



Vliv povrchových mikronerovností a defektů



TEXT/FOTO: Michal Vaverka, Petr Šperka, Lukáš Zapletal, Martin Vrbka, Petr Svoboda, Ivan Křupka

Valivá ložiska, ale i jiné strojní součásti pracují za podmínek elasto-hydrodynamického nebo smíšeného mazání. V blízkosti mikronerovností a defektů na třecích površích dochází k významným změnám v rozložení tloušťky maziva a kontaktního tlaku, což může vést až k poškození. Tloušťka mazacího filmu v kontaktu a rozložení a velikost kontaktního tlaku je kritickým faktorem při návrhu i kontrole součástí z hlediska mezních stavů (pitting, zadrátání).

Povrchové nerovnosti, například na třecích površích ložisek (na oběžných drahách), vznikají buď přirozeně v důsledku výroby, nebo mohou být způsobeny jako defekt vtiskem cizí částice v mazivu (nečistoty, částičky opotřebení). V poslední době se na několika vědeckých tribologických pracovištích zkoumá pozitivní vliv mikrovrtisků na třecích površích. Významní výrobci ložisek mají patentovány různé typy povrchů se záměrně modifikovanými třecími povrchy. Je však otázkou, při jaké velikosti a rozložení vtisků mohou cíleně vytvářené modifikace, potažmo textury mikrovrtisků, způsobit snížení tření a opotřebení, nebo kdy mohou působit jako zásobníky maziva při rozběhu strojů a tím pozitivně ovlivnit únavový život součástí, například valivých ložisek. Na druhé straně působí mikrovrtisky jako koncentrátoři napětí. Při posuzování účinku těchto povrchových nerovností je vždy nezbytná znalost tloušťky mazacího filmu a kontaktního tlaku.

Přehled současného stavu problematiky

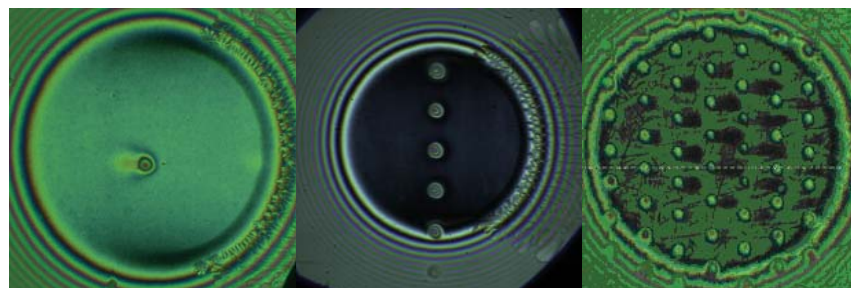
Existující teoretická řešení, např. [1], mohou poskytnout rozložení tloušťky a tlaku v mazaném kontaktu, nicméně limitující je časová náročnost pro podmínky tenkého mazacího filmu, zejména smíšeného mazání. Kaneta a kol. [2] uskutečnili mnoho měření s modelovými nerovnostmi o různém uspořádání a tvaru. Tato studie přinesla zásadní poznatky o chování povrchových nerovností v kontaktu a o vlivu provozních podmínek na tvar mazacího filmu v případech především tlustších mazacích filmů. S rozvojem optických metod bylo možné studovat i tenké mazací filmy, a to i v režimu smíšeného mazání [3] až [6]. Současné metody zjišťování kontaktního tlaku, popsané např. v [7], jsou časově

náročné, získaná data mají malé rozlišení, často vyžadují cizí objekty v kontaktu těles, většinou nejsou vhodné pro případ prokluzu dvou třecích povrchů, který se u reálných povrchů strojních součástí běžně vyskytuje, a vyžadují poměrně velkou tloušťku mazacího filmu, takže v případě tenkého mazacího filmu jsou přesné poznatky o velikosti a rozložení kontaktního tlaku v okolí povrchových nerovností nedostatečné. Proto je třeba kombinovat optické a numerické metody.

Metody řešení

Tloušťka filmu je měřena kolorimetrickou interferometrií (viz. obr. 1) a pomocí numerických metod je rekonstruováno pole kontaktního tlaku [8]. Jedná se o vcelku náročnou inverzní úlohu, kdy je z naměřené tloušťky filmu odseparován součet elastických deformací povrchů a z ní je inverzně vypočítán

