

ANALIZA DELCEV PRAHU NASTALIH PRI POROCESU REZANJA KOVIN

Področje: **strojništvo**

Vrsta naloge: **raziskovalna naloga**

Dijaki:

Zala Hajdič, 1.B

Maruša Podrzavnik, 1.B

Albert Kozamernik, 1.C

Mentorica: dr. Sonja Kitak - Gimnazija Jožeta Plečnika Ljubljana

Somentor: prof. dr. Borut Kosec - Naravoslovnotehniška fakulteta

2023

Gimnazija Jožeta Plečnika Ljubljana

KAZALO

Vsebina

POVZETEK	3
KLJUČNE BESEDE	4
1. Uvod	5
2. JEDRO - Delo in meritve.....	6
2.1. Varjenje MIG (metal-inert-gas) in varjenje MAG (metal-active-gas)	7
2.2. TIG	10
2.3. SAW oz. EPP.....	12
3. EMISIJE.....	14
3.1. DIM	14
3.2. Merilna naprava za vrednotenje kakovosti zraka	15
3.3. Kemijska sestava emisij	15
4. ZAKLJUČKI	18
5. ZAHVALA.....	19
6. VIRI	20

KAZALO SLIK

Slika 1: Testni zvari.	5
Slika 2: varilec med ročnim obločnim varjenjem	7
Slika 3: Skica postopka varjenja.....	7
Slika 4: Varilna naprava.	9
Slika 5: Shematski prikaz TIG postopka varjenja.	10
Slika 6: Varilna naprava za TIG postopek.	11
Slika 7: Skica elektro obločnega varjenja pod praškom (EPP)	12
Slika 8: Pesek.	12
Slika 9: Naprava elektro obločno Slika 10: Naprava od blizu.....	13
Slika 11: Dim pri nastal varjenju jekla po postopku TIG.	14

KAZALO TABEL

Tabela 1: Parametri varjenja MIG in MAG	8
Tabela 2: Parametri varjenja TIG	11
Tabela 3: Parametri varjenja EPP	13

POVZETEK

Delali smo raziskovalno nalogo o emisijah prašnih delcev pri varjenju jekel. Spoznali smo kako poteka varjenje ter opazovali različne metode varjenja; MIG (uporablja se zaščitni plin, na primer argon ali mešanica argona in ogljikovega dioksida, za zaščito zvara pred okoliško atmosfero) MAG (kot zaščitni plin se uporablja mešanica aktivnih plinov, kot sta ogljikov dioksid ali kisik. Ta vrsta varjenja se pogosto uporablja za debelejše materiale), TIG (je vrsta obločnega varjenja, pri katerem se za varjenje uporablja volframova elektroda) ter EPP (pogosto se uporablja za varjenje velikih odsekov jekla). Nato smo pod mikroskopom (SEM) opazovali delce, ki so se nabrali na filtru (deli emisij).

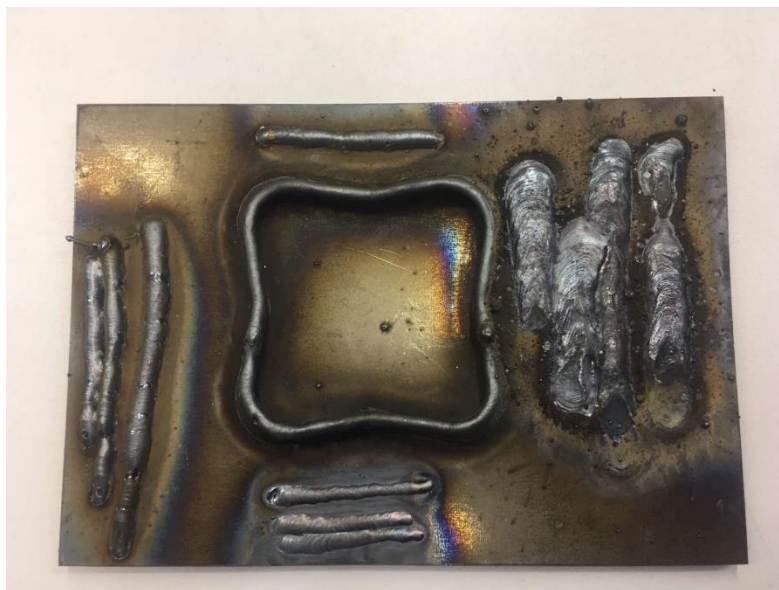
V okviru raziskovalne naloge smo izvedeli, da prašni delci, ki nastanejo pri varjenju zelo škodujejo zdravju. Prevelika izpostavljenost prav tem dimom lahko vodi do obolenja pljuč in pljučnega sistema.

