

Kovokeramické trecie materiály využívané v práškovej metalurgii

Elena Kantoríková, Ing., PhD.*

Katedra technologického inžinierstva, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina.
E-mail: elena.kantorikova@fstroj.uniza.sk, Tel.: + 421 41 513 2763

Metal-ceramic friction materials used in powder metallurgy

Abstract: Metal-ceramic materials are produced from a mixture of metal and ceramic powders. These are primarily sintered carbides for cutting tools and friction materials for brake linings. Their use is important in cases where it is not possible to use normal friction materials. Important is a high coefficient of friction even at high temperature, good thermal conductivity, strength and resistance to abrasion.

Keywords: powder metallurgy, metal-ceramic friction materials, mechanical properties.

ÚVOD

Kovokeramické trecie materiály sú spekané heterogénne materiály na obloženie spojok a bŕzd pre veľmi výkonné dopravné prostriedky (lietadlá, električky), stroje a prepravné mechanizmy. V týchto prípadoch nevyhovujú bežne používané nekovové trecie materiály. Pre uvádzané použitie je nevyhnutný veľký súčiniteľ trenia aj pri vysokej teplote, dobrá tepelná vodivosť (odvod tepla vzniknutého trením), potrebná pevnosť, oteru vzdornosť a pri spojkových obloženiach mäkký záber (pomalý vzrast súčiniteľa trenia pri konštantnom tlaku). Spekané obloženia sú z práškového *cínovo-oloveného bronzu* s prísadou grafitu a jemne mletého kremeňa. Kremeň zvyšuje súčiniteľ trenia. Medzi trenými povrchmi vzniká oterom prach (zmes oxidov a grafitu), ktorý udržiava hodnotu súčiniteľa trenia medzi 0,3 až 0,5. Obloženie sa nemôže zadierať či už vplyvom ochranného povlaku oxidového a grafitového prachu a ďalej najmä preto, že olovo sa pri preťažení (prevýšení bodu tavenia olova) začne taviť a vykvapkávať z povrchu. Tým sa suché trenie zmení na kvapalnú a súčiniteľ trenia sa udrží v potrebných hraniciach.

Prášková metalurgia (*PM*) je technológia, ktorou je možné vytvárať polotovary, prípadne aj hotové výrobky, spájaním kovových aj nekovových materiálov, ktoré sa nachádzajú vo forme prášku. Spájanie prebieha kombináciou tlakového a tepelného pôsobenia, pričom teploty pri spájaní materiálov sú vždy nižšie ako teplota tavenia aspoň jednej zo spájaných zložiek. Spájanie jednotlivých zložiek tepelným spracovaním, pri ktorom sa dosiahne požadovaná pevnosť polotovaru sa v *PM* nazýva spekanie.

Základnou výhodou *PM* oproti iným technológiám výroby je takmer 100% využitie materiálu, s čím súvisí aj úspora nákladov na dodatočné opracovanie. Výhodná je aj výroba heterogénnych materiálov, ktoré by sa nedali vyrobiť napr. zlievaním, resp. materiálov s vysokou teplotou tavenia. Rovnako ako iné strojárské technológie, aj *PM* má určité nevýhody. Jednou z nich je vysoká nákladnosť strojného vybavenia, preto dostatočná efektívnosť je dosahovaná len pri veľkosériovej výrobe. Ďalšou nevýhodou je nižšia hutnosť výrobkov práškovej metalurgie, čo sa prejavuje na ich nižších mechanických vlastnostiach [1].

Výroba spekaných materiálov *PM* zahŕňa niekoľko krokov. Ide o 4 základné operácie:

1. Príprava kovového prášku, kedy sa prášky vyrábajú mechanickými (drvenie, mletie), chemickými (redukcia oxidov) a elektrochemickými spôsobmi.
2. Zhutňovanie prášku, ktoré sa dosahuje s alebo bez použitia tlaku. Pri zhutnení dostáva zmes požadovaný tvar výrobku a relatívnu hustotu.
3. Spekanie, pri ktorom materiál prechádza z práškového stavu do kompaktného. Teploty spekania sú od 60 % do 85 % teploty tavenia niektorej zo spekaných zložiek.
4. Dokončovacie operácie, pri ktorých sa po spekaní zlepšuje rozmerová presnosť, tvrdosť, oteruvzdornosť, korózná odolnosť atď.

