PRIMERJAVA STANDARDNIH TESTNIH DELCEV Z REALNIMI IZ HIDRAVLIČNIH FILTROV

Matej Kunavar, Nejc Novak, Franc Majdič

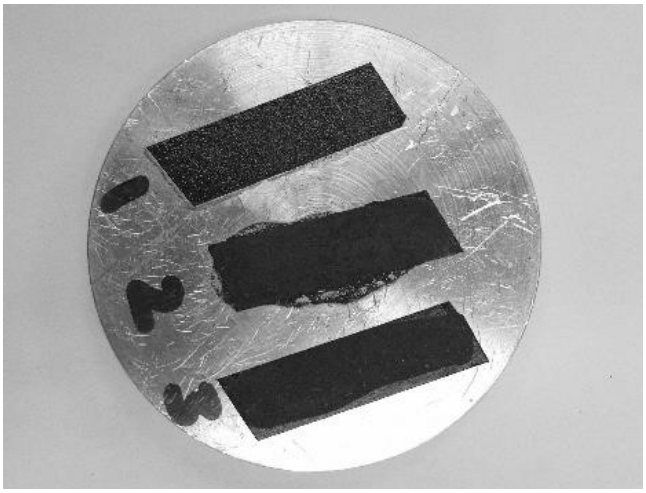
Izvleček:
V prvem delu prispevka smo predstavili razloge za pojav delcev znotraj hidravlične kapljevine [1]. Predstavljen je bil problem uporabe standardiziranega testnega prahu zaradi njegove abrazivnosti, ki je znatno bolj intenzivna kot pri realnih obrabnih delcih v hidravličnem sistemu [2–20]. Predstavili smo lastno metodo vzorčenja realnih delcev, ujetih v hidravličnem filtru. V drugem delu prispevka pa bomo predstavili postopek analize delcev ter primerjavo med dejanskimi delci znotraj hidravličnega sistema v primerjavi z delci standardnega testnega prahu MTD.

Ključne besede:
hidravlika, hidravlične kapljevine, filtracija, čistoča, delci, standardni testni prah, obraba, mikroskopiranje

1 Priprava in pregled vzorcev

Preparate za analizo smo pripravili tako, da smo najprej z acetonom in alkoholom očistili nosilno kovinsko ploščico, nato smo nanjo nalepili karbonski trak, ki je služil kot ozadje med mikroskopiranjem. Primer preparata je na *sliki 1*. Delce smo nato nanesli na karbonski trak. Pri nanašanju se je pojavil problem pri vzorcih prahu, ki so imeli pomešanih več steklenih vlaken iz filtra, saj so se ta med seboj povezovala v grudice. Grudice so padale na lepljiv karbonski trak. Delcev na teh območjih ni mogoče opazovati. To težavo smo reševali tako, da smo prilepljene grudice s pomočjo očiščenega noža za lepenko »razmazali« po površini traku. Vzorce smo za tem spihali še s kompresorjem. Trakove z vzorci smo označili s številkami.

Tako pripravljene preparate smo postavili v posebno komoro, kjer smo jih karbonizirali. Tanka plast



Slika 1 : *Preparat za opazovanje pod elektronskim mikroskopom*

Slika 2 : *Elektronski mikroskop JSM-IT-100 proizvajalca JEOL*

Matej Kunavar, dipl. inž., Kolektor ETRA, d. o. o., Ljubljana – Črnuče; **Nejc Novak**, mag. inž., **doc. dr. Franc Majdič**, univ. dipl. inž., oba Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

ogljika poveča električno prevodnost in izboljša kvaliteto slike. Delce smo opazovali po metodi analize SEM-EDS, ki kot rezultat vrne obliko delca in njegovo kemično sestavo. Uporabljena naprava je prikazana na *sliki 2* in se imenuje JSM-IT-100 proizvajalca JEOL.

Najprej smo naredili nekaj bolj splošnih pregledov celotnega vzorca pri 200-kratni in 500-kratni povečavi. Izvedli smo analizo kemične sestave vzorca po določeni površini in tako dobili predstavo o grobi elementarni sestavi določenih delcev. Nato smo se delcem tudi bolj približali pri 1000-kratni povečavi.