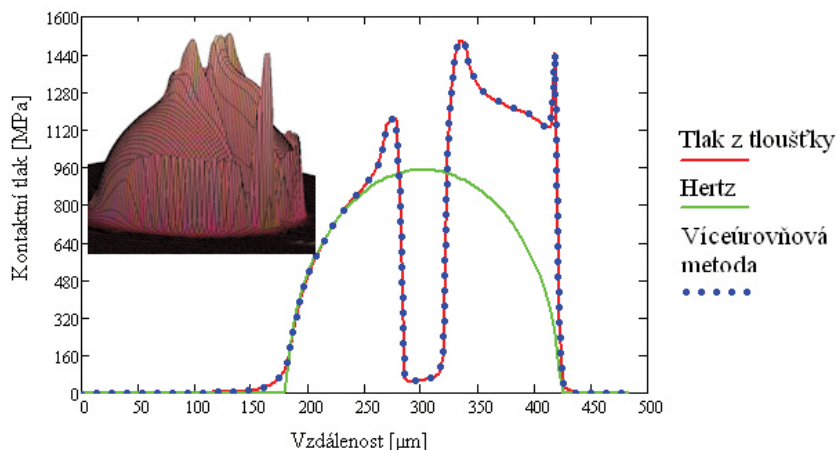
tlak. Pro urychlení výpočtů jsou aplikovány konvoluční algoritmy. Kontakt je realizován mezi ocelovou kluličkou a safírovým nebo skleněným rovinným diskem (viz. tab. 1). Výsledný tlak z experimentu je porovnáván s výsledky numerického řešení získaného pomocí víceúrovňové (multilevel) metody, jejíž výstupem je tloušťka i kontaktní tlak [9]. V rámci řešení uvedené problematiky je nutno řešit problém, kdy u hlubokých mikrovrtisků, t. j. 300 nm až 800 nm, je signál z interferometrie, tedy data popisující tloušťku filmu, méně kvalitní, a proto byla testována možnost predikovat elastické deformace uvnitř mikrovrtisku pomocí křivek amplitudového útlumu, jejichž platnost byla ověřena i experimentálně [10]. Dále byly provedeny testy kontaktní únavy povrchů s mikrovrtisky za podmínek elasto-hydrodynamického a smíšeného mazání [11].



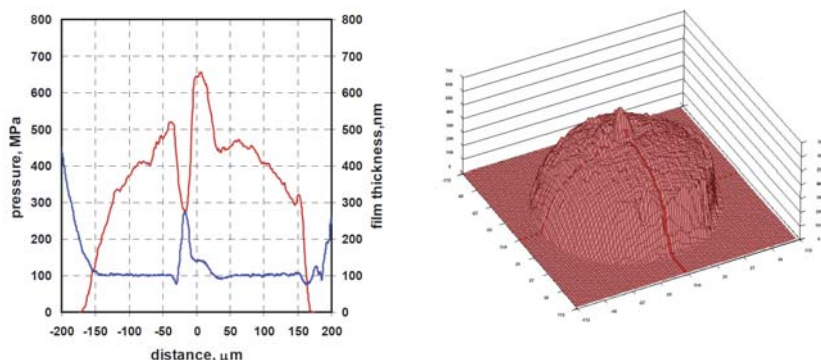
Obr. 1 Interferogramy naměřené tloušťky mazacího filmu pro případ jednoho (vlevo), řady (uprostřed) a textury (vpravo) mikrovrtisků

Modul pružnosti kuličky E_1	207 GPa	Zatěžující síla F	29 N
Modul pružnosti disku E_2	463 GPa	Dynamická viskozita maziva η	0,421 Pa·s
Poissonův poměr μ_1	0,3 [-]	Poloměr kuličky R	12,7 mm
Poissonův poměr μ_2	0,29 [-]	Redukovaný modul pružnosti E_r	313,7 GPa

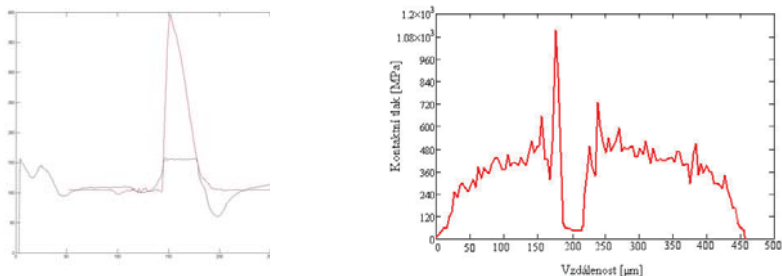
Tab. 1 Charakteristiky zatížení, geometrie a materiálu



Obr. 2 Výsledek rozložení kontaktního tlaku na povrchu s mikrovrtiskem ve směru valení pomocí numerického řešení (hloubka mikrovrtisku 700 nm)



Obr. 3 Výsledky rozložení kontaktního tlaku a tloušťky ve směru valení a tlaku ve 3D pomocí numerického řešení z experimentu pro prokluz 0,55 a hloubku mikrovrtisku 230 nm



Obr. 4 Odhad tloušťky mazacího filmu v místě 500 nm hlubokého mikrovrtisku z elastických deformací na základě amplitudového útlumu a vypočítaný tlak (bez prokluzu)