KLJUČNE BESEDE

Raziskovalna naloga, emisija, varjenje, MIG MAG, EPP, TIG, dim, delci prahu, FEG, SEM

1. Uvod

V okviru raziskovalne naloge smo raziskovali strupenost emisij prašnih delcev, ki nastanejo pri varjenju jekel. Zanimali so nas velikosti in prisotnosti strupenih delcev, ki se pojavijo pri postopku varjenja. Saj so delci emisij iz zdravstvenega vidika zelo nevarni. Prodrejo lahko globoko v pljuča izvajalca, ko ta vari. Pomembno je določiti stopnjo tveganja za pljuča, ki je odvisna od oblike in velikosti delcev. Ko želimo trajno spojiti dva ali več kovinskih delov v neločljivo zvezo, najpogosteje izberemo postopek varjenja. Spoznali smo tri vrste varjenja; MIK MAK, TIG, EPP. Med vsemi temi načini varjenja se največkrat uporablja ročno obločno varjenje z oplaščeno elektrodo. Pomemben pogoj za takšno varjenje sta primeren vir toka in tip elektrode. Zaradi tako močnega vpliva na človeški dihalni sistem, smo si delce emisij tudi pod vrstičnim elektronskim mikroskopom (angl.: scanning electron microscope SEM).



Slika 1: Testni zvari.

2. JEDRO - Delo in meritve

VARJENJE

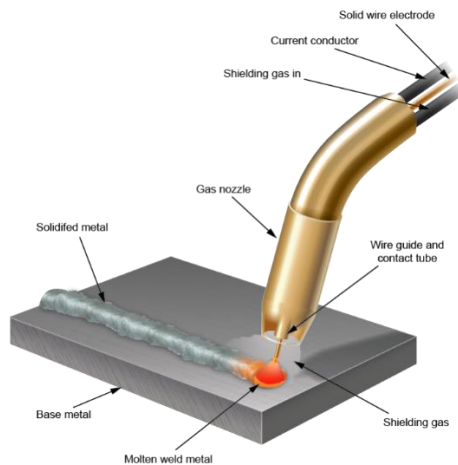
Varilni oblok najpogosteje vžigamo s kratkim stikom. Najprej se mora varilec z oplaščeno elektrodo za kratek čas dotakniti površine varjenca, da se med elektrodo in površino varjenca izpostavi kratek stik. Konica elektrode se tako segreje in zažari. S tem vzpostavimo pogoje za gorenje obloka. Ko oblok zagori mora varilec vzpostaviti primerno dolžino obloka in jo med varjenjem stalno vzdrževati.



Slika 2: varilec med ročnim obločnim varjenjem

- 2.1. Varjenje MIG (metal-inert-gas) in varjenje MAG (metal-active-gas) sta dve vrsti obločnega varjenja v plinu. V marsičem sta si podobna, vendar je glavna razlika med njima v vrsti uporabljenega zaščitnega plina.

Slika 3: Skica postopka varjenja.



Pri varjenju **MIG** se uporablja zaščitni plin, na primer argon ali mešanica argona in ogljikovega dioksida, za zaščito zvara pred okoliško atmosfero. Zaščitni plin pomaga preprečiti, da bi oksidacija in drugi atmosferski onesnaževalci vplivali na kakovost zvara.

Pri varjenju **MAG** pa se kot zaščitni plin uporablja mešanica aktivnih plinov, kot sta ogljikov dioksid ali kisik. Ta vrsta varjenja se pogosto uporablja za debelejša materiala in za varjenje v zunanjih okoljih, kjer je zaščita pred atmosfero zahtevnejša.

Varjenje **MIG in MAG** je znano po svoji vsestranskosti in se pogosto uporablja v različnih panogah, vključno z avtomobilsko, gradbeno in predelovalno industrijo. Omogočata razmeroma enostavno učenje, izdelavo visokokakovostnih zvarov in spajanje različnih kovinskih materialov, vključno z jeklom, aluminijem in nerjavnim jeklom.

