

EMISIJE DELCEV PRAHU PRI VARJENJU NERJAVNEGA JEKLA

**Nenad PETIČ¹, Aleš NAGODE¹, Milana ILIĆ MIĆUNOVIĆ², Mirza IMŠIROVIĆ¹,
Damjan KLOBČAR³, Zorana TANASIĆ⁴, Igor BUDAK², Lovro CIGIĆ¹, Borut KOSEC^{1,3}**

¹ Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta

² Univerza v Novem Sadu, Fakulteta tehničnih znanosti

³ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

⁴ Univerza v Banja Luki, Fakulteta za strojništvo

IZVLEČEK

Pri varjenju se sproščajo dimni plini, ki škodljivo vplivajo na zdravje delavcev. Dimni plini so različne mešanice plinov in drobnih delcev, ki pri vdihavanju ali zaužitju predstavljajo tveganje za zdravje delavcev. Stopnja tveganja je odvisna od sestave in koncentracije delcev prahu ter trajanja izpostavljenosti. Sestava je odvisna od osnovnega materiala, varilnega postopka in dodatnega materiala.

V okviru dela so bile izvedene meritve emisij delcev prahu pri ročnem obločnem varjenju nerjavnega jekla z oziroma brez uporabe odsesovalne naprave.

Vzorčenje je bilo izvedeno z uporabo osebnega merilnika za vzorčenje EGO PLUS TT. Sestava in geometrija delcev prahu zbranih na filtrih sta bili analizirani v skladu s standardom ISO 13322 z uporabo vrstičnega elektronskega mikroskopa na poljsko emisijo Thermo Scientific Quattro S.

1 UVOD

Postopek ročnega obločnega varjenja je inženirski postopek spajanja materialov v nerazstavljivo zvezo, ki se uporablja za spajanje (varjenje) praktično vseh kovinskih materialov. Za vzpostavitev in vzdrževanje obloka se uporablja oplaščena elektroda, ki je sestavljena iz masivne žice in mineralne obloge (oplaščenja). Elektroda služi tudi kot dodajni material. Poznamo več vrst elektrodnih oplaščenj kot so: bazično, rutilno, celulozno, kislno, itd., ki lahko obenem služijo tudi za samo legiranje zvara.

Pri postopkih ročno obločnega varjenja je varilec izpostavljen prašnim delcem, ki se tvorijo oziroma odvajajo pri nataljevanju elektrode, topljenju osnovnega materiala ter sproščanju plinov iz plašča elektrode. Prašni delci različnih velikosti se zaradi visoke intenzitete dovajanja toplote, ki je prisotna pri postopkih varjenja, s plini in iskrami pomešajo z okoliškim zrakom. Tak zrak vsebuje visoko vsebnost prašnih delcev, ki se razlikujejo po velikosti in obliki ter predstavljajo določeno stopnjo tveganja pri pojavu respiratornih obolenj [8].

V okviru dela so prikazane lastnosti prašnih delcev pri ročno obločnem varjenju nerjavnega jekla z rutilno elektrodo.

V naši raziskavi je bila uporabljena časovno integrirana metoda, pri kateri se lastnosti določajo na osnovi mase delcev prahu zbranih na filtru. V okviru dela sta bila izvedena dva eksperimentalna preizkusa. Prvi je bil izveden pri varjenju nerjavnega jekla z rutilno elektrodo brez ventilacije (odsosavanja dimnih plinov in delcev prahu), pri drugem smo varili z ventilacijo (odsosavanjem).

Po izvedenih preizkusih smo izmerili maso filtrov ter z uporabo vrstične elektronske mikroskopije določili geometrijo in sestavo delcev prahu.