Výsledky řešení

Nejprve byla naměřena série experimentálních dat pomocí kolorimetrické interferometrie pro různé kombinace mikrovrtisků a různé provozní podmínky (viz. obr. 1). Konvoluční algoritmus výpočtu kontaktního tlaku byl úspěšně odladěn a verifikován pomocí víceúrovňové numerické metody (viz. obr. 2). Na obr. 3 je uveden příklad rekonstrukce pole kontaktního tlaku pro případ, kdy kulička v kontaktu se pohybuje rychleji než disk. Kromě významného nárůstu tlaku na okrajích vtisku a výrazného poklesu tlaku uvnitř vtisku můžeme pozorovat zajímavé nárůsty tloušťky mazacího filmu nejen vevnitř vtisku, což je logické, ale i na výstupní straně mikrovrtisku. Je zřejmé, že mazivo v tomto případě kladného prokluzu předbíhá polohu

mikrovrtisku na kuličku a poměrně výrazně deformuje třecí povrchy, tloušťka narůstá. Avšak v těchto místech je též výrazný nárůst tlaku, větší než na vstupní straně. V případě záporného prokluzu a rychlejšího disku oproti kuličce by tyto jevy nastaly na opačné straně mikrovrtisku. V současné době provádíme výpočty kontaktního tlaku s více mikrovrtisky na jednom třecím povrchu (řada nebo textura vtisků). Poznamenejme, že při zkouškách kontaktní únavy vznikl pitting na stejných místech, na jakých výsledky výpočtů ukazovaly výrazný nárůst kontaktního tlaku. Navíc, u určitého typu uspořádání vtisků (vzdálenost v textuře byla 75 μm , hloubka vtisků 600 nm) došlo k významnému prodloužení únavového života oproti hladkému vzorku a vzorku s mikrovrtisky hlubšími,

s větší vzdáleností od sebe. Predikce tloušťky mazacího filmu pomocí křivek amplitudového útlumu pro následný výpočet tlaku (viz. obr. 4) se ukázala jako nevhodná s výjimkou případů, kdy je výška mikrovrtisků srovnatelná s tloušťkou filmu, neboť určující veličinou je zde vlnová délka nerovností.

Závěr

V okolí povrchových nerovností vznikají výrazné změny v tloušťce filmu i v kontaktním tlaku. Výsledky testů kontaktní únavy ukazují pozitivní vliv mikrovrtisků na únavový život při určitých typech textur za určitých provozních podmínek, přičemž pozitivnější vliv mají hustěji uspořádané mělké mikrovrtisky (viz. výše). Tyto výsledky je však nutné statisticky ověřit na velkém počtu vzorků. Pozornost musí být dále orientována na zpracování měřeného signálu v místě mikrovrtisku, neboť predikce pomocí amplitudového útlumu je vhodná jen pro malé nerovnosti (např. drsnost povrchu). Avšak metodu útlumu chceme využít pro studium reálných povrchových nerovností. Stejně tak je možné užít metod rozkladu kontaktního tlaku [12], jehož informace mohou být nasuperponovány na základní výsledky z numerického řešiče založeného na multilevel metodách. Výsledky by mohly být v budoucnu užitečné i pro návrh valivých ložisek.

Poděkování

Článek vznikl za finanční podpory Grantové agentury ČR v rámci řešení grantového projektu GP 101/09/P427 a Grantové agentury AV ČR v rámci řešení projektu KJB201730903.



resumé

Influence of Surface Micro-Unevenness and Defects

Rolling bearings and other machine parts operate in elastohydrodynamic or mixed regime of lubrication. In surroundings of mikroasperities and surface defects significant changes in lubricant film thickness, which can lead to failure. The article deals with the influence of surface dents on film thickness and contact pressure distribution. These quantities are important for machine design in terms of failure (pitting and scuffing). Lubricant film thickness is measured by TCFI (Thin film colorimetric interferometry). Contact pressure is calculated using convolution algorithms. Results are verified by numerical multilevel methods. Rolling contact fatigue tests are also conducted. The results represent basic information, which can be important for design of friction surfaces of rolling bearings etc.



