co	Metal i jedinjenja	Kronični bronhitis, astmu (moguće toksičan i / ili izaziva alergijske reakcije), u tvrdim metalima fibrozu pluća, kancerogen u eksperimentima izvedenim na životinjama, alergijski efekti na koži
Ka	Metal i jedinjenja	Toksičan za bubrege (dugotrajni efekti trovanja), kao oksid ima jak toksičan efekat na respiratori trakt i pluća, kancerogen u eksperimentima izvedenim na životinjama
Pb	Metal i neorganska jedinjenja	Anemija, štetan za živce i bubrege
Al	Metal i jedinjenja	Kao prašak izaziva fibrozu pluća, možda štetan za živce
Ba	Rastvorljiv u jedinjenjima	Štetan za živce i mišiće, utječe na poremećaj ravnoteže soli

Rezultati ovih istraživanja su doveli do uvođenja normi koje propisuju ukupnu dozvoljenu količinu zavarivačkog dima i maksimalni sadržaj pojedinačnih elemenata u zavarivačkom dimu. Parametri ograničenja u izlaganju zavarivačkoj atmosferi koji služe za zaštitu zdravlja zavarivača su [2]:

- TWA - Time Weight Average, označava standard osmosatnog sigurnog izlaganja radnika,

- STEL - Short Term Exposure Limit je definiran sa organizacijom otvorenom za sve koji praktikuju industrijsku higijenu, profesionalno zdravlje, zdravlje okoliša i sigurnost, American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH), kao koncentracija kojoj radnici mogu biti izloženi kontinuirano za kratki period vremena bez štetnih simptoma. Odnosi se na kratki period najveće koncentracije štetnih supstanci,
- PEL - Permissible Exposure Limit, označava dozvoljeni limit izlaganja,
- TLV – Threshold Limit Value, označava graničnu vrijednost zadržavanja u štetnoj sredini.

Kemijski sastav zavarivačkih dimova je različit i ovisi o sastavu osnovnog i dodatnog materijala za zavarivanje, kao i primijenjenom postupku zavarivanja. Zbog toga će u budućnosti djelovanje biti usmjereni, prije svega, na konzumante zavarivanja, posebno na obložene elektrode kao dodatni materijal u postupku zavarivanja. Najveća emisija dima nastaje iz obloge elektrode i to je područje u kom se može značajnije utjecati na smanjenje količine zavarivačkog dima, kao i na smanjenje pojedinih štetnih sastojaka dima. Za određivanje nivoa emisije i analizu isparavanja koje sadrži čestice, definisana je laboratorijska metoda za uzimanje uzoraka po standardu EN 15011-1: 2002, a ispitivanja opisana u ovom radu su provedena upravo prema ovom standardu.

## 2. LABORATORIJSKA PROCEDURA ZA ODREĐIVANJE NIVOA EMISIJE

Najčešća ispitivanja za ocjenu utjecaja na zavarivača i okolinu su se uglavnom izvodila na sljedećim područjima:

- određivanje ukupne količine tvari oslobođenih u okoliš prilikom izvođenja raznih postupaka zavarivanja i rezanja,
- određivanje količine plinova i dimova koje udiše zavarivač,
- analiza hemijskog sastava dimova i plinova,
- određivanje veličine i oblika čestica koje lebde u zraku,
- razvoj normiranih metoda za uzimanje uzoraka emitovanih tvari,
- razvoj uređaja za provjetravanje i pročišćavanje zraka,
- proučavanje stanja zdravlja zavarivačkog osoblja.

Istraživanja u ovom radu su usmjerena na određivanje ukupne količine čestica zavarivačkog dima nastalog pri REL postupku zavarivanja. Standard EN 15011-1:2002 [3], opisuje metodu za određivanje nivoa emisije isparavanja koja nastaju tokom elektrolučnog zavarivanja uz korištenje komore za skupljanje dima. Osim što definira metodu uzimanja uzoraka za hemijske analize, predlaže i moguće analitičke tehnike za određivanje isparavanja emitovanog iz konzumenata zavarivanja. Usvojeni su termini i definicije koji se koriste za potrebe ovog standarda, npr. komora za zavarivanje, vrijeme trajanja luka, filteri, pumpe, oprema za mjerjenje itd.

