

Kietųjų dalelių taršos galandavimo proceso metu tyrimas

Jonas Matijošius^{1*}, Alfredas Rimkus¹, Mantas Juchnevičius¹, Virginijus Daugėla¹,
Saulius Stravinskas¹, Audrius Čereška^{1,2}

¹Vilniaus technologijų ir dizaino kolegija, Technikos fakultetas
Olandų g. 16, 01100 Vilnius, LT. el. paštas j.matijosius@vtdko.lt

²Vilniaus Gedimino technikos universitetas, Mechanikos fakultetas

Basanavičiaus g. 28, 03224 Vilnius, LT. el. paštas audrius.cereska@vilniustech.lt

(Gauta 2021 m. sausio mėn.; atiduota spaudai 2021 m. vasario mėn.; prieiga internete nuo 2021 m. gegužės 11 d.)

Anotacija

Nuolat modernėjant pramonei vis labiau į akiratį patenka metalo apdirbimo darbinėje aplinkoje esantys organizmai ir jų galimai sukeliama apdirbimo procesų metu išsiskiriančių kietųjų dalelių, patekusių į gyvų organizmų vidų, neigiami padariniai. Smulkiausias kietosios dalelės, patekusios į žmogaus organizmą, patenka ne tik į plaučių bronchinio medžio smulkiausias taškus, tačiau gali užteršti ir kraujotaką, todėl tyrimo metu buvo nuspėsta identifikuoti kietųjų dalelių taršos pokytį galandavimo proceso metu, įvertinti darbinės aplinkos trūkumus ir pateikti efektyvius problemos sprendimo būdus.

Reikšminiai žodžiai: galandinimas, kietosios dalelės, darbo higiena, tarša.

Abstract

As the industry continues to modernize, there is an increasing focus on organisms in the work environment which are the potentially adverse effects of the release of particulate matter from working processes into living organisms. Bearing in mind that the finest particulate matter enters the human body not only at the smallest points of the bronchial lung, but may also contaminate the bloodstream, the study decided to identify changes in particulate matter contamination during the sharpening process.

Key words: Sharpening, particulate matter, occupational hygiene, pollution

Įvadas

Šiuolaikinis gamybos procesas reikalauja vis didesnę dėmesį skirti aplinkosauginiams klausimams (Merklein et al., 2021). Priimta, kad tvari gamyba asocijuojasi ne tik su naujų technologijų gamyboje taikymu, bet ir tvarių sprendimų, leidžiančių užtikrinti aukštus kokybės ir aplinkosaugos standartus, paieška (Molaei et al., 2021). Žinoma, kad pramonės revoliucija, o tiksliau, dabartinis jos trečios kartos formatas, verčia pačią gamybą automatizuotu ir robotizuotu produktu, kurį galima sąlyginai pigiai pritaikyti bet kurioje pasaulio vietoje (Senthil et al., 2020). Toks gamybos transformavimas iš dabar vyraujančios į labiau modernizuotą reikalauja didelių lėšų, technologinio ir žmogiškojo potencialo (Johnson et al., 2020). Nenumaldant gaunamos naudos kai kurių gamybos procesų modernizavimas yra sunkiai įsivaizduojamas dėl šių priežasčių:

- Pernelyg paprastas gamybos operacijos pobūdis palyginti su visu gamybos operacijų kompleksu (Bandyopadhyay et al., 2020);
- Finansiškai labai brangus tos operacijos modernizavimas (Chen et al., 2020);
- Technologinis gamybos potencialas yra silpnai pritaikytas tos operacijos pobūdžiui (Liu, 2021).

Todėl yra akcentuojamas dalinis arba kombinuotas gamybos pobūdžio pokytis, leidžiantis kai kurias gamybos proceso operacijas palikti nepakitusias (Singh et al., 2020).

Savo ruožtu toks gamybos proceso modifikavimas turi užtikrinti proceso tvarumo reikalavimus, o ypač tuos, kurie yra susiję su aplinkosauga (Petunin et al., 2019). Žinoma, kalbant apie aplinkosaugą nereikia pamiršti ir darbo higienos klausimų, nes kokybiškam ir efektyviam darbui, kuris yra pagrindinis gamybos proceso akstinas, būtinas ir darbo vietos ergonominis



veiksny (Maldonado-Macías et al., 2015). Todėl darbo vietos ergonomiką metalo apdirbimo įmonėje nusako atitinkami norminiai aktai:

- HN 42:2009 „Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas“ (V-1081 Dėl Lietuvos higienos normos HN 42:2009 „Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas...“ 2009);
- HN 98:2014 „Natūralus ir dirbtinis darbo vietų apšvietimas. apšvietos mažiausios ribinės vertės ir bendrieji matavimo reikalavimai“ (V-520 Dėl Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2000 m. gegužės 24 d. įsakymo Nr. 277 „Dėl L...“ 2014);
- XIII-2711 Lietuvos Respublikos įstatymas dėl Tarptautinės darbo organizacijos 1930 m. konvencijos dėl prevencijos (XIII-2711 Lietuvos Respublikos įstatymas dėl Tarptautinės darbo organizacijos 1930 m. konvencijos dėl prive..., 2019);
- „Dėl Elektrinių ir elektros tinklų eksploatavimo taisyklių patvirtinimo“ (1-211 Dėl Elektrinių ir elektros tinklų eksploatavimo taisyklių patvirtinimo, 2012);
- „Dėl Galios elektros įrenginių įrengimo taisyklių patvirtinimo“ (1-1 Dėl Galios elektros įrenginių įrengimo taisyklių patvirtinimo, 2012);

Remiantis jais aplinkosauginiu aspektu svarbiausias yra pirmasis, kuris apibendrina ir taršą kietosiomis dalelėmis darbo vietoje.

Galandinimo operacija gamybos proceso metu nors ir yra parengiamoji, bet labai svarbi siekiant užtikrinti tolimesnį gamybos proceso efektyvumą, ypač kai kalbama apie metalo apdirbimo įmones (Rostek and Homberg, 2017). Taršos kietosiomis dalelėmis identifikavimas leidžia numatyti saugos priemones, būtinas užtikti tiek higienos reikalavimus, tiek darbo vietos ergonominius principus, juk atsirandantis darbuotojo nuovargis ir kiti sveikatos sutrikimai turi įtakos pačiam gamybos proceso efektyvumui.

Pagrindinis darbo objektas yra galandinimo staklių skleidžiama tarša kietosiomis dalelėmis.

Tyrimo **tikslas** – identifikuoti galandinimo staklių taršos kietosiomis dalelėmis mastą.

Tikslui išspręsti formuojami šie uždaviniai:

1. Taršos kietosiomis dalelėmis identifikavimas naudojant skirtingus prietaisus ir jų rezultatų koreliavimas.
2. Taršos kietosiomis dalelėmis identifikavimas pagal kietųjų dalelių dispersiškumą.

Tyrimo metodika

Prieš darant eksperimentinius tyrimus atliekamas matavimo prietaisų kalibravimas, siekiant patikrinti, ar prietaisai, kuriais bus atliekami eksperimentiniai matavimai, yra neužteršti ir tinkami eksperimentams atlikti. Tiriamoji medžiaga – 40 mm ilgio plieno strypeliai, kurie 60 sekundžių kontaktuodami su galandinimo staklėse besisukančiu galandinimo disku buvo nugalandinami po 5 mm. Kiekvieno bandymo ciklo metu buvo naudojami vis kiti, tačiau tos pačios sandaros plieno strypeliai.

Siekiant įvertinti darbinės aplinkos užterštumą bandymai buvo skirstomi į tris etapus. Pirmuoju etapu kietųjų dalelių analizatoriais buvo tiriamas bendras kietųjų dalelių kiekis esantis erdvėje, prieš pradėdant tyrimą bandymas buvo atliekamas 6 kartus. Antruoju etapu kietųjų dalelių analizatoriais buvo tiriamas kietųjų dalelių kiekis aplinkoje dirbant galandinimo staklėmis, kai buvo įjungtas galandinimo staklių abrazyvo ištraukimo mechanizmas su kietųjų dalelių nusodinimui skirtu oro filtru. Bandymas kartotas 6 kartus. Trečiuoju etapu kietųjų dalelių analizatoriais buvo tiriamas susidariusių kietųjų dalelių kiekis išvedinus tiriamąją aplinką, bandymas taip pat buvo kartotas 6 kartus.

Tyrimai buvo atliekami trimis etapais:

- prieš galandinimą;



- galandinimo metu;
- 1 val. po galandinimo.

Valanda po galandinimo buvo pasirinkta remiantis tuo, kad dažniausiai metalo apdirbimo įmonėse pasitaikanti pietų pertraukos trukmė yra 1 valanda. Jos metu staklynas nedirba ir galima optimali patalpų ventiliacija.

Tyrimo metu veikiant galandinimo staklėms kietųjų dalelių analizatoriai nuo staklių buvo nutolę 1 metro atstumu, kad galėtume užfiksuoti, kiek įmanoma artimesnį ryšį su žmogumi, dirbančiu prie galandinimo staklių ir įkvepiančiu aplinkoje susidariusių kietųjų dalelių, išsiskiriančių apdirbimo metu kiekį, patenkantį į žmogaus plaučius.

Bandymo metu naudoti kietųjų dalelių koncentracijos analizatoriai:

„APC ErgoTouch 2“ (dalelių skersmuo (6 kanalai) – 0,2 μm, 0,5 μm, 1 μm, 3 μm, 5 μm, 10 μm; matavimo laikas – sekundės; tūris – 0,01±5 % l/min. tikslumu).

TSI P-Trak dalelių matavimo diapazonas 2,5–10 μm, matavimo laikas – sekundės; tūris – 0,01±1 % l/min. tikslumu.

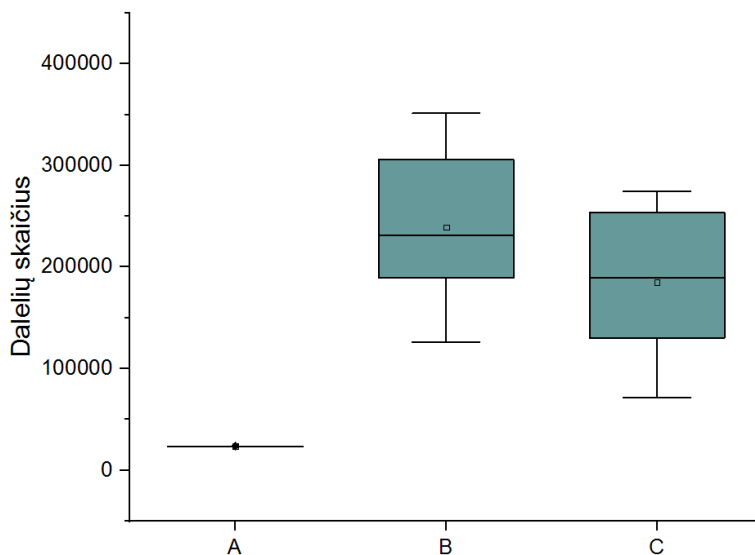
Atliktų bandymų duomenys iš oro dalelių kiekybinių pasiskirstymo analizatorių „Ergotouch Pro 2“ ir TSI P-Trak perkeliama apdoroti į kompiuterio operacinę sistemą. Akcentuojama, kad abu prietaisai yra specializuoti, t. y. pritaikyti matuoti patalpų taršą kietosiomis dalelėmis. Skiriasi jų tikslumas.

Tyrimo rezultatai

Tyrimo rezultatų vertinimą galima suskirstyti į dvi dalis:

- bendrasis kietųjų dalelių tyrimas, kurio metu apibendrinama suminė kietųjų dalelių koncentracija (dalelių dydis matuojamas 2,5–10 mikronų diapazonu);
- kietųjų dalelių tyrimas pagal jų dispersiškumą imamiems diapazonams 0,2 μm, 0,5 μm, 1 μm, 3 μm, 5 μm, 10 μm.

Tyrimo rezultatai atskleidė, kad kietųjų dalelių lygis prieš pradedant eksperimentą buvo pastovus ir jo pokyčio priklausomai nuo atliktų matavimų skaičiaus nebuvo (1 pav.).



1 pav. Taršos kietosiomis dalelėmis reikšmė (intervale 2,5–10 μm), kur A – tarša prieš galandinimo procesą; B – tarša galandinimo proceso metu; C – tarša išvedinus tiriamąją aplinką 1 valandą po galandinimo proceso

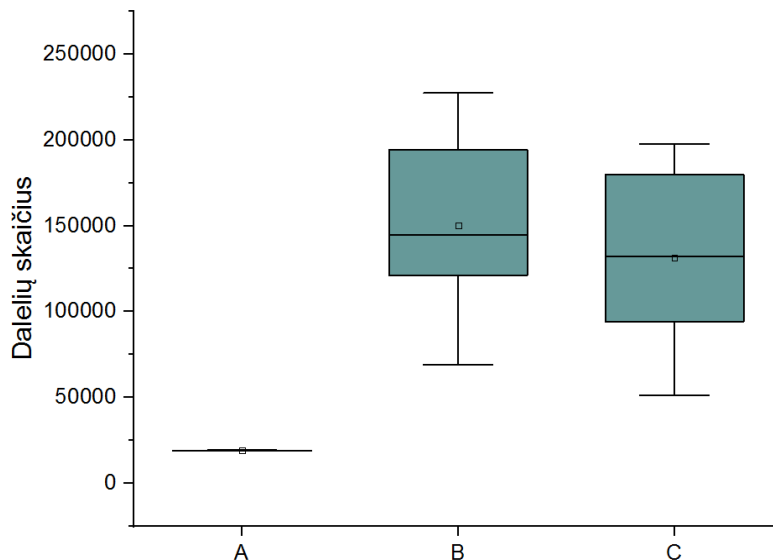
Fig. 1 Particulate pollution value (in the range of 2.5-10 μm), where A - pollution before the sharpening process; B - pollution during the sharpening process; C - pollution after derivation of the test environment 1 hour after the sharpening process



Galandinimo proceso metu dalelių išsibarstymas vyravo apie 236000 ribą ir priklausomai nuo eksperimentų skaičiaus kito 40 % lauko ribose (305000–223000 dalelių). Tyrimo metu pastebėtos ir dalelių skaičiaus reikšmės, išeinančios iš statistinio patikimumo ribų. Jos minimali reikšmė buvo 126000, o maksimali 351000 dalelių. Išvėdinus patalpą matomas žymus dalelių pokytis. Kietųjų dalelių sumažėjo visame matavimo intervale, dalelių išsibarstymas vyravo apie 187000 ribą ir priklausomai nuo eksperimentų skaičiaus kito 35 % lauko ribose (253000–133000 dalelių).

Tyrimo metu pastebėtos ir dalelių skaičiaus reikšmės išeinančios iš statistinio patikimumo ribų. Jos minimali reikšmė buvo 71000, o maksimali 274000 dalelių. Analizuojant rezultatus galima teigti, kad vienos valandos vėdinimo periodas yra nepakankamas, ir pagal stebimas tendencijas jį būtina ilginti tris kartus. Tačiau toks ilginimas nėra ekonomiškai pagrįstas, bet pritaikius specializuotas galandinimo patalpas ir patį procesą modeliuojant laike galima pasiekti kietųjų dalelių taršos rodiklius, buvusius prieš galandinimo proceso pradžią.

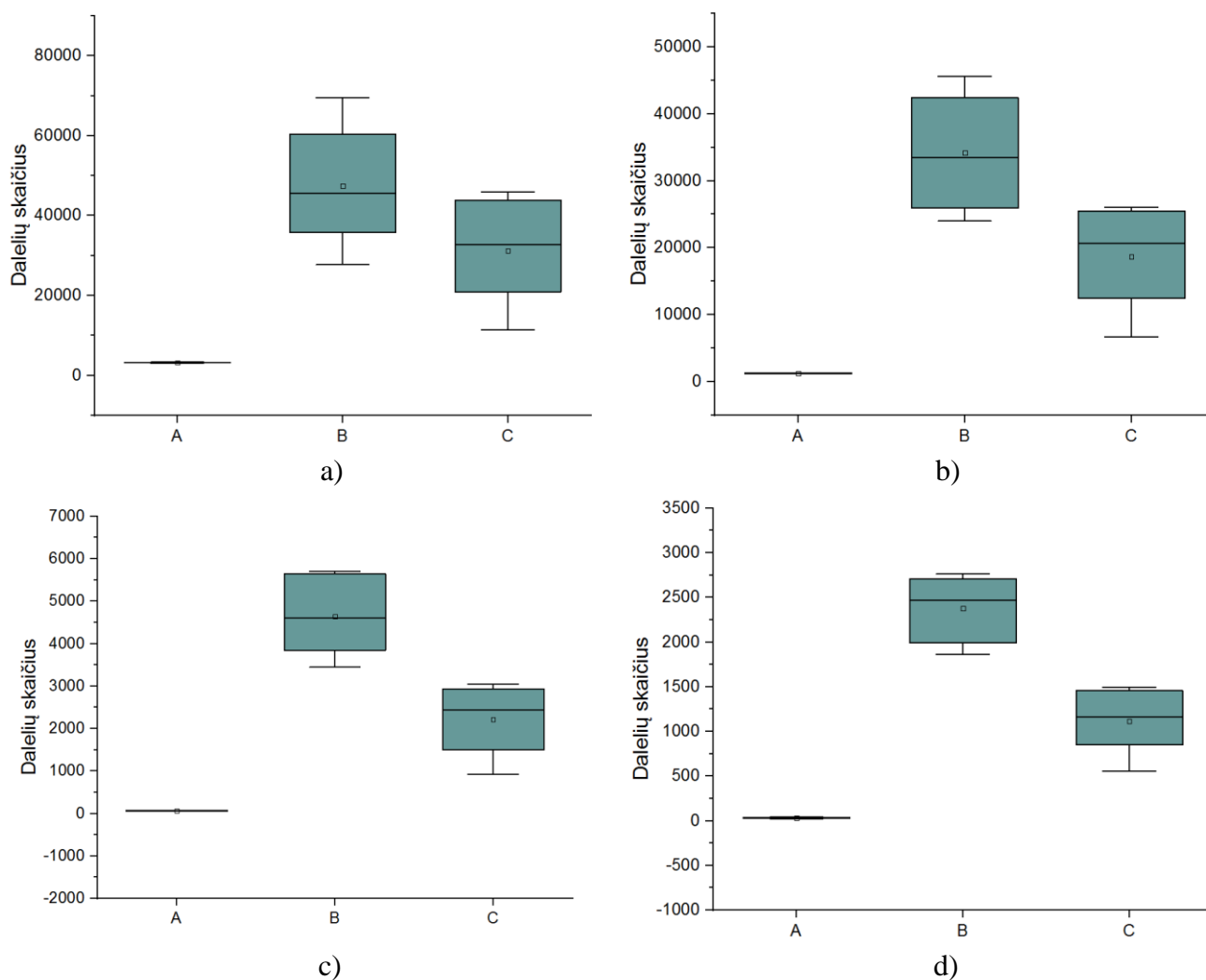
Analizuojant pačių mažiausių dalelių ($0,2 \mu\text{m}$) pasiskirstymą pastebėta (2 pav.), kad jų kiekis nors ir yra mažesnis patalpai išvėdinant vieną valandą, bet pakankamai didelis. Tai gali lemti darbo sąlygų pablogėjimą, kuris turės įtakos darbo efektyvumui. Todėl esant tokiai dalelių taršai būtina užtikrinti papildomą patalpų ventiliaciją. Dalelių išsibarstymo ribos yra labai panašios ir valandos laikotarpiu mažėja tolygiai.



2 pav. Taršos kietosiomis dalelėmis reikšmė (intervale $0,2 \mu\text{m}$), kur A – tarša prieš galandinimo procesą; B – tarša galandinimo proceso metu; C – tarša išvėdinus tiriamąją aplinką 1 valandą po galandinimo proceso
Fig. 2 Particulate pollution value (in the range of $0.2 \mu\text{m}$), where A is the pollution before the sharpening process; B - pollution during the sharpening process; C - pollution after derivation of the test environment 1 hour after the sharpening process

Pastebėta, kad jų kiekis yra labai artimas bendram kietųjų dalelių kiekiui, todėl galima teigti, kad jos naudojant šį matavimo prietaisą yra vyraujančios, nors kito prietaiso matavimo ribos buvo aukštesnės. Šis neatitikimas gali būti paaiškinamas skirtingu matavimo tikslumu (skiriasi matavimo prietaisų tikslumas).





3 pav. Taršos kietosiomis dalelėmis reikšmė, kur A – tarša prieš galandinimo procesą; B – tarša galandinimo proceso metu; C – tarša išvedinus tiriamąją aplinką 1 valandą po galandinimo proceso

Fig. 3 The value of particulate pollution, where A is the pollution before the sharpening process; B - pollution during the sharpening process; C - pollution after derivation of the test environment 1 hour after the sharpening process

Žiūrint į 3 (a-d) pav. pastebimas kietųjų dalelių skaičiaus mažėjimas didėjant jų dispersiškumui. Šios tendencijos yra logiškos vertinant tai, kad didesnės dispersijos kietosios dalelės turės didesnę masę ir nebus tokios aktyvios kaip mažesnės dispersijos kietosios dalelės.

Pastebima, kad didėjant kietųjų dalelių dispersiškumui mažėjo jų išsibarstymo laukas, tai lėmė trumpesnę kietųjų dalelių pakibimą matuojamoje terpėje ir atitinka kitų autorių darbuose nurodytas tendencijas dėl kietųjų dalelių masės ir išsilaikymo ore formuojant pirminius ir antrinius aerozolius.

Išvados

1. Analizuojant pačių mažiausių dalelių ($0,2 \mu\text{m}$) pasiskirstymą pastebėta (2 pav.), jų kiekis nors ir yra mažesnis patalpai išvedinant vieną valandą, bet pakankamai didelis. Tai gali lemti darbo sąlygų pablogėjimą, kuris turi įtakos darbo efektyvumui. Pirmą kartą registruojamų transporto priemonių skaičiaus analizė parodė ekonominės krizės laikotarpius, kurie neišryškėjo nagrinėjant bendrą transporto priemonių skaičiaus pokyčio tendenciją.



2. Galandinimo proceso metu pastebimas kietųjų dalelių skaičiaus mažėjimas didėjant jų dispersiškumui. Šios tendencijos yra logiškos vertinant tai, kad didesnės dispersijos kietosios dalelės turės didesnę masę ir nebus tokios aktyvios kaip mažesnės dispersijos kietosios dalelės.

Literatūra

- 1 1-1 Dėl Galios elektros įrenginių įrengimo taisyklių patvirtinimo (2012). Prieiga internete: <https://www.e-tar.lt/portal/legalAct.html?documentId=TAR.242AFDBB5BC9> (accessed 2.14.20).
- 2 1-211 Dėl Elektrinių ir elektros tinklų eksploatavimo taisyklių patvirtinimo. (2012). Prieiga internete: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/TAR.22696B8593A1> (accessed 2.14.20).
- 3 Bandyopadhyay, A., Zhang, Y., Bose, S., (2020). Recent developments in metal additive manufacturing. *Curr. Opin. Chem. Eng.* 28, 96–104. <https://doi.org/10.1016/j.coche.2020.03.001>
- 4 Chen, R., Yin, H., Cole, I.S., Shen, S., Zhou, X., Wang, Y., Tang, S., (2020). Exposure, assessment and health hazards of particulate matter in metal additive manufacturing: A review. *Chemosphere* 259, 127452. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.127452>
- 5 Johnson, N.S., Vulimiri, P.S., To, A.C., Zhang, X., Brice, C.A., Kappes, B.B., Stebner, A.P., (2020). Invited review: Machine learning for materials developments in metals additive manufacturing. *Addit. Manuf.* 36, 101641. <https://doi.org/10.1016/j.addma.2020.101641>
- 6 Liu, C., (2021). Digital Twin-enabled Collaborative Data Management for Metal Additive Manufacturing Systems 18.
- 7 Maldonado-Macías, A., García-Alcaraz, J., Reyes, R.M., Hernández, J., (2015). Application of a Fuzzy Axiomatic Design Methodology for Ergonomic Compatibility Evaluation on the Selection of Plastic Molding Machines: A Case Study. *Procedia Manuf.* 8.
- 8 Merklein, M., Schulte, R., Papke, T., (2021). An innovative process combination of additive manufacturing and sheet bulk metal forming for manufacturing a functional hybrid part. *J. Mater. Process. Technol.* 291, 117032. <https://doi.org/10.1016/j.jmatprotec.2020.117032>
- 9 Molaei, R., Fatemi, A., Phan, N., (2021). Notched fatigue of additive manufactured metals under axial and multiaxial loadings, Part I: Effects of surface roughness and HIP and comparisons with their wrought alloys. *Int. J. Fatigue* 143, 106003. <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2020.106003>
- 10 Petunin, A.A., Polishchuk, E.G., Ukolov, S.S., (2019). On the new Algorithm for Solving Continuous Cutting Problem. *IFAC-Pap.* 52, 2320–2325. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.11.552>
- 11 Rostek, T., Homberg, W., (2017). Locally Graded Steel Materials for Self-Sharpening Cutting Blades. *Procedia Eng.* 207, 2185–2190. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.979>
- 12 Senthil, S., Raguraman, M., Thamarai Manalan, D., (2020). Manufacturing processes & recent applications of aluminium metal matrix composite materials: A review. *Mater. Today Proc.* S2214785320366827. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.08.792>
- 13 Singh, H., Saxena, P., Puri, Y.M., (2020). Materials selection and manufacturing of metal membranes for industrial applications. *Mater. Lett.* 269, 127557. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2020.127557>
- 14 V-520 Dėl Lietuvos Respublikos sveikatos apsaugos ministro 2000 m. gegužės 24 d. įsakymo Nr. 277 "Dėl L... (2014). Prieiga internete: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/6377be60d58711e3b272e0e81c552d38> (accessed 1.6.21).
- 15 V-1081 Dėl Lietuvos higienos normos HN 42:2009 "Gyvenamųjų ir visuomeninių pastatų patalpų mikroklimatas... (2009). Prieiga internete: <https://e-seimas.lrs.lt/portal/legalAct/lt/TAD/TAIS.362676> (accessed 1.6.21).
- 16 XIII-2711 Lietuvos Respublikos įstatymas dėl Tarptautinės darbo organizacijos 1930 m. konvencijos dėl prive... (2019). Prieiga internete: <https://www.e-tar.lt/portal/lt/legalAct/370d23702ad511eabe008ea93139d588> (accessed 2.14.20).

Investigation of Particulate Pollution During the Sharpening Process

(Received in January, 2021; Accepted in February, 2021; Available Online from 11th of May, 2021)

Summary

With the modernization of industry and the increasing demands to ensure the sustainability of the working environment due to possible health disorders in the workplace environment, it was decided to examine the changes in pollution of particulate matter released during processing. Small solids are particularly permeable enough to penetrate



not only the smallest points of the bronchial lung, but can also contaminate blood circulation and cause chronic heart disease, so the study chose one of the possible operations of the metalworking process (sharpening process) and decided to identify the change in particulate pollution, assess the shortcomings of the working environment and provide effective solutions.

The study was carried out in a work environment with a worker working on a metal sharpening machine using steel blanks and directly measuring the amount of solids formed in three stages: before starting work, during work and 1 hour after turning off the sharpening machine (afternoon breaktime). For this purpose, particulate analyzers were used to determine the amount of particulate matter in the current operating environment.

To evaluate the results of the particulate test, we divided them into two parts, the general particulate test by summarizing the total particulate concentration (particle size measured in the range of 2.5-10 microns) and the particulate test according to their dispersity for the ranges 0.2 μm , 0.5 μm , 1 μm , 3 μm , 5 μm , 10 μm .

Analyzing the distribution of the smallest particles (0.2 μm), it was observed that their amount, although smaller after ventilating the room for one hour, is large enough to cause complications for the human body. This can lead to a deterioration of the working conditions, which affects the efficiency of the work. It has also been found that during the sharpening process a decrease in the number of solid particles is observed with increasing dispersibility. These trends are logical in considering that higher dispersion solids will have a higher mass and will not be as active as lower dispersion solids.