Literatura

- [1] Hu, Y. Z., Zhu, D. (2000), A Full Numerical Solution to the Mixed Lubrication in Point Contacts, ASME J. Tribol., 122, 1, pp 1 – 9.
- [2] Kaneta, M. Cameron, A. (1980), Effects of Asperities in Elastohydrodynamic Lubrication, ASME J. Lubr. Tech., 102, 3, pp 374 – 379.
- [3] Choo, J. W., Glovnea, R. P., Olver, A. V. and Spikes, H. A. (2003), The Effects of Threedimensional Model Surface Roughness Features on Lubricant Film Thickness in EHL Contacts, Journal of Tribology, Trans. of the ASME, 125, 3, pp 533 – 542.
- [4] Guangteng, G., Cann, P. M., Olver, A. V. Spikes, H. A. (2000), Lubricant Film Thickness in Rough Surface, Mixed Elastohydrodynamic Contact, ASME J. Tribol., 122, 1, pp 65 – 76.
- [5] Luo, J., Liu, S., We, S. (2001), Contact Ratio and Deformation of Asperity in Nanopartial Lubrication, Sci. China Ser. A, 44, Suppl, pp 78 – 85.
- [6] Hartl, M., Křupka, I., Liška, M., Fuis, V., Experimental Study of Lubricant Film Thickness Behavior in the Vicinity of Real Asperities Passing through Lubricated Contact, Tribology Transactions, 47, 2004, s. 376 – 385.
- [7] Cann, P. M., Spikes, H. A.: Measurement of Pressure Distribution in EHL-Development of Method and Application to Dry Static Contacts. Tribology Trans. 48, 2005, pp 474 – 483
- [8] Vaverka, M.; Vrbka, M.; Poliščuk, R.; Křupka, I.; Hartl, M.: Numerical Evaluation of Pressure from Experimentally Measured Film Thickness in EHL Point Contact, Lubrication Science, Vol. 20, (2008), No.1, , ISSN 0954-0075, John Wiley & Sons, Ltd. pp 47 – 59
- [9] Urbanec, L. Numerická simulace elastohydrodynamicky mazaného kruhového kontaktu nehladkých povrchů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007. 81 s.
- [10] Šperka, P., Křupka, I., Hartl, M.: Experimental study of real roughness attenuation in concentrated contacts. Tribology International (2009), doi:10.1016/j.triboint.2009. 11. 003
- [11] M. Vrbka, O. Šamánek, P. Šperka, T. Návrat, I. Křupka, M. Hartl: Effect of surface texturing on rolling contact fatigue within mixed lubricated non-conformal rolling/sliding contacts. Tribology International Vol. 43, Issue 8, August 2010, pp. 1 457 – 1 465.
- [12] C. J. Hooke: Roughness Attenuation And Pressure Rippling in EHL Contacts, R. W. Snidle and H. P. Evans (eds), IUTAM Symposium on Elastohydrodynamics and Microelastohydrodynamics, IUTAM Symposium on Elastohydrodynamics and Microelastohydrodynamics Solid Mechanics and Its Applications, Springer 2006, Vol. 134, Part 10, 411 – 422.

www.engineering.sk



**STROJÁRSTVO
STROJÍRENSTVÍ**

Aktuality

Články

Strojárstvo Extra

English

Deutsch

Registrácia

Príhlásenie

Aktuálne číslo

Newsletter

Celá obrazovka

Menu

**STROJÁRSTVO®
STROJÍRENSTVÍ**

OFFKARTA®
čas vyplniť





Zváranie metódou FSW

TEXT: Miroslav Sahul a kol. FOTO: archív redakcie

Zváranie FSW je pomerne nová technológia spájania kovov ako je napr. Al a Al zliatiny, Mg zliatiny, ale aj oceľ, Ti a pod. v pevnom stave. Proces bol vyvinutý Wayneom Thomasom na TWI (The Welding Institute) v roku 1991. Teploty, ktoré vznikajú v oblasti zvaru predstavujú zvyčajne 80 až 90 % teploty tavenia kovu.

Pri zváraní je rotujúci nástroj so špeciálne upraveným hrotom a ramenom vtlačávaný do rozhrania zváraných kovov. Ohrev nastáva v dôsledku trenia a plastickej deformácie materiálov.

Poznatky zo zvárania metódou FSW

Dostupné informácie ohľadom zvárania FSW zliatin na báze Mg sú obmedzené. Z uvedeného dôvodu je preto dôležité sledovať súčasný stav v oblasti zvariteľnosti týchto kovov. Na South China University of Technology boli vyhotovené zvary kombinovaných kovov. Použila sa Al zliatina s označením 5052 s Mg zliatinou AZ 31 hrúbky 6 mm. V porovnaní so základným materiálom bola mikroštruktúra oblasti premiešania výrazne zjemnená.

Zvary bez prítomnosti defektov boli vyhotovené pri otáčkach nástroja 600 ot/min a rýchlosti zvárania 40 mm/min. Veľkosť zrna v oblasti premiešania dosahovala hodnoty z intervalu 100 až 300 nm.

V uvedenom prípade bol pri zváraní použitý špeciálny Cu blok s kontinuálnou cirkuláciou tekutého dusíka, čo zabezpečilo zvýšenie rýchlosti ochladzovania. Zjemnenie zrna bolo dokumentované aj pri zváraní vysokopevnej ocele DP 590, hrúbky 1,6 mm. Zjemnenie zrna nastalo v dôsledku dynamickej rekryštalizácie austenitu. Štúdie sa zaoberajú aj tokom materiálu a vývojom štruktúry pri zváraní Mg zliatiny AZ 31 metódou FSW. Bolo zistené, že rameno nástroja má výrazný vplyv na tok materiálu v hornej časti zvarov. Materiál najskôr prechádza komplexnou deformáciou vyplývajúcou z kombinovaného vplyvu rotujúceho ramena a hrotu nástroja. Známe sú aj experimenty z oblasti hybridného zvárania laser – FSW s použitím ďalšieho

kovu (Ni fólia) za účelom eliminácie tvorby intermetalických fáz na báze Al-Mg. Zvárané boli kovy AZ31 a Al zliatina s označením A6061-T6. Hrúbky základných kovov boli 4 mm. V ďalšom prípade boli pri zváraní FSW zliatiny AZ31 v TMOO a v oblasti premiešania pozorované rovnoosé zrná. Hrúbka zváraného materiálu bola 2 mm. Nástroj bol vyrobený z ocele H13. Veľkosť zrna v oblasti premiešania klesala so zvyšovaním rýchlosti zvárania v dôsledku nižšieho tepelného príkonu.