### 2.1. Test komora za skupljanje zavarivačkog dima

Zavarivačka, skupljačka komora je zatvoren ventiliran prostor prikladan za uzimanje uzoraka, određivanje nivoa emisije i sastava isparavanja i gasova kod zavarivanja i srodnih postupaka. Postojeća komora, instalirana na Mašinskom fakultetu u Mostaru, je predviđena i opremljena za uzimanje ukupne količine isparavanja tokom zavarivanja, slika 1.



Slika 1. Uzorkovanje zavarivačkog dima pomoću komore

Komoru je moguće koristiti osim navedenog i za druga ispitivanja, npr. za prikupljanje gasova isparavanja, kao i za neke druge postupke elektrolučnog zavarivanja osim REL postupka. Komora se sastoji od gornjeg dijela u kom je smješten filter i radnog prostora u kom se obavlja zavarivanje, te osnove komore. Komora je dovoljno velika da dozvoli hvatanje emitovanog isparavanja, a oblik komore ne dozvoljava depoziciju isparavanja na njenu unutrašnju površinu. Prečnik baze komore je 600 mm, izlazni otvor na vrhu komore na koji se nastavlja mehanizam za filtriranje odgovara prečniku filtera i iznosi 260 mm. Visina komore je 600 mm. Komora je pričvršćena za radni sto pomoću četiri vijka i odignuta od podloge da bi bio omogućen protok zraka. Dizajn i dimenzije komore su preuzete iz standarda EN ISO 15011-1: 2002, aneks A [3].

## 2.2. Filteri

Za prikupljanje čestica zavarivačkog dima, standard propisuje korištenje glass fibre i quartz filtera prečnika oko 250 mm. Ove vrste filtera su pogodne sa aspekta utjecaja vlažnosti na nivo emisije isparavanja. Filter je od izuzetne važnosti u procesu skupljanja zavarivačkog dima i ima zadatku da pokupi po mogućnosti sva isparena u toku izvođenja eksperimenta. Veličina čestica zavarivačkog dima se kreće od  $0,005\text{--}20 \mu\text{m}$ . Nisu sve veličine čestica jednakoj opasne za zavarivača koji ih udiše. Najopasnija je veličina čestica od oko  $5 \mu\text{m}$  i težina ove grupe čestica iznosi  $\sim 30\%$  ukupne emitovane mase čestica [4]. Filteri moraju da budu sposobni da izdrže pritisak pumpe i da dozvole prikupljanje isparavanja težine od  $0,4\text{--}1,2 \text{ mg/cm}^2$ . Minimalna efikasnost filtera mora biti 99,5 %. Prečnik filtera korištenog u izrađenoj zavarivačkoj komori je 260 mm. Filteri se drže na mreži od čelične žice, sa preporučene dimenzije otvora na mreži su oko 2,0 mm. Uredaj za držanje filtera dozvoljava njegovu jednostavnu i brzu izmjenu. Komora je dobro zaptivena, a za svaki eksperiment se koristiti novi filter.

### 2.3. Pumpa

Na vrhu komore, poslije dijela komore za filtriranje nalazi se priključak za fleksibilno crijevo spojeno sa pumpom za odsis. Pumpa treba obezbjediti takav protok da ne utječe na proces zavarivanja te da povuče sav zavarivački dim preko filtera. Protok zraka je ( $25 \div 30$ ) l/s, na početku testa. Podpritisak pumpe je 10 [kPa] kada je otpor filtera jednak nuli tj. kada je zrak čist i zavarivanje nije počelo. Na kraju testa, kada je filter napunjen česticama dima, protok zraka je najmanje 5 l/s, a podpritisak pumpe ( $16 \div 20$ ) kPa. Karakteristike pumpe mogu da odstupaju od preporučenih vrijednosti ukoliko je obezbjeden kontinuitet protoka zraka.