1 KOVOKERAMICKÉ TRECIE MATERIÁLY

Kovokeramické trecie materiály (*KTM*) predstavujú skupinu heterogénnych materiálov vyrábaných

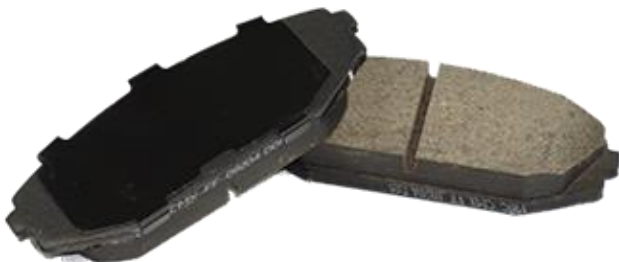
spekaním kovových prípadne nekovových práškov, ktoré sú charakteristické vysokou oteruvzdornosťou, teplotnou stabilitou a stabilným priebehom koeficientu trenia. Dané vlastnosti predurčujú *KTM* pre použitie v oblastiach, kde sa vyžaduje vysoký trecí koeficient aj pri zvýšených teplotách, dobrý odvod vzniknutého tepla pri trení a odolnosť voči opotrebeniu. Takýmito oblasťami sú napríklad letecký priemysel (použitie *KTM* pri výrobe brzdových segmentov dopravných lietadiel), prípadne automobilový priemysel (*KTM* ako súčasť spojkových a brzdových obložení) [2]. Príklady produktov s využitím *KTM* sú na obr. 1 až obr. 3.



Obr. 1. Brzdový systém lietadla



Obr. 2. Trecie segmenty spojky



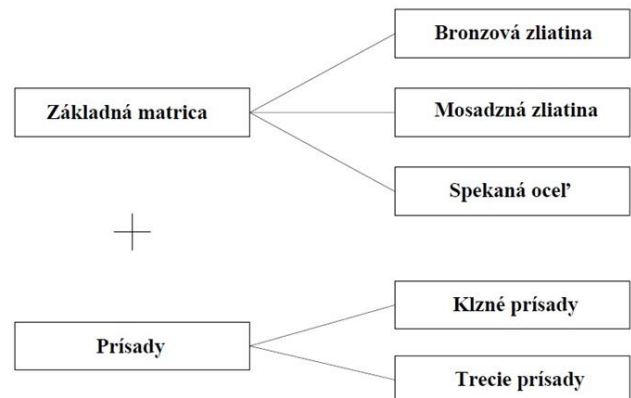
Obr. 3. Brzdové obloženie

Požiadavky kladené na *KTM*:

- koeficient trenia nesmie byť ovplyvnený prevádzkovými podmienkami,
- schopnosť odolávať vysokým prevádzkovým teplotám,
- materiál musí byť odolný voči zadieraniu,
- vyhovujúce mechanické vlastnosti,
- vyhovujúca tepelná vodivosť,
- odolnosť voči korózii.

1.1 Štruktúra kovokeramických trecích materiálov

Štruktúra kovokeramických trecích materiálov je heterogénna, skladajúca sa zo základnej matrice a prísad. Základná kovová matrica sa podieľa na zabezpečení vyhovujúcich mechanických vlastností a tiež na dostatočnom odvode tepla, ktoré vzniká pri trení. Najpoužívanejšie kovové matrice sú na báze bronzu a mosadze, prípadne sa pre vysokoteplotné aplikácie používa spekaná oceľ. Základné zložky kovokeramických trecích materiálov sú uvedené na obr. 4.



Obr. 4. Štruktúra *KTM*

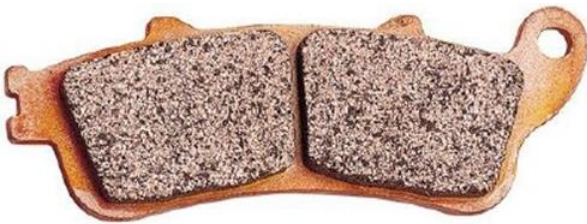
Ďalšou nevyhnutnou zložkou *KTM* sú prísady (trecie a klzné), ktoré priaznivo vplývajú na niektoré vlastnosti *KTM*.