Väčšina zvarov vyhotovených na zliatine AZ31, hrúbky 4,95 mm bola pri skúške ťahom porušená na rozhraní medzi oblasťou premiešania a TMOO na postupujúcej strane zvaru. Výskum bol realizovaný aj v oblasti vyhotovovania preplátovaných FSW spojov. Wei et al. realizovali zváranie Mg zliatiny AZ 31 s nehrdzavejúcou oceľou SUS302.

Chowdhury a kolektív sa zaoberali hodnotením vplyvu druhu závitov na únavovú pevnosť zvarov vyhotovených na zliatine AZ 31. Boli použité dva nástroje s rôznymi hrotmi. Jeden hrot mal vyhotovený pravotočivý závit a druhý ľavotočivý. Únavová pevnosť spojov bola vyššia v prípade zvarov vyhotovených nástrojom s ľavotočivým závitom. V spolupráci JWRI (Joining and Welding Research Institute), Osaka University a Harbin Institute of Technology boli analyzované zvary kombinácie Mg zliatin AZ 31 a AZ 80 (hrúbky 3 mm).

Skupina okolo Kannana študovala náchylnosť na korózne praskanie pod napätím plechu zo zliatiny AZ31 zváraného metódou FSW. Výsledky poukázali na vyššiu odolnosť zvaru proti koróznemu praskaniu v porovnaní so samotným základným materiálom. Pri testovaní v koróznom prostredí vznikla trhlinka v oblasti premiešania, kým u vzoriek

skúšaných na vzduchu boli trhliny pozorované v TMOO.

Záver

Príspevok poskytuje stručný prehľad z oblasti zvárania metódou FSW horčíkových zliatin. Uvedené materiály sa dostávajú čoraz do popredia, vďaka svojim fyzikálnym a iným vlastnostiam. Dominujúcim je pomer pevnosti ku hmotnosti. V rámci výskumu na Katedre zvárania MTF STU bolo úspešne vyriešené zváranie explóziou Mg zliatiny s hliníkom. V budúcnosti bude pozornosť zameraná na zváranie a zvariteľnosť rôznych druhov Mg zliatin tak v pevnom stave ako aj tavnými technológiami, či spájkovaním. Na základe literárnej rešerše sa ako veľmi perspektívna javí Mg zliatina s označením AZ 31. Konkrétny výskum bude realizovaný v spolupráci s VÚZ-PI SR Bratislava, ktorý disponuje s novo inštalovaným zariadením na zváranie metódou FSW z Číny.

Spoluautori: Tomáš Kupec, Tomáš Kramár, Jozef Ondruška, MTF, katedra zvárania, STU v Trnave.
Školiteľ: Prof. Ing. Milan Turňa, CSc.

PodĎakovanie:

Príspevok je realizovaný s podporou Grantovej agentúry VEGA MŠVVŠ SR a SAV, projekt č. 1/0842/09.

Autori príspevku budú participovať so školiteľom (zodpovedným riešiteľom) na výskume v rámci schváleného projektu VEGA MŠVVŠ a SAV č. 1/2594/12 pod názvom „Výskum metalurgického spájania a ďalších technologických procesov spracovania horčíkových a iných ľahkých zliatin progresívnymi a ekologicky vhodnými technológiami“ v rokoch 2012 až 2014.

r e s u m é

Welding method FSW

The contribution deals with analyzing the current state of the Friction Stir Welding (FSW) method. Brief description of the FSW method is given. Results achieved during welding by the method at various research institutions are also outlined. The article is focused mainly on the welding Mg alloys.

Separácia textílií z opotrebovaných pneumatík

TEXT/FOTO: Ing. Lucia Knapčíková, PhD., FVT TU Košice so sídlom v Prešove

Separácia textilu na vibračných sitách alebo aj sitová analýza, je metóda na stanovenie určovania veľkosti častíc hrubších a stredne hrubých látok. Je najviac používanou metódou separácie hlavne kvôli svojej nenáročnosti na prístrojové vybavenie a kvôli priamočiarej interpretácii nameraných výsledkov bez komplikovaných prepočtov.