2 Opazovani delci

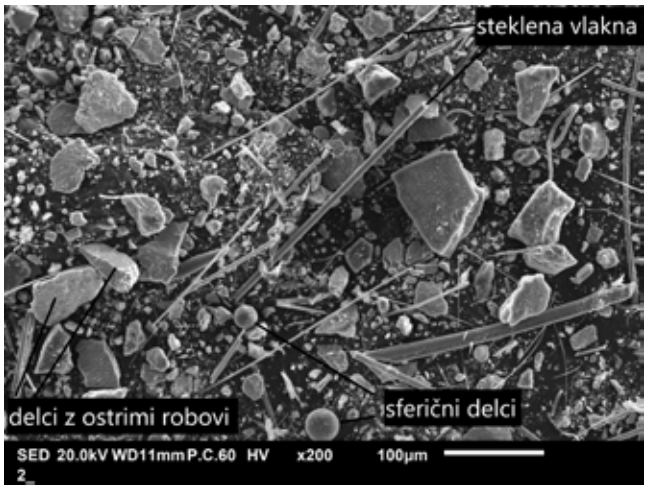
Za opazovanje z elektronskim mikroskopom smo pripravili en vzorec (*slika 3*) delcev iz industrijskega hidravličnega filtra R928017668 [21] in en vzorec (*slika 4*) standardnega testnega prahu (ISO 16889:2008), ki se uporablja predvsem za testiranje prevzemnosti hidravličnih filtrov [7–12, 19] in za določitev uporabne dobe hidravličnih komponent [22].

Slika 3 : *Izrezki filtra za vzorec industrijskih delcev*

Slika 4 : *Vzorec opazovanega testnega prahu (MTD po ISO 16889*

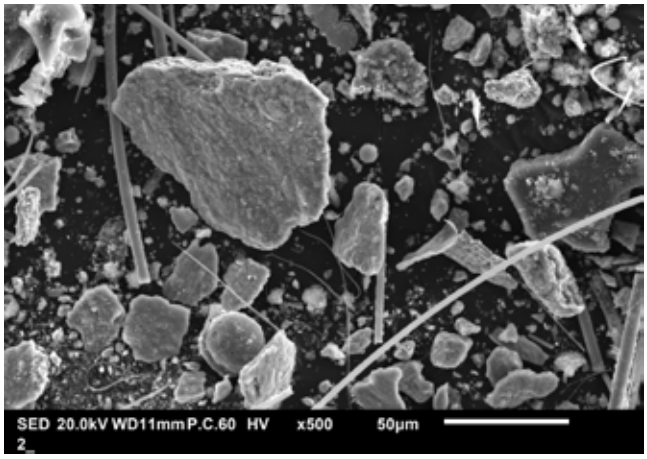
3 Vzorec industrijskih delcev

Slika 5 prikazuje industrijske delce pri 200-kratni povečavi, kjer smo poleg pričakovanih steklenih vlaken in ostalih delcev raznih nepravilnih oblik opazili delce, ki imajo skoraj popolno sferično obliko. Opazno je, da imajo delci nepravilnih oblik ostre robove. Delci so najrazličnejših velikosti. Največji imajo premere tudi do 100 μm.

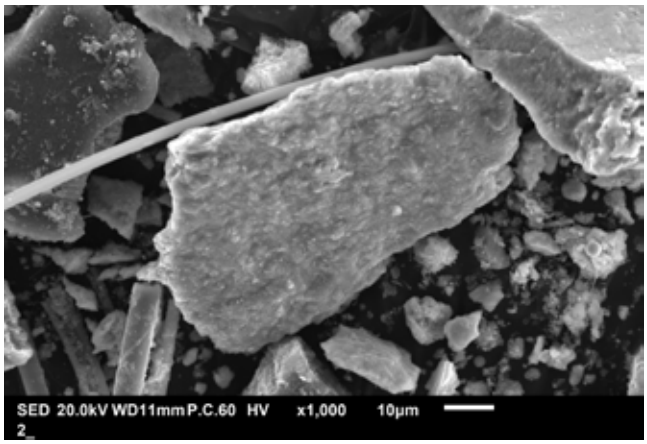


Slika 5 : *Industrijski delci vzorca pod elektronskim mikroskopom pri 200-kratni povečavi*