2 DELCI NASTALI PRI VARJENJU

V osnovi delce prahu razvrstimo kot primarne delce, ki so posledica emisij naravnih ali umetnih virov ter sekundarne delce, ki nastanejo zaradi kemijskih in fizikalnih reakcijah, ko so enkrat že v atmosferi. Za lažjo določitev izvora delcev in vpliva prašnih delcev in jih razdelimo v naprej določene velikostne razrede. [20]

Za procese varjenja lahko nastale delce razdelimo v dve skupini. In sicer gre za delce, ki so večji kot 20 μm . Ti nastanejo zaradi brizganja kovin. Drug tip delcev predstavljajo delci z velikostjo približno 1 μm , ki so posledica kondenzacije kovinskih hlapov. S podrobnejšo analizo je bilo ugotovljeno, da so prisotni tudi ultra fini delci (manjši od 0,1 μm), ki predstavljajo le približno 7% delež celotne mase vseh nastalih delcev. Škodljive vplive delcev prahu na človeka lahko razdelimo v 3 kategorije:

- kemična nevarnost (povzročijo nastali delci in plini),
- mehanska nevarnost (električna energija, toplota, hrup, vibracije),
- nevarnost zaradi sevanja (elektromagnetno sevanje pri območju vidnega, ultravijoličnega in infrardečega valovanja).

Od vseh zgoraj naštetih ima največji vpliv kemična nevarnost, saj nastali dimni in škodljivi plini najbolj negativno vplivajo na zdravje človeka. Epidemiološke raziskave varilcev, ki so vsakodnevno varili polni delovni čas so pokazale, da je pri njih prihajalo do vročinskih obolenj ob vdihavanju kovinskih hlapov, draženja dihalnih poti, spremembe v pljučni funkciji, okužbe pljuč ter povečanja verjetnosti za nastanek pljučnega raka. [6]

2.1 Standard ISO 13322

Standard ISO 13322 z naslovom analiza velikosti delcev - slikovne analizne metode (ang. Particle size analysis - Image analysis methods) [7] je sestavljen iz dveh delov in sicer iz statične slikovne analize in dinamične slikovne analize. Za namene našega dela je v poštev prišel prvi del standarda, ki opisuje statično analizo.

Namen prvega dela ISO standarda 13322 je podati priporočilo, kdaj se lahko zajete slike uporabijo za analizo velikosti delcev. Cilj tega dela standarda je podati standardiziran opis uporabljene tehnike, pri čemer dobljene meritve ustrezajo priporočilom standarda in so sledljive. V tem delu niso opisane naprave, ki se uporabljajo za zajem slik, ampak je standard omejen na slikovne dele, ki so relevantni za pravilnost rezultatov pri analizi velikosti delcev.

Prvi del standarda vsebuje metode za preverjanje umerjanja in priporočila pri uporabi certificiranega standarda kot reference. Skozi celotni del analize so upoštevane napake, ki prispevajo k končni negotovosti meritev.

Ta del standarda ISO 13322 je uporaben za analizo slik z namenom določitve porazdelitve velikosti mirujočih delcev. Delci so razporejeni in fiksirani v ravnini, ki jo opazujemo z napravo za zajem slik. Vidno polje se spreminja s premikanje podpore na kateri so delci ali premikanjem kamere, zato je potrebno zagotoviti da ne pride do popačitve zajetih slik. Standard se osredotoča na digitalne slike, ki nastanejo s pomočjo sistema za zaznavanje svetlobe ali elektronov ter upošteva samo slike, ki so analizirane z metodami, ki temeljijo na štetju slikovnih pik.

3 VZORČENJE DELCEV PRAHU

Za vzorčenje delcev prahu se v inženirski praksi pogosto uporablja časovno integrirana metoda, pri kateri določamo koncentracijo aerosolov. Pri tej metodi se meri masa prašnih delcev nabranih na filtru analizatorja. Filtri se kasneje uporabijo za mikroskopsko analizo.

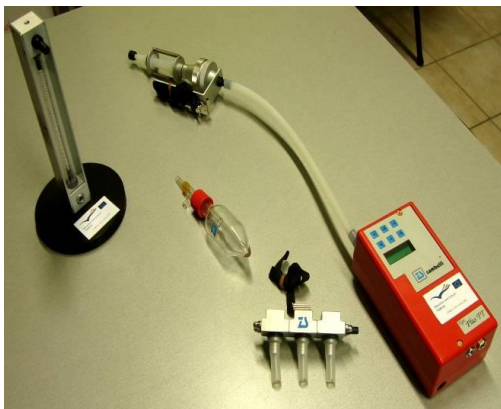


Slika 1. Osebni vzorčevalnik nameščen v območju dihanja operaterja.