Klzné prísady: základné klzné prísady sú grafit, olovo, bizmut, MoS_2 a podobne. Hlavným dôvodom pre použitie klzných prísad je snaha zabrániť zadieraniu jednotlivých súčastí pri trení (prísady pôsobia ako tuhé mazivá). Z vyššie uvedených klzných prísad má najväčšie zastúpenie grafit, ktorý môže tvoriť až 50 % objemu *KTM*.

Trecie prísady: najpoužívanejšie trecie prísady sú karbidy, nitrity, Al_2O_3 , SiO_2 , $Al_6Si_2O_{13}$ (*mullit*) a podobne. Prítomnosťou trecích prísad sa jednoducho zvyšuje koeficient trenia (dosahuje sa efektívnejší proces trenia) a zároveň sa zaisťuje jeho stabilita pri rôznych prevádzkových teplotách [3].

1.2 KTM na báze Cu určené pre suché trenie

Základná matrica (obr. 5) týchto materiálov je tvorená vo väčšine prípadov cínovým bronzom, prípadne zliatinou *Cu* s prvkami *Cr*, *Co*, *Mn* atď. Pre vysoko namáhané trecie a brzdové komponenty sa používa zliatina *Cu + Ti*, pri ktorej sa vytvrdzovaním dosahujú priaznivé mechanické a trecie vlastnosti. Zvýšená odolnosť voči opotrebeniu sa dosahuje pridaním olova a grafitu. Obsah SiO_2 v štruktúre musí byť obmedzený na max. 10 %, a to z dôvodu vytvárania oxidických silikátov na trecích plochách. Tieto produkty majú veľmi nízku súdržnosť a vo výraznej miere sa podieľajú na zvýšení abrazívneho opotrebenia.

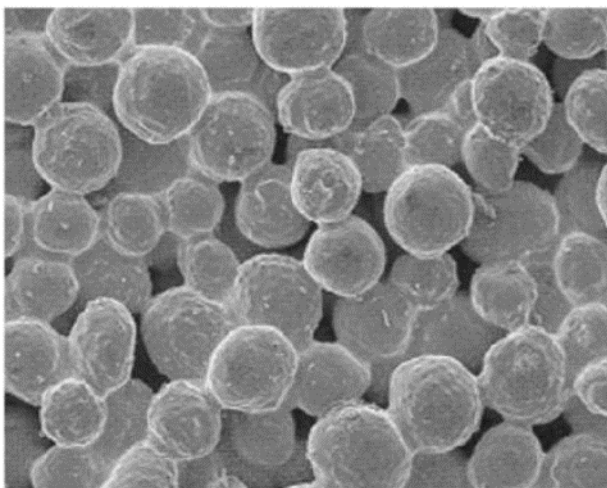


Obr. 5. Brzdové obloženie s matricou na báze *Cu*

1.3 KTM na báze Cu určené pre trenie v oleji

Kovokeramické trecie materiály vyrábané práškovou metalúrgiou sú charakteristické určitým stupňom pórovitosti (obr. 6). Prítomnosťou pórov a ich vhodnou kombináciou veľkosti, prípadne ich vzájomným prepojením je možné za súčasného pôsobenia chladiaceho média (napr. olej) dosiahnuť zvýšenie odvodu tepla vzniknutého trením. Olej ako chladiace médium vyplňa póry, v ktorých neustále cirkuluje, a tým dochádza k zlepšeniu odvodu tepla vzniknutého v trecej dvojici, čím sú zabezpečené optimálne prevádzkové teploty *KTM* [4].