Sitová analýza patrí medzi najlacnejšie a najjednoduchšie metódy. Je založená na použití sady sít so známymi priermi ôk na site. Sítá sú tvorené drôteným pletivom s presne definovanou hrúbkou drôtu a vzdialenosťou medzi jednotlivými drôtmami. Sitovaním sa získajú na každom site príslušné frakcie častíc, ktoré prešli všetkými vrchnými sitami, ale už nie spodným sitom. Počet sít, ktoré treba použiť, závisí od rôznorodosti priemerov meraných častíc, ale zvyčajne stačí 5 alebo 6 sít. Rozmery otvorov jednotlivých sít nie sú volené náhodne. Norma stanovuje všetky podrobnosti týkajúce sa sít, ako je veľkosť ôk, priemer drôtu, počet ôk na 1 cm², dovolené odchýlky a podobne. Sítá sa vyrábajú z bronzových drôtov. Pre veľkostnú analýzu sa volí 100 g vzorka pri priemere sít 20 cm. Suché sitovanie sa aplikuje pre relatívne veľké, nekohézne prášky. Jemné a kohézne prášky sa musia analyzovať mokrým sitovaním. Podľa konvencie sa prášky pod 40 μm nazývajú podsitné prášky. Na sitovú analýzu veľmi jemných častíc pod 40 μm sa používajú mikrositá vyrobené z kovových fólií elektrochemickou metódou. Umožňujú sitovú analýzu asi až do 5 μm, ale v dôsledku aglomerácie častíc a adhézie častíc k pletivu má menší praktický význam.

Materiál a metódy

Vstupným materiálom boli opotrebované pneumatiky. Po recyklácii tejto odpadovej komodity sa odseparovali tri zložky, konkrétne guma, textil a kov. Vplyvom rozvoja motorizmu a výroby automobilov produkcia pneumatík celosvetovo rastie. Okrem iného je to aj množstvo pneumatík, ktoré prestali plniť svoju funkciu, a tým sa dostali medzi odpadové suroviny. Najvýznamnejšími vedľajšími produktmi po zhodnocovaní opotrebovaných pneumatík sú gumová drvina,

textil a oceľ. V súčasnosti sú známe mnohé technológie, ktoré zhodnocujú tento odpad. Najvýznamnejší podiel v produkcii má výroba gumového granulátu, ktorého možnosti použitia sú známe. Oceľ je zložka, s ktorou sa tiež nakladá pomerne ľahko. Po odseparovaní putuje ďalej na spracovanie. Jedinou zložkou, s ktorou sa v súčasnosti experimentuje, je textil. Pre svoje tepelnoizolačné a zvukovo izolačné vlastnosti má tiež svoje miesto v cestnom staviteľstve. Vo veľkej miere sa však tento druh odpadu spaľuje vo forme briekiet, pričom jeho výhrevnosť 25,63 MJ.kg⁻¹ je porovnateľná s inými druhmi palív.

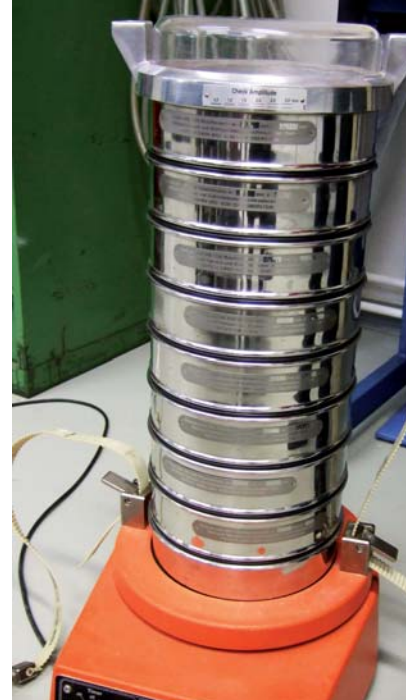


Obr. 1 Textília z opotrebovaných pneumatík

Vzorka textílií bola podrobená suchému sitovaniu na príslušnom stroji, ktorého parametre sú uvedené v tabuľke 1.

Tab. 1 Základné charakteristiky separácie na vibračných sitách

Zariadenie (sitový separátor)	FRITSCH (Nemecko)
Hmotnosť vzorky	100 g
Sítá – priemer	0,9 – 0,09 mm
Vibrácie	permanentné
Doba pôsobenia	2 x 15 min
Norma	ISO 3310-1



Obr. 2 Vibračné sítá

Výsledky sitovej analýzy sú ovplyvnené vlastnosťami vzorky:

- ▶ hustota, objemová hustota – určujú objem návažku,
- ▶ krehkosť – spôsobuje rozpájanie materiálu počas preosievania,
- ▶ hygroskopické vlastnosti (náchylnosť k agregácii),
- ▶ zmeny sušením (náchylnosť ku štruktúrálnym zmenám),
- ▶ tvar častíc závisí od predchádzajúcej úpravy vzorky – chemická reaktivita, oxidácia alebo na reakcii s materiálom sítá.

Priebeh merania

Podľa príslušnej normy sa nastavili počiatkové podmienky merania na vibračných sitách. Hmotnosť skúšobnej vzorky bola 100 g. Sítá mali kruhový priemer 200 mm a boli zariadené od najmenšieho po najväčšie. V meraní vystupovali sítá s priemerom ôk od 0,09 mm do 0,9 mm. Na obrázku 2 je znázornený prístroj na sitovú analýzu, na ktorom sa uskutočnila separácia textilnej zložky od nežiadúcich prímiesi.

resumé

Method of Textile Material Separation from Worn-Out Tyres

The required fraction of textile can be obtained by means of the vibrating sieves method. This method enables a separation of textile from rubber dust, rubber particles, cord and metal. There are applied sieves arranged above each other with the various diameters of sieve meshes. The measurement was performed in the laboratory conditions using sieve meshes with the diameters from 0,09 mm to 0,9 mm. Thanks to this separation method we gained the required purity of the textile, which is normally a waste raw material from the worn-out tyres.