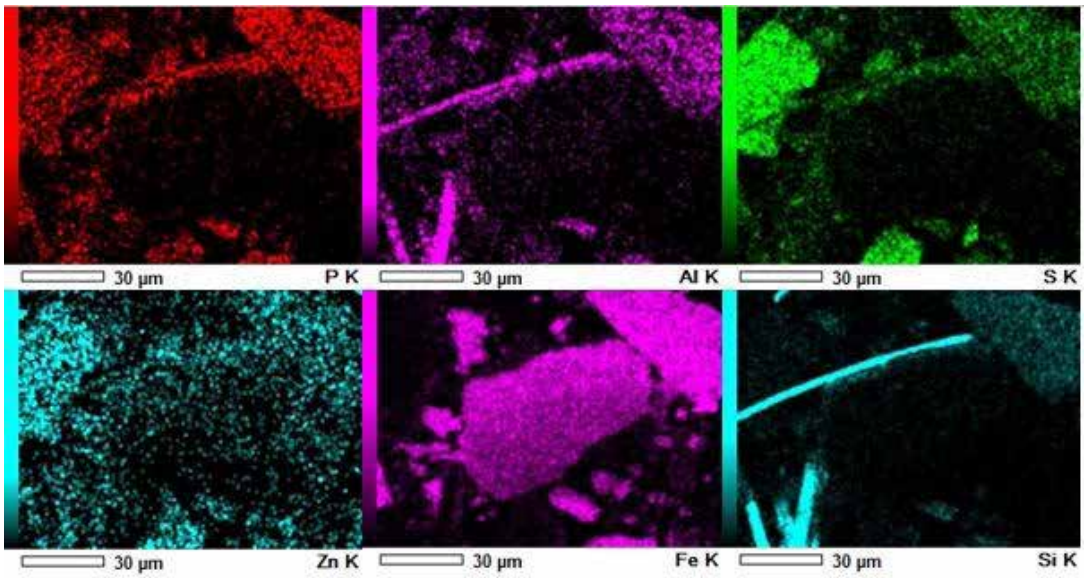
Sliki 6 in *7* prikazujeta delce istega vzorca pri 500-kratni in 1000-kratni povečavi. Pri večjih povečavah lažje odčitamo dimenzije najmanjših delcev, ki merijo okoli 1 μm in manj.



Slika 6 : *Industrijski delci pod elektronskim mikroskopom pri 500-kratni povečavi*



Slika 7 : *Industrijski delci pod elektronskim mikroskopom pri 1000-kratni povečavi*

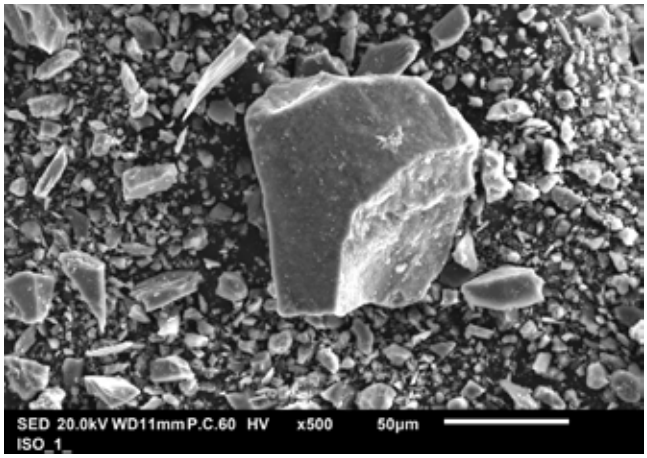


Slika 8 : *Rezultati SED-analize realnih delcev iz filtra pri 1000-kratni povečavi*