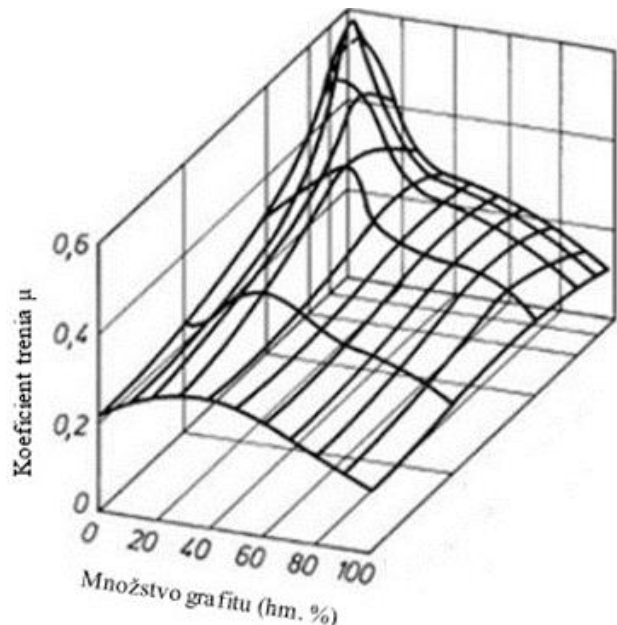
Prítomnosťou pórovitosti a zvýšením intenzity cirkulácie oleja pomocou vytvárania systémov drážok /lamiel na trecích plochách *KTM* určených pre mokré trenie je možné zväčšiť odvod tepla až o 70 % (v porovnaní s *KTM* určených pre suché trenie).



Obr. 6. Pórovitosť *KTM* na báze *Cu*

1.4 KTM na báze Fe určené pre suché trenie

Použitie *KTM* na báze *Cu* je spojené s ich hlavnou nevýhodou, ktorou je relatívne vysoká cena použitých neželezných kovov. Ako alternatíva sa dajú použiť kovokeramické trecie materiály na báze *Fe*, ktorých prednosťou je ich relatívne nízka cena, vysoký koeficient trenia a odolnosť voči opotrebeniu. Majoritnú zložku týchto *KTM* tvorí grafit (obsah do 30 %), ktorý zabraňuje zadretiu trecej dvojice a znižuje abrazívne opotrebenie [5]. Prítomnosťou zvýšenej koncentrácie grafitu (blížiacej sa k hraničnému obsahu 30 %) však výrazne klesajú pevnostné vlastnosti spekaného materiálu, čím sa zužuje oblasť použitia len pre aplikácie pri ktorých nedochádza k výraznému zaťaženiu trecej dvojice. Vplyv množstva grafitu na veľkosť trecieho koeficientu ilustruje obr. 7.



Obr. 7. Závislosť koeficientu trenia od množstva grafitu

Podobne ako pri *KTM* na báze *Cu*, aj pri týchto materiáloch je možné dosiahnuť stabilný priebeh koeficientu trenia a zníženie abrazívneho opotrebenia pridaním prímies ako sú napr. *karbidy*, *nitridy*, *sulfidy*, *fosfidy*, prípadne minerály (*mullit*, *silimanit* atď.) [6].

1.5 KTM pre špeciálne aplikácie

Aplikácia bežných kovokeramických trecích materiálov na báze *Cu* prípadne *Fe* je limitovaná maximálnymi prevádzkovými teplotami do cca 600 °C. Existujú však aj oblasti použitia, v ktorých sú dosahované teploty trecej dvojice výrazne vyššie (až do 1000 °C). Na *KTM* pracujúce pri takýchto teplotách sú kladené výrazne vyššie nároky z hľadiska voľby materiálu.

KTM pre špeciálne aplikácie sú tvorené matricou z materiálov s vysokou teplotnou odolnosťou (napr. *Ni*, *Co*, *Mo*) a vysokým obsahom keramických častíc

(Al_2O_3 , MgO , SiO_2 , TiO_2 atď.). Na elimináciu zadierania trecej dvojice a zvýšenie abrazívnej odolnosti *KTM* sa pridáva grafit, prípadne nitrídy, sulfidy, karbidy. Obsah nekovových zložiek v týchto *KTM* väčšinou presahuje 50 % celkového objemu.

KTM pre špeciálne aplikácie nachádzajú uplatnenie najmä pri výrobe brzdových komponentov dopravných lietadiel, pri ktorých sú kladené vysoké požiadavky na opakovateľnosť použitia, ale taktiež musia spĺňať obmedzené priestorové a hmotnostné požiadavky[7].

2 VÝROBA KTM

Výrobný proces kovokeramických trecích materiálov začína prípravou kovových a nekovových práškov - ich navážení do požadovaného pomeru a následným miešaním (homogenizáciou). Pripravená prášková zmes je ďalej lisovaná na vopred pripravenú maticu z požadovaného materiálu (*Cu*, oceľ atď.). Spekanie prebieha v peciach za prítomnosti ochrannej atmosféry (N