Tabela 1: Parametri varjenja MIG in MAG

varilni tok	110A	premer žice	2mm
varilni vir	usmernik	zaščitni plin	CO ₂
ime žice	VAC 60	pretok plina	10 l/min

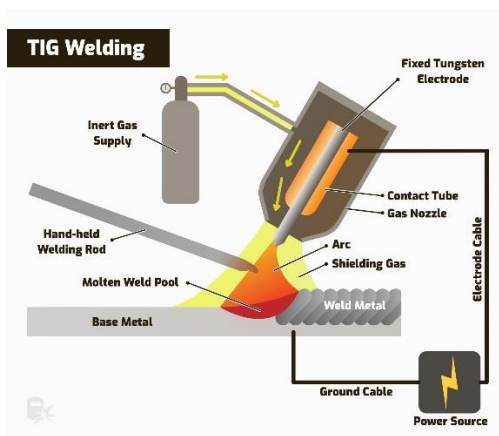


Slika 4: Varilna naprava.

2.2. TIG

Varjenje **TIG (tungsten (wolfram)- inter- gas)**, je vrsta obločnega varjenja, pri katerem se za varjenje uporablja wolframova elektroda. Varjenje TIG je zelo natančna metoda varjenja, ki se običajno uporablja za varjenje tankih delov kovine, varjenje različnih kovin in varjenje materialov, ki so občutljivi na onesnaženje.

Slika 5: Shematski prikaz TIG postopka varjenja.



Ena od ključnih prednosti varjenja **TIG** je, da omogoča izdelavo visokokakovostnih in čistih zvarov z minimalno žilindro ali razpršili. Zaradi tega je priljubljena izbira za varjenje v letalski, medicinski in elektronski industriji, kjer sta pomembni natančnost in čistoča.

Pri varjenju **TIG** se za ustvarjanje oblaka med elektrodo in obdelovancem uporablja volframova elektroda, ki je ni mogoče porabiti. V zvarni spoj se po potrebi doda kovinski polnilo, inertni zaščitni plin, kot je argon, pa varuje zvar pred onesnaženjem z zrakom.

Varjenje **TIG** v primerjavi z drugimi metodami varjenja zahteva večjo spretnost operaterja, saj mora ta ročno nadzorovati dodajanje dodatne kovine, dolžino oblaka in pretok zaščitnega plina. Vendar lahko z vajo TIG ustvarite visokokakovostne in učinkovite zveze, ki so močni in vzdržljivi.

Tabela 2: Parametri varjenja TIG

varilni tok	100A	premer žice	2mm
varilni vir	inverter	zaščitni plin	CO ₂
ime žice	VAC 60	pretok plina	10 l/min

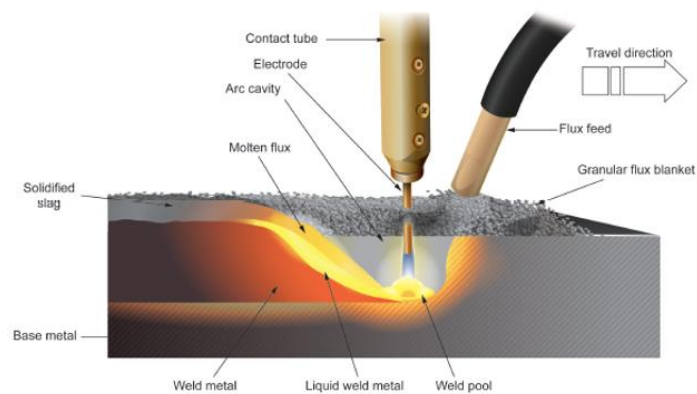


Slika 6: Varilna naprava za TIG postopek.

2.3. SAW oz. EPP

Submerged-arc welding (SAW) ali v slovenskem jeziku **Elektro obločno varjenje pod praškom (EPP)** je vrsta obločnega varjenja, pri katerem se uporabljata porabna elektroda in topilo, ki se dovajata na površino obdelovanca. Elektroda in topilo se zaradi toplote obloka stalita, topilo pa tvori žlindro, ki varuje zvar pred oksidacijo in onesnaženjem. Elektroda in talilo se neprekinjeno dovajata na zvarni spoj, varjenje pa se običajno izvaja potopljeno pod talilom, od tod tudi ime varjenje s potopljenim oblokom.

Slika 7: Skica elektro obločnega varjenja pod praškom (EPP)



Slika 8: Pesek.