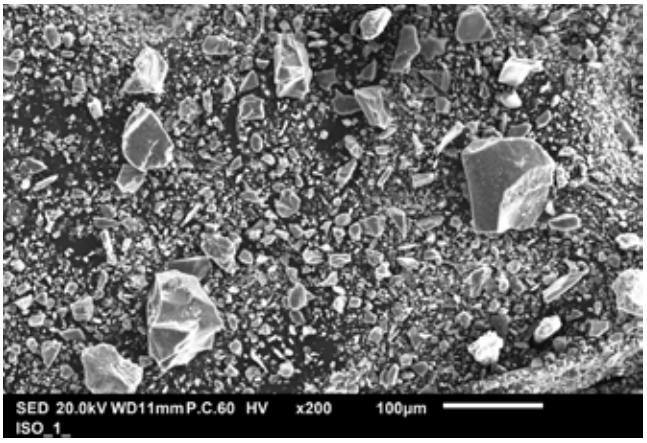
Na zajetem območju, ki ga prikazuje slika 7, smo izvedli tudi SED-analizo, ki nam je kot rezultat dala grobo kemijsko sestavo (ang »*chemical mapping*«) analiziranega območja. Slika 8 predstavlja kolaž slik, ki prikazujejo pogostost iskanega elementa na analiziranem območju. Pod vsako sliko v kolažu sta prikazana merilo in oznaka ciljnega elementa. Vidimo lahko, da vsi delci testiranega prahu, ki jih prikazuje slika 7, ne temeljijo ne železu oziroma je njihova površina do globine, ki jo še lahko analiziramo s SED-analizo, sestavljena iz drugih elementov. Poleg železa so najbolj izraziti atomi žvepla, silicija in cinka.

4 Vzorec testnega prahu

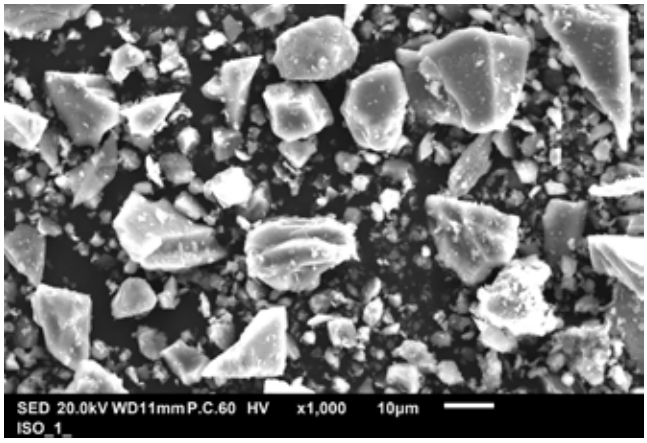
Delce standardnega testnega prahu MTD smo analizirali zgolj oblikovno, saj njihovo kemijsko sestavo že poznamo in nam jo poda njihov dobavitelj. Splošen pregled delcev pri 200-kratni povečavi prikazuje slika 9. Opazimo lahko, da so na preparatu delci različnih velikosti. Največji imajo premer do 100 µm. Delci so različnih nepravilnih oblik z ostrimi robovi.



Slika 10 : *Delci vzorca standardnega testnega prahu MTD pod elektronskim mikroskopom pri 500-kratni povečavi*



Slika 9 : *Delci vzorca testnega prahu MTD pod elektronskim mikroskopom pri 200-kratni povečavi*



Slika 11 : *Delci vzorca testnega prahu MTD pod elektronskim mikroskopom pri 1000-kratni povečavi*

Na *sliki 10* opazimo zelo oster konični delec. Najmanjši delci tega preparata merijo manj kot 1 µm (*slika 11*).

5 Zaključki

V zadnjih letih skupaj z razvojem proizvodnih tehnik in materialov hitro napredujejo tudi komponente hidravličnih sistemov, ki zagotavljajo vedno bolj precizno in pa tudi vedno hitrejše delovanje hidravličnih naprav. Splošno naraščanje zavedanja o pomenu čistoč hidravličnih kapljevin za vedno bolj precizne hidravlične sisteme je bilo tudi motivacija za to raziskavo, s katero smo pripomogli k boljšemu razumevanju te tematike. Z raziskavo smo ugotovili sledeče:

1. Delci, pridobljeni iz industrijskih hidravličnih filtrov, vsebujejo obrabne delce iz matičnega materiala hidravličnih komponent, delce površin, nastalih zaradi aditivov v hidravlični kapljevini, delce površin, nastalih zaradi površinskega obdelovanja matičnega materiala, delce filtra in sprijete elemente aditivov v sferične oblike.
2. Realni delci in delci standardnega srednjega testnega prahu so nepravilnih volumskih oblik, pri katerih nobena od dimenzij ne odstopa pretirano. Pri realnih delcih se pojavijo tudi delci v obliki lusk, pri katerih je ena od dimenzij opazno manjša od drugih dveh, česar pri testnih delcih ni opaziti.
3. Materialne lastnosti testnih delcev se razlikujejo od lastnosti realnih delcev. Če predpostavimo, da imajo vsi realni delci enake materialne lastnosti kot konstrukcijsko jeklo, ima do 9 % delcev standardnega srednjega testnega prahu do 200 GPa višji modul elastičnosti in do 255 MPa višjo natezno trdnost. Ti delci so zato bolj abrazivni od realnih delcev.

Literatura

[1] M. Kunavar, N. Novak, F. Majdič: Analiza realnih in testnih delcev v hidravličnih filtrih – 1. del, Ventil 1, letnik 27. (2021), str. 24–33.

[2] F. Majdič: 2. predavaje – teoreticne osnove – FT_30176 dostopno na: https://visfs.uni-lj.si/main.asp (23. 4. 2020).

[3] P. Shewman, G. Sundararajan. The erosion of metals. Ann. Rev. Mater. Sci. 13. (1983), str. 301–318.

[4] A. Jafari et al. Experimental comparison of abrasive and erosive wear characteristic of four wear-resistant steels: Wear. Author's accepted manuscript. Dostopno na: https://doi.org/10.1016/j.wear.2018.09.010 (25.4.2020).

[5] G. Stachowiak, A. Batchelor, Abrasive, Erosive and Cavitation wear: Engineering Tribology, Elsevier Butterworth-Heinemann, Oxford, 2005, str. 501–552.

[6] F. Majdič. Kavitacija in erozija v povezavi z abrazijo – obraba znotraj sestavin pogonsko-krmilne hidravlike: 2. izpit tribologija. Ljubljana, december 04–marec 05.

[7] N. Čegovnik, F. Majdič. Preizkušanje hidravličnih filtrov – večprehodni test po standardu ISO 16889:2008. Ventil 5, letnik 24 (2018), str. 382–389.

[8] SIST ISO 12103-1:1997. Road vehicles – Test dust for filter evaluation – Part 1: Arizona test dust.

[9] R. A. Fletcher, D. S. Bright: Shape factors of ISO 12103-A3 (medium test dust). Surface and microanalysis science division, november 2000, str. 49–56.

[10] Silica-Silicon dioxide (SiO2). Dostopno na: https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=1114, ogled: 27. 6. 2020.

[11] Alumina-aluminium oxide – Al2O3 – refractory ceramic oxide. Dostopno na: https://www.azom.com/properties.aspx?ArticleID=52, ogled: 27. 6. 2020.

[12] EN 10025 Grade S235JRG2C as-rolled condition (+AR). Dostopno na: https://matmatch.com/materials/minfm33146-din-17100-en-10025, ogled: 28. 6. 2020.

[13] ISO 4406:1999. Dostopno na: https://www.filtersolutions.co.uk/understanding-iso-44061999/, ogled: 23. 3. 2020.

[14] J. Pezdirnik, F. Majdič: Hidravlika in pnevmatika: zapiski za predavanja. Fakulteta za strojništvo. Ljubljana 2011.

[15] M. Kalin: predavanje Tribologija. Dostopno na: https://visfs.uni-lj.si/main.asp (23. 4. 2020).

[16] Zincdialkyldithiophosphate, Zincdiaryldithiophosphate (ZnDDP): Information on substances. Dostopno na: https://web.archive.org/web/20070807113518/http://apps.kemi.se:80/flodessok/floden/kemamne_eng/zinkdialkyl_eng.htm, ogled: 6. 5. 2020.

[17] D. Johnson: The tribology and chemistry of phosphorus-containing lubricant additives. V: Advances in tribology. Intech open sience open mind, str. 175–195.