### 2.4. Procedura za izvođenje eksperimenta [5]

- Osnovni materijal na kom se vrši eksperimentalno zavarivanje se bira prema vrsti elektrode koja se ispituje. U ovom slučaju osnovni materijal je niskougljenični čelik.
- Prije zavarivanja potrebno je osušiti filter, međutim glass fibre filteri, korišteni u ovom eksperimentu, su otporni na vlagu, pa ih nije bilo potrebno sušiti.
- Izmjeri se težina filtera prije zavarivanja.
- Prije postavljanja filtera kratkotrajno se uključi pumpa, najmanje 30 s, da pokupi eventualne čestice prašine u komori.
- Postavi se filter, podese se parametri zavarivanja (s obzirom na vrstu dodatnog materijala, prema uputi proizvodača elektroda).
- Pristupa se zavarivanju, pri čemu se mjeri aktivno vrijeme trajanja luka. Potrebno je voditi računa da se filter potpuno ne zapuši.
- Nakon prestanka zavarivanja, pumpa radi još 30 s, a zatim se filteri pažljivo vade i važu.
- Prikupljeno isparavanje se skida sa filtera i stavlja u nepropusnu staklenu posudu. Potrebno je prikupiti najmanje 0,1 g isparenja.
- Parametri za izvođenja svakog testa moraju biti konstantni, kako bi rezultati bili uporedivi.
- Mjerenja se ponavljaju 3 puta, a ako se individualni rezultati razlikuju više od  $\pm 10\%$  od srednje vrijednosti, treba napraviti još 2 testa, zatim se računa srednja vrijednost svih testova.

### 2.5. Analiza čestica zavarivačkog dima

Izbor zavarivačkih parametara utječe na količinu proizvedenih isparenja, te je stoga potrebno snimiti kompletne informacije o zavarivačkom procesu. Snimanje i prezentacija testa se daje u standardnom obrascu iz standarda EN 15011-1, aneks B. Potrebno je izvršiti analizu hemijskog sastava čestica zavarivačkog dima po elementima i spojevima. Preporučene analitičke tehnike se nalaze u aneksu C navedenog standarda. Za određivanje sadržaja elemenata: Al, Ba, Be, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, V, Zn, preporučuju se sljedeće analitičke tehnike [3]: atomska emisiona spektrometrija (AES), atomska apsorpciona spektrometrija (AAS), atomska fluorescentna spektrometrija (AFS), X-Ray fluorescentna spektrometrija (XRFS) itd. Za određivanje Cr<sub>VI</sub> (karcinogenog šestovalentnog kroma) koristi se ionska kromatografija IC i spektrofotometrija [6].

## 3. EKSPERIMENTALNO ISTRAŽIVANJE

Sukladno opisanim procedurama, izvršena su vlastita ispitivanja sa ciljem utvrđivanja količine i sastava zavarivačkog dima na dvije različite elektrode domaće proizvodnje, jedne sa rutilnom i jedne sa bazičnom oblogom. Pored toga, cilj istraživanja je provjera svih elemenata

opisane procedure, kao pripreme za nastavak daljih, obimnijih istraživanja na laboratorijskim elektrodama.

### 3.1. Prikupljanje isparavanja

Radna funkcija zavarivačke komore nakon puštanja u pogon se pokazala ispravnom. Eksperiment uključuje ispitivanje prikupljenih čestica zavarivačkog dima na filtere, pri REL zavarivanju sa dvije vrste elektroda iz standardnog programa tvornice "ELVAC" Bijeljina: EL E 27 R i EL E 61 B.

Izvedeno je šest proba, po tri eksperimenta za svaku vrstu elektrode. Korišten je glass fibre filter prečnika 260 mm. Podaci o uslovima izvođenja eksperimenta su dati tabelarno, tabela 2.

Tablica 2. Uslovi i zapažanja u toku izvodenja eksperimenta

	Oznaka elektrode	Oznaka eksperimenta	Težina filtera prije upotrebe [g]	Težina filtera poslije upotrebe [g]	Težina uzorka [g]	Struja zavarivanja [A]	Vrijeme zavarivanja	Broj utrošenih elektroda [kom]
EL E 27 R	R1	4,94	5,33	0,39	110	6' 05"	4	
	R2	4,93	5,15	0,22	110	2' 03"	2	
	R3	4,86	5,44	0,58	110	4' 25"	3	
EL E 61 B	B1	5,01	5,80	0,79	100	3' 10"	2	
	B2	4,70	5,41	0,71	100	3' 12"	2	
	B3	5,02	5,62	0,60	100	2' 25"	1,5	

### 3.2. Rezultati kemijske analize čestica zavarivačkog dima

Analiza hemijskog sastava prikupljene mase čestica zavarivačkog dima i određivanje njihovih količina, urađena je po metodi atomske apsorpcione spektrometrije (AAS) na Metalurškom institutu "Kemal Kapetanović", Zenica. Rezultati hemijske analize su dati u tabeli 3.