Pri meraní boli namerané nasledujúce údaje s daným množstvom v jednotlivých sitách, ktoré sú uvedené v nasledujúcej tabuľke 2.

Tab. 2 Namerané údaje pre jednotlivé sitá pri sitovej analýze, vzorka 100 g – 1. separácia

Frakcia d [mm]	0,71	0,56	0,45	0,32	0,22	0,16	0,125	0,09	0
Hmotnosť m [g]	69,15	1,34	3,63	4,03	4,27	0	8,39	1,94	1,25

Po skončení sitovej analýzy sme odvážili jednotlivé množstvá v sitách. V site s frakciou 0,16 mm sa nenachádzala žiadna vzorka textílie. Nasledujúce merania sa už robili s vynechaním daného sita, bez frakcie 0,16 mm. Merania sú uvedené v tabuľke 3.

Tab. 3 Namerané údaje pre jednotlivé sitá pri sitovej analýze, vzorka 100 g – 2. separácia

Frakcia d [mm]	0,9	0,56	0,45	0,32	0,22	0,125	0,09	0
Hmotnosť m [g]	57,29	9,23	4,21	5,02	0,31	10,80	3,35	1,35

Na sústave n -sít s rozmermi strany štvorcového prepádového otvoru B_1, B_2, \dots, B_n získame $n+1$ frakcií. Na sitách budú hmotnostné zvyšky frakcií m_1, m_2, \dots, m_n , ktorých ekvivalentný priemer častice (frakčný rozmer) x_i je daný:

A, pomocou veľkosti otvorov sita B_i a predchádzajúceho sita B_{i-1} podľa vzťahu:

$$x_i = \sqrt{B_i \cdot B_{i-1}} \quad \text{ak} \quad \frac{B_{i-1}}{B_i} > 2 \quad (1)$$

B, aritmetickým priemerom, ak predchádzajúca podmienka neplatí:

$$x_i = \frac{B_{i-1} + B_i}{2} \quad (2)$$

Vo väčšine prípadov však výrobca preosievacích sít udáva priamo hodnotu ekvivalentného priemeru častíc x_i . Súčtová hmotnosť vzorky m je daná sumou:

$$m = \sum_{i=1}^{n+1} m_i \quad (3)$$

Tá bude vždy menšia o stratu počas triedenia oproti hmotnosti vzorky pre analýzu. Frakčné hmotnostné podiely zvyšku r_i (nazývané aj nadsitné podiely) a prepadu d_i (nazývané aj podsitné podiely) vypočítame podľa vzťahov:

$$r_i = \frac{m_i}{m} \quad (4)$$

$$d_i = \frac{m_{i+1}}{m} \quad (5)$$

Úhrnný zvyšok R_i na i -tom site a úhrnný prepád D_i na i -tom site možno vyjadriť pomocou frakčných hmotnostných podielov takto:

$$R_i = r_1 + r_2 + \dots + r_i \quad (6)$$

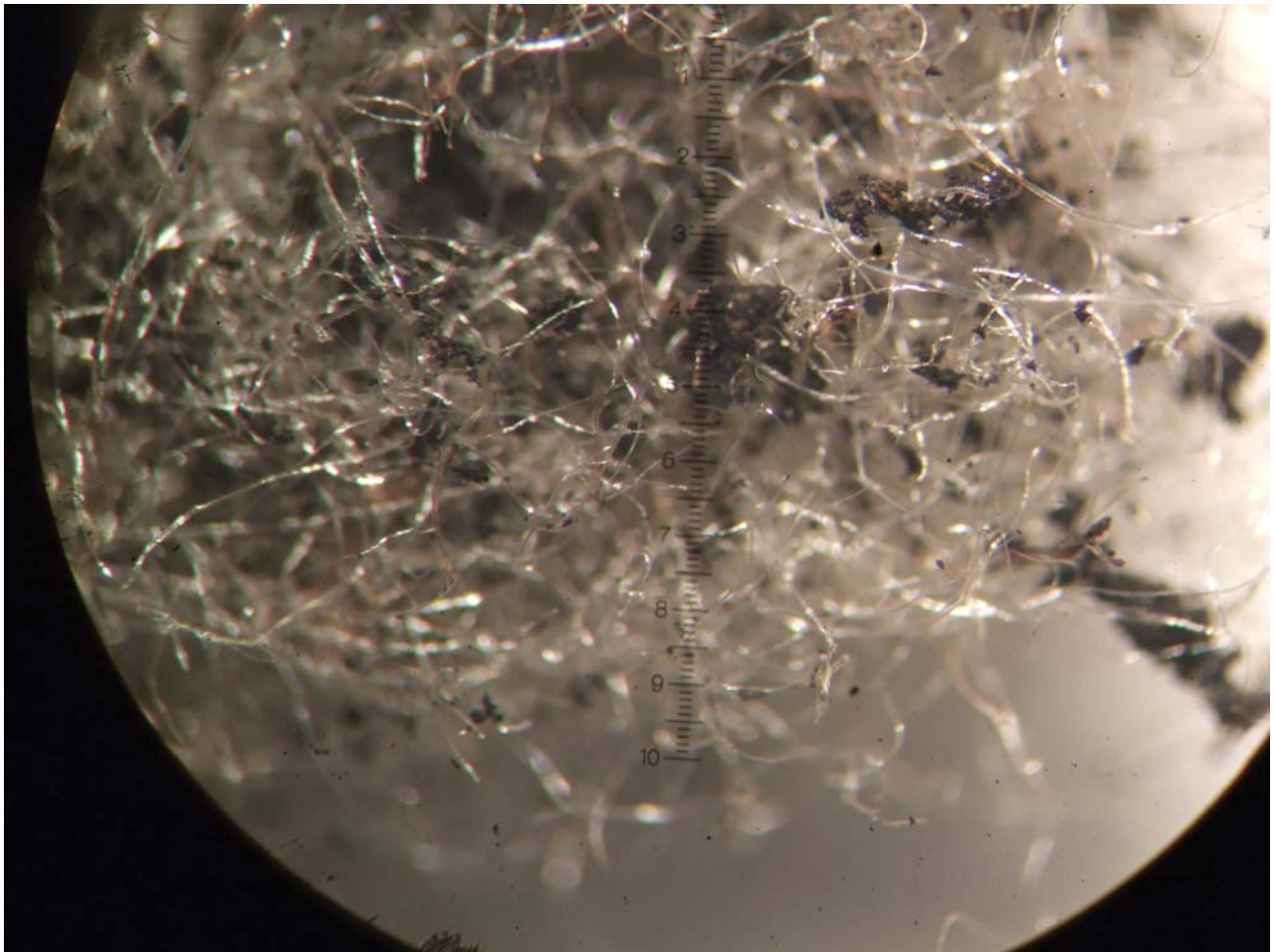
$$D_i = d_i + d_{i+1} + \dots + d_n \quad (7)$$

V tabuľke 4 sú vypočítané hodnoty pre úhrnný zvyšok, úhrnný prepád a samotný zvyšok na jednotlivých sitách. Pomocou predchádzajúcich vzťahov sa docielili výsledky:

Tab. 4 Vypočítané hodnoty pri sitovej analýze

Poradie sit	Charakteristický rozmer x_i [mm]	Hmotnosť na site m_i [g]	Zvyšok r_i [%]	Úhrnný zvyšok R_i [%]	Prepad d_i [%]	Úhrnný prepád D_i [%]
1	0,09	57,29	0,5729	57,29	0,0923	9,23
2	0,125	9,23	0,0923	9,23	0,0421	4,21
3	0,22	4,21	0,0421	4,21	0,0502	5,02
4	0,32	5,02	0,0502	5,02	0,0310	0,31
5	0,45	0,31	0,03	0,31	0,0880	8,80
6	0,56	8,80	0,09	8,80	0,0335	3,35
7	0,9	3,35	0,0335	3,35	0,5729	57,29
Σ	–	91,00	0,9100	91,00	0,9100	91,00

Zároveň so separáciou sa vzorka skúmala pod svetelným mikroskopom Zeiss, pri 40-násobnom zväčšení, sledovalo sa, že vzorka po odseparovaní obsahuje ešte gumové častice, ktoré sú spletené do textílií. Kov, ktorý sa v materiáli nachádzal pred separáciou, nebol v našej vzorke prítomný. Na obrázku 3 je znázornený pohľad pod svetelným mikroskopom.



Obr. 3 Textília z opotrebovaných pneumatík pod svetelným mikroskopom, 40-násobné zväčšenie

Záver

V príspevku sme sa zamerali na separáciu textilnej zložky z opotrebovaných pneumatík. Separácia na vibračných sítach prebiehala permanentne 2 x 15 minút, kde sme na po sebe idúcich sítach dosiahli oddelenie jednotlivých častí, konkrétne textil, gumový kord, gumový prach a časti kovu. Z nameraných charakteristík sme vypočítali hodnoty charakteristické pre sitovú analýzu. Pre našu analýzu bolo jednoznačné zistenie, že čistota odseparovanej textílie bola 57,29 percenta.

Separáčna metóda nám priniesla zistenie, akú čistotu možno dosiahnuť v laboratórnych podmienkach pomocou vibračných sít.

Literatúra

- [1] HANZEL, M., Frakčné rozdelenie partikulárnych látok sitovaním [online][cit. 2010-10-03]
Dostupné na internete: <<http://www.stifners.sk//kchsz.sjf.stuba.sk/>>
- [2] KNAPČÍKOVÁ, L., Optimalizácia technologických procesov pri zhodnocovaní plastov, FVT Prešov, s.186, 2011
- [3] LIPTÁKOVÁ T., ALEXY P. a kol., Polymérne technické materiály, Vysokoškolská učebnica, 2009