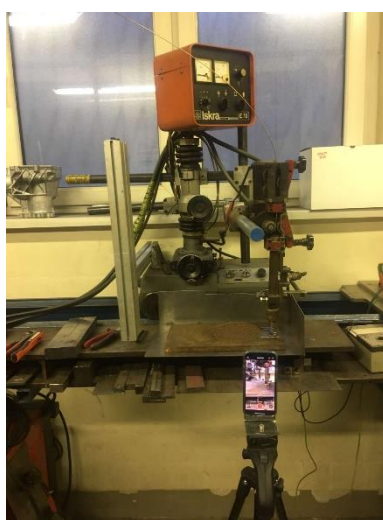
Varjenje z obločno elektrodo je znano po visoki hitrosti varjenja, zaradi česar je zelo učinkovita metoda za varjenje velikih delov kovine. Je tudi zelo avtomatizirana, zato je primerna za varjenje v proizvodnih okoljih, kjer sta pomembni hitrost in doslednost.

EPP se pogosto uporablja za varjenje velikih odsekov jekla, kot so cevi, plošče in konstrukcijske oblike, ter za varjenje zlitin na osnovi niklja in drugih nepodobnih kovin. Postopek se uporablja tudi za varjenje na težko dostopnih mestih, kot je notranjost cevi ali rezervoarjev, kjer lahko potopljeno topilo pomaga zaščititi zvar pred nevarnostmi iz okolja.

Ena od pomanjkljivosti varjenja s potopnim tokom je, da pri tem nastajajo hlapi, ki so lahko škodljivi za operaterja, če ni zagotovljeno ustrezno prezračevanje. Poleg tega je treba po končanem varjenju topilo očistiti s površine zvara, kar lahko poveča stroške in zapletenost postopka. Kljub tem izzivom je **EPP** zelo vsestranska in zanesljiva metoda varjenja, ki se pogosto uporablja v številnih različnih panogah.



Slika 9: Naprava elektro obločno varjenje pod praškom (EPP).



Slika 10: Naprava od blizu.

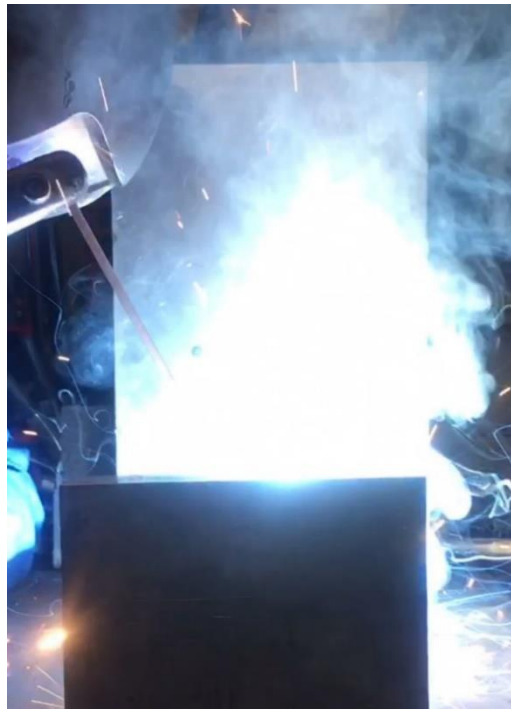
Tabela 3: Parametri varjenja EPP

varilni tok	($60 \div 18 = 3,33$; $1000 \div 3,33$) $\approx 300,3A$	premer žice	2mm
varilni vir	usmernik	/	/
ime žice	EPP2	/	/

3. EMISIJE

3.1. DIM

Na spodnji sliki (slika 11) je viden dim, ki je nastal pri varjenju (TIG).



Slika 11: Dim pri nastal varjenju jekla po postopku TIG.

Varilni dim nastane, ko se kovina segreje nad vreliščem. Hlapi, ki nastanejo s tem toplotnim postopkom, se kondenzirajo v drobne delce, ki se zadržujejo v zraku. Zaradi potrebe po natančnosti mora biti varilec blizu območja, kjer vari. To pomeni, da bodo dim, delci in plini vstopili v dihalno območje varilca, ki tvega, da jih bo vdihnil.

V našem primeru se je najmanj dima proizvedlo pri varjenju TIG, največ pa pri MAG (MIG zelo podobno). Različni postopki varjenja torej povzročajo različne količine dima, vse pa vsebujejo različne koncentracije nevarnih snovi (Kr, Mg, Ni, CO...). Količina plina pa je tudi odvisna od gostote varine. Varine z manjšo gostoto, proizvedejo manj plina.