Tablica 3. Kemijski sastav i količine kemijskih elemenata

Red. broj	Kemijski element	Količine kemijskih elemenata [%]					
		Oznaka elektrode i uzorka					
		EL E 27 R			EL E 61 B		
R1	R2	R3	B1	B2	B3		
01. Ca	0,18	0,07	0,03	9,9	9,6	10,3	
02. Fe	23,5	24,4	29,5	16,7	14,5	13,1	
03. Cu	0,22	0,10	0,10	0,030	0,021	0,018	
04. Cr	0,031	0,074	0,039	0,020	0,013	0,012	
05. Al	0,40	0,42	0,17	0,51	0,62	0,56	
06. Pb	0,094	0,054	0,047	0,034	0,034	0,032	
07. Cd	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	
08. Ni	0,008	0,008	0,008	0,001	0,006	0,006	
09. Mn	5,31	4,65	5,22	4,30	3,69	3,78	
10. Zn	0,49	0,15	0,19	0,052	0,073	0,073	
11. Co	0,009	0,011	0,010	0,052	0,008	0,009	
12. Na	5,41	4,60	7,72	3,80	2,75	3,76	
13. Mo	0,023	0,008	0,022	0,028	0,030	0,027	
14. Mg	0,07	0,06	0,05	0,29	0,28	0,23	
15. Ti	4,35	3,36	1,94	0,63	0,64	0,65	
16. Si	6,34	-	-	2,62	-	-	
17. F	< 0,1	-	-	19,2	-	-	

#### 4. ZAKLJUČAK

Pored tehnoloških parametara u procesu zavarivanja, u posljednje vrijeme, sve više pažnje se posvećuje i ekološkim aspektima. Tako, količina zavarivačkog dima i njegov sastav postaju jedan od standardnih parametara kvaliteta određenog dodatnog materijala. Prateći ovakve trendove na Mašinskom fakultetu u Mostaru izrađena je i montirana komora za sakupljanje i analizu zavarivačkih dimova, prema standardu EN 15011-1: 2002. Da bi se testirala ispravnost rada komore i procedura ispitivanja urađena je serija od 6 proba u okviru opisanog eksperimenta. Napravljene su po tri probe za elektrodu sa rutilnom oblogom i tri probe za elektrodu sa bazičnom oblogom. Komora, filter i pumpa funkcionišu ispravno u skladu sa zahtjevima navedenog standarda. Rezultati hemijske analize pokazuju prisutnih 17 hemijskih elemenata, za koje je dato procentualno učešće u odnosu na ukupnu masu prikupljenog uzorka. Dobiveni rezultati analize se u određenoj mjeri mogu porediti sa rezultatima sličnih hemijskih analiza, što je bio jedan od ciljeva ovog rada. Drugi cilj rada je bio da se utvrdi funkcionalnost test komore i izvrši preliminarna analiza hemijskog sastava čestica zavarivačkog dima na elektrodama iz standardnog proizvodnog programa proizvođača elektroda. Slijedeći korak u istraživanjima trebao bi biti usaglašen sa nekim od proizvođača obloženih elektroda i usmjerjen ka proizvodnji i ispitivanju novih tipova elektroda, koje bi zbog promjenjenog sastava obloge imale smanjenu ukupnu emisiju zavarivačkog dima ili dovelo do smanjenja količne pojedinih štetnih sastojaka u njemu.

## 5. LITERATURA

- [1] Welding Fumes and Gases, CPWR , NIOSH, 2003.
- [2] Fumes and Gases, Safety and Health, Fact Sheet No. 1, American Welding Society
- [3] EN ISO 15011-1, april 2002.
- [4] N.T. Jenkins, T.W. Eagar: Chemical Analysis of Welding Fume, Particles, Welding Journal, june 2005, 87-s.
- [5] Rihar G., Suban M.: Izlučivanje dimova pri elektrolučnom zavarivanju, Zavarivanje, 1996.
- [6] Zaštita na radu pri zavarivanju 2. dio, Hrvatsko društvo za tehniku zavarivanja, februar, 2006, Zagreb.