Vzorčenje je lahko prostorno ali osebno. Pri prostorskem vzorčenju se vzorčuje zrak v delovnem okolju oziroma vzorčevalnik se fiksno

da v delovni prostor. Pri osebnem vzorčenju pa se vzorčevalnik nahaja na operaterju (delavcu) v bližini njegovega dihalnega območja (približno 20 - 30 cm od nosa in ust) (Slika 1) oziroma se vrednoti izpostavljenost delavcev delcem prahu in drugim kemičnim snovem.

Vzorčenje smo izvedli z uporabo osebnega merilnika Zambelli EGO PLUS TT (Slika 2). Pred pričetkom vsake meritve je potrebno kalibrirati merilnik oziroma določiti količino (pretok) zraka, ki bo tekla skozi filter. Prav tako je potrebno določiti tudi čas vzorčenja. Delovanje merilnika EGO PLUS TT je zelo podobno delovanju sesalnika. Merilnika vleče zrak skozi cev na kateri se nahaja ohišje s filtrom na katerem se delci prahu ustavijo in naberejo.



Slika 2. Merilnik Zambelli EGO PLUS TT.

4 EKSPERIMENTALNO DELO

Vzorčenje smo izvedli v Laboratoriju za varjenje na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljani. Analizo dimenzij (geometrije) in sestave delcev prahu pa na vrstičnem elektronskem mikroskopu na poljsko emisijo (FEG SEM) Thermofischer Quattro S (Slika 3) na Naravoslovnotehniški fakulteti Univerze v Ljubljani.

Z osebnim merilnikom EGO PLUS TT smo vzorčili/filtrirali delce prahu pri ročno obločnem varjenju nerjavnega jekla z rutilno elektrodo. Vzorce smo odvzeli pri varjenju z odsesavanjem zraka in brez odsesavanjem zraka. Nato so bili vzorci/filtri analizirani s pomočjo vrstičnega elektronskega mikroskopa (SEM), pri čemer smo posneli obliko in sestavo prašnih delcev.

Za odvzem vzorcev smo uporabili merilnik EGO PLUS TT, na katerega je bil nameščen konusni

nastavek z filtrom iz mešanice celuloznih estrov s premerom 25 mm. Hitrost pretoka zraka je bila 3,0 l/min, kar je v skladu s priporočilom proizvajalca. Čas vzorčenja je znašal 1 min. Temperatura zraka v prostoru pa je bila 25°C.



Slika 3. Analiza na vrstičnem elektronskem mikroskopu.

Osebni vzorčevalnik je bil nameščen na zgornjem delu prsnega koša, v bližini ključne kosti v dihalnem območju delavca/tehnika. Osebni vzorčevalnik se v praksi namešča na razdalji približno 30 cm od ust (Slika 1).

Varili smo nerjavno jeklo AISI 316 (Tabela 1) po postopku ročno obločnega varjenja z rutilno elektrodo INOX R 18/8/6 Fe (Tabela 2).

Tabela 1: Sestava nerjavnega jekla AISI 316

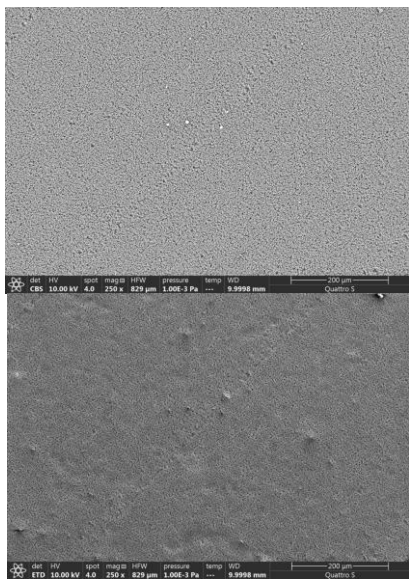
	C	Mn	Si	Cr	Ni	P	Mo	N
%	0,07	2,0	1,0	17,5	8-13	0,04	2,25	0,11

Tabela 2: Sestava elektrode INOX R 18/8/6 Fe

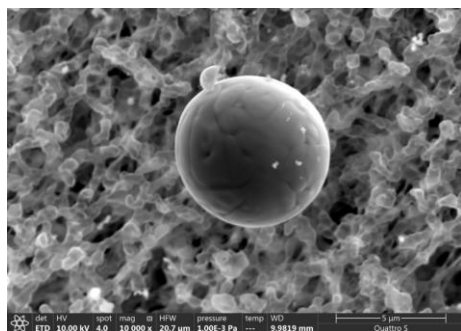
	C	Si	Mo	Cr	Ni
%	0,12	< 1,2	7	19	9

Pri varjenju z uporabo odsesovalne naprave se na filter ujamejo večji delci, ki so težji od delcev dima. To so predvsem delci iz oplasčenja elektrode (dodajnega materiala) ter varjenega materiala.

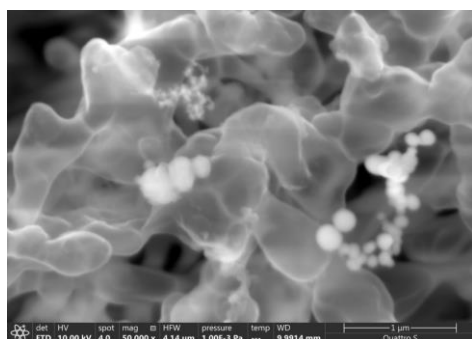
Na Sliki 4 so prikazani delci prahu na filtru po elektroobločnem varjenju nerjavnega jekla z uporabo odsesovalne naprave.



Slika 4. Delci prahu na filtru pri manjši povečavi: CBS- slikano s povratno sipanimi elektroni (zgoraj), b) ETD- slikano s sekundarnimi elektroni (spodaj).



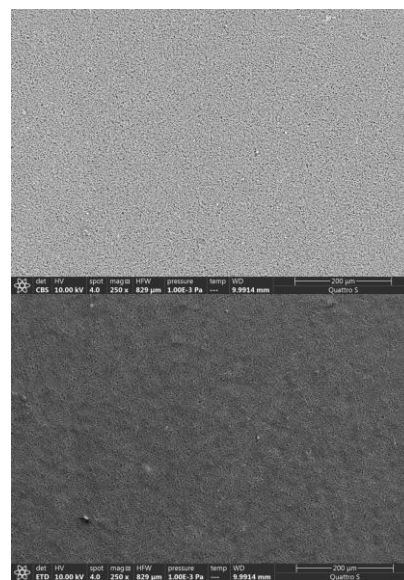
Slika 5. Delci prahu na filtru pri večji povečavi: ETD- slikano s sekundarnimi elektroni.



Slika 6. Skupki nano delcev prahu pri večji povečavi: ETD- slikano s sekundarnimi elektroni.

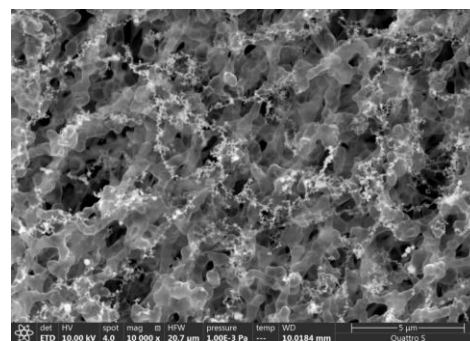
Na sliki 6 se jasno vidijo skupki/aglomerati nano delcev prahu.

Pri varjenju brez odsesovalne naprave se na filter ujamejo delci dima, ki so lažji od delcev oplaščene elektrode (dodajnega materiala) in varjenega materiala. Zato rezultati nakazujejo, da je pri varjenju brez odsesovalne naprave več emisij delcev prahu.



Slika 7. Delci prahu na filtru pri manjši povečavi: CBS- slikano s povratno sipanimi elektroni (zgoraj), b) ETD- slikano s sekundarnimi elektroni (spodaj).

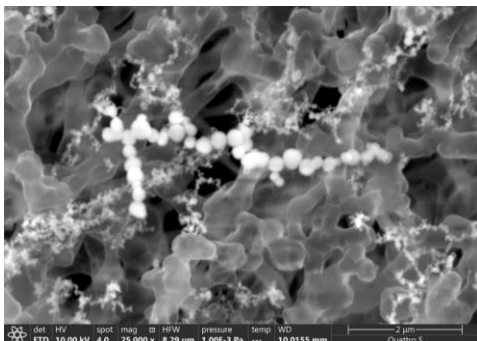
Slika 7 (zgoraj) prikazuje svetle delce prahu. Imamo par prašnih delcev različnih velikosti, najmanjši se pri tej povečavi še ne vidijo, na sliki 7 (spodaj) pa so že dobro vidni.



Slika 8. Delci prahu na filtru pri večji povečavi: ETD- slikano s sekundarnimi elektroni.

Na sliki 8 se vidi veliko manjših delcev povezanih v skupke, ki so še jasneje prikazani na sliki 9. Na sliki 9 je vidno, da je na filtru občutno več ujetih delcev kot pri varjenju z odsesovalno

napravo. Na sliki 9 se jasno vidijo skupki približno 40 nano delcev, ki so sferične oblike.



Slika 9. Skupki nano delcev prahu pri večji povečavi: ETD- slikano s sekundarnimi elektroni.

5 SKLEPI

V Laboratoriju za varjenje na Fakulteti za strojništvo Univerze v Ljubljane so bile izvedene meritve emisij delcev prahu nastalih pri varjenju nerjavnega jekla z oziroma brez uporabe odsesovalne naprave.

Meritve so izvedene z uporabo osebnega merilnika EGO PLUS TT. Sestava in geometrija delcev prahu sta analizirana na vrstičnem elektronskem mikroskopu (SEM).

Na podlagi mase delcev prahu ujetih na filter pri varjenju z odsesovalno napravo in brez odsesovalne naprave vidimo da je pri varjenju z odsesovalno napravo več ujetih delcev prahu. To je zato, ker se pri varjenju brez odsesovalne naprave na filter ujamejo delci dima, ki so lažji od delcev prahu oplašene elektrode (dodajnega materiala) ter varjenega materiala.

Iz SEM mikrofotografije lahko vidimo, da so delci prahu sferične oblike. Iz analize slik vidimo, da so delci ujeti na filter pri varjenju z odsesovalno napravo večji od delcev ujetih na filter pri varjenju brez odsesovalne naprave. Pri varjenju z odsesovalno napravo imamo nano delce ter delce velikosti do 5 μm , pri varjenju brez odsesovalne naprave pa samo nano delce, ki so povezani v skupke.

Viri:

- [1] ISO 7708 (1995): Air quality- Particle size fraction definitions for health-related sampling, International Organization of Standardization
- [2] J.H.Vincent: Aerosol Sampling: Science Standards, Instrumentation and Applications, Wiley & Sons, Chichester 2007.
- [3] M. Kutz: Environmentally Conscious Mechanical Design, John Wiley & Sons, New Jersey, 2007.
- [4] M. Ilić Mićunović, Model za evaluacijo rezultata merjenja karakteristika praškastih materija zasnovan na elektronski mikroskopiji, Doktorska disertacija, UNS, Novi Sad, 2018.
- [5] ISO 13322-1 (2014): Particle size analysis -- Image analysis methods -- Part 1: Static image analysis methods, International Standardization Organization.
- [6] H G. Merkus: Particle Size Measurements (Fundamentals, Practice, Quality), Particle Technology Series Book 17, Kindle Edition, 2009.
- [7] G. Seliger: Sustainability in Manufacturing recovery of resources in product and material cycles, Springer Verlag, Berlin / Heidelberg, 2007.

EMISIJE DELCEV PRAHU PRI VARJENJU NERJAVNEGA JEKLA

Nenad PETIĆ¹, Aleš NAGODE¹, Milana ILIĆ MIČUNOVIĆ², Mirza IMŠIROVIĆ¹, Damjan KLOBČAR³, Zorana TANASIĆ⁴,
Igor BUDAK², Lovro CIGIĆ¹, Borut KOSEC^{1,3}

¹ U Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, ² Univerza v Novem Sadu, Fakulteta tehničnih znanosti

³ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, ⁴ Univerza v Banja Luki, Fakulteta za strojništvo