Dimu se lahko izognemo z različnimi sistemi za odsesovanje. Najučinkovitejši način zbiranja in odstranjevanja hlapov je odsesovanje na izvoru.

Za človeka pa obstaja tudi mehanska nevarnost (električna energija, toplota, hrup, vibracije).

3.2. Merilna naprava za vrednotenje kakovosti zraka

Za meritve emisij prašnih delcev smo uporabili merilno napravo Zambelli EGO TT PLUS. Merilna naprava (merilnik) za vrednotenje kakovosti zraka Zambelli EGO TT PLUS deluje na principu vsesavanja okoliškega zraka. Delci prahu, ki se nahajajo v vsesanem zraku, se zadržijo v membranskem filtru. Za simulacijo vdihanega zraka s strani varilca pri elektroobločnem varjenju je priporočljiva kapaciteta vsesanega zraka 3 l/min. Naprava sestoji iz digitalnega vmesnika, merilne skale, ki se uporablja za kalibracijo, prostora za membranski filter ter cevke po kateri se pretaka okoliški zrak.



Slika 11: Merilnik za vrednotenje kakovosti zraka Zambelli EGO TT PLUS.

3.3. Kemijska sestava emisij

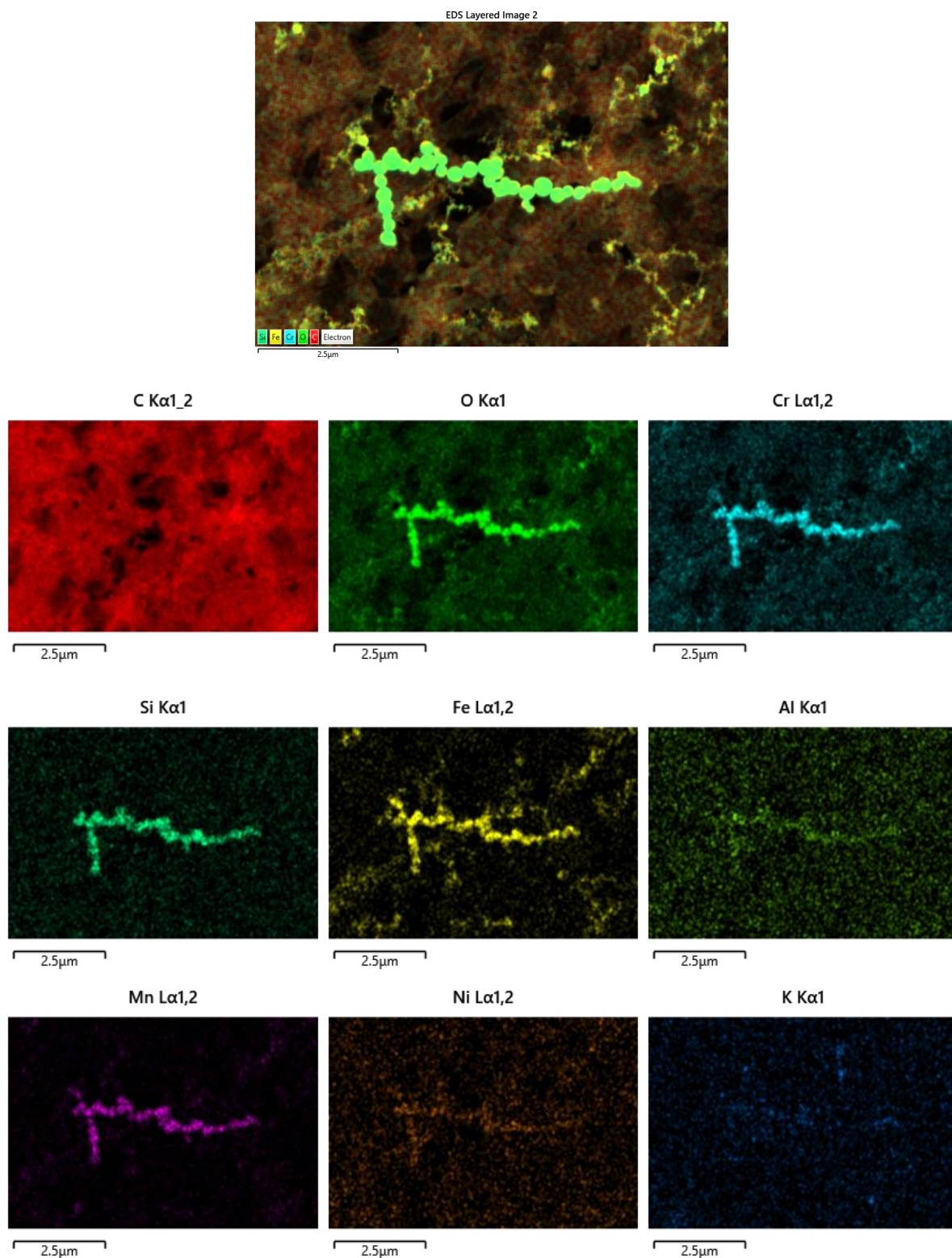
Za analizo delcev prahu, njihove geometrije (oblike in velikosti) in sestave je bil uporabljen vrstični elektronski mikroskop na poljsko emisijo (FEG SEM) Thermofischer Quattro S.