[18] A. Vrhovnik: Dimenzioniranje hidravličnih filtrov. Celjski sejem 29. 3. 2016.

[19] ISO 16889:2008. Hydraulic fluid power – filters – multi-pass method for evaluating filtration performance of a filter element. Dostopno na: https://www.iso.org/standard/44870.html, ogled: 3. 5. 2020.

[20] K. Vos, N. Vandenberghe, J. Elsen: Surface textural analysis of quarz grains by scanning electron microscopy (SEM): From sample preparation to environmental interpretation. Earth-science reviews. Volume 128, str. 93–104.

[21] Filter elements for installation in hydac filter housings: type 9. and 10. filter elements. Rexroth bosch group: The drive and control company. RE 51457 (2013).

[22] R. H. Frith, W. Scott: Comparison of an external gear pump wear model with test data, Wear 196 (1996), str. 64–71.

Comparison of standard test particles with real ones from hydraulic filters

Abstract:
In the first part of the paper we present the reasons for the occurrence of particles in a hydraulic fluid. The problem of using a standardized test dust due to its abrasiveness, which is much stronger than that of real wear particles in a hydraulic system, was presented. We presented our own method for sampling real particles trapped in a hydraulic filter. In this, the second part of the paper, we present the method of particle analysis and the comparison between the real particles inside the hydraulic system compared to the particles of the standardized test dust (MTD).

In recent years, with the development of manufacturing techniques and materials, the components of hydraulic systems have also advanced rapidly, enabling us to operate hydraulic equipment with ever greater precision and speed. The general growing awareness of the importance of hydraulic fluid cleanliness for increasingly precise hydraulic systems was also the motivation for this research, which enables us to contribute to development. The research revealed the following:

1. Particles obtained from industrial hydraulic filters include wear particles from the base material of hydraulic components, surface particles formed by additives to the hydraulic fluid, surface particles formed by surface treatment of the base material, filter particles and adherent additive elements in spherical form.

2. Real particles and standard medium-test dust particles are both irregularly shaped volumes in which neither dimension deviates excessively. Real particles also have flaky particles where one of the dimensions is significantly smaller than the other two, which is not observed in test particles.

3. The material properties of the test particles differ from the properties of the real particles. Assuming that all real particles have the same material properties as mild steel, up to 9% of the standard mean test dust particles have up to 200 GPa higher elastic modulus and up to 255 MPa higher tensile strength. These particles are therefore more abrasive than real particles.

Keywords:
hydraulics, hydraulic liquids, filtration, cleanliness, particles, standard test dust, wear, microscopy

Zahvala

Vodji vzdrževanja hidravlike v SIJ ACRONI Metodu Smoleju, dipl. inž. str., se avtorji zahvaljujemo za darovane testirane rabljene filtre.
Vodji katedre in laboratorija TINT prof. dr. Mitjanu Kalinu in dr. Muhammadu Shahidu Arshadu se zahvaljujemo za pomoč pri mikroskopiranju delcev.

LABORATORIJ ZA FLUIDNO TEHNIKO

Smo laboratorij z dolgoletno tradicijo na področju fluidne tehnike. Ukvarjamo se z oljno in tudi ekološko prijazno vodno pogonsko-krmilno hidravliko, pri tem pa uporabljamo sofisticirano in sodobno merilno in programsko opremo.

Obrnite se na nas, če potrebujete:
- razvoj in optimiranje hidravličnih komponent in naprav,
- izdelavo hidravličnih naprav,
- izboljšave in popravila hidravličnih strojev in naprav,
- izdelavo sodobnega krmilja za hidravlične stroje,
- industrijsko izobraževanje na področju fluidne tehnike,
- ekološke hidravlične naprave na pitno vodo,
- nudimo visokotlačne trajnostne teste,
- nudimo testiranje hidravličnih filtrov ter izdelavo sodobne filtrirne naprave, ...

Univerza v Ljubljani
Fakulteta za strojništvo
Laboratorij za fluidno tehniko
Aškerčeva 6, 1000 Ljubljana
T: 01/4771115, 01/4771411
E: lft@fs.uni-lj.si
http://lab.fs.uni-lj.si/lft/