Slika 12: Vrstični elektronski mikroskop na poljsko emisijo (FEG SEM) Thermofischer Quattro S.

Pri vrstični elektronski mikroskopiji visoko energijski snop skenira celotno območje vzorca, ki je pod vakuumom. Ko elektroni zadenejo vzorec povzročijo nastanek valovanj, ki jih beleži mikroskop. S pomočjo tega računalnik sestavi sliko, ki ima ločljivost do okoli enega nanometra ter dobro globinsko ostrino s katero dobimo predstavo o 3D obliki vzorca. Tak mikroskop je najbolj učinkovit med 10-kratno in 10000-kratno povečavo.

Na sliki 13 je prikazana elementarna sestava nano delcev ujetih na filter. Iz slik se jasno vidi, da delci vsebujejo kisik, ogljik, krom, silicij, aluminij, kalij, železo, nikelj in mangan. Rezultati nakazujejo, da so to oksidni delci.



Slika 13: Elementarna sestava nano delcev ujetih na filter pri varjenju (brez odsesovalne naprave).

4 ZAKLJUČKI

Izvedene so bile izvedene meritve emisij delcev prahu nastalih pri varjenju 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(0,0003 g) in brez odsesovalne naprave(0,0001 g) lahko 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 delcii dima, ki so lažji od delcev prahu oplaščne elektrode(dodajnega materiala) ter varjenega materiala.

Iz analiz z vrstičnim elektronskim mikroskopom lahko vidimo, da je prah 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. Nano delci so povezani v skupke. Iz izvedenih EDS analiz delcev prahu se jasno vidi, da se gre za oksidne delce Fe in Mn.

5 ZAHVALA

Zahvaljujemo se naši profesorici in mentorici dr. Sonji Kitak, da nam je omogočila in nas spodbudila k raziskavi in izdelavi te raziskovalne naloge. Zahvaljujemo se tudi našim mentorjem prof. dr. Borutu Koscu ter prof. dr. Alešu Nagodetu, ki sta nam omogočila opraviti meritve in poskuse, s katerimi smo lahko prišli do rezultatov. Zahvaljujemo pa se tudi gospodični Ajdi Tresar, ki nam je pomagala priti do natančnih slik delcev.

6 VIRI

Cwbgrou (pridobljeno 2023 13. 2.): Kaj je varjenje EPP,
<https://www.cwbgrou.org/association/how-it-works/what-submerged-arc-welding-saw>

Wikipedija (pridobljeno 2023 13. 2.): Varjenje EPP
https://en.wikipedia.org/wiki/Submerged_arc_welding

Twi-global (pridobljeno 2023 13. 2.): Kaj je varjenje EPP,
<https://www.twi-global.com/technical-knowledge/faqs/faq-what-is-submerged-arc-welding>

WeldNotes youtube (pridobljeno 2023 13. 2.): Kaj je varjenje TIG,
<https://www.youtube.com/watch?v=uO5pVLOAmD4>

Millerwelds (pridobljeno 2023 13. 2.): Kako deluje varilnik TIG in kdaj variti z varjenjem TIG,
<https://www.millerwelds.com/resources/article-library/tig-it-how-a-tig-welder-works-and-when-to-tig-weld>

Weldingtipsandtricks youtube (pridobljeno 2023 13. 2.): Varjenje TIG in spajkanje TIG
<https://www.youtube.com/watch?v=sUiQfupEwOk>

Motofil (pridobljeno 2023 13. 2.): Kakšne so razlike med varjenjem MIG/MAG in varjenjem TIG,
<https://www.motofil.com/en/article/60/mig-mag-welding-vs-tig-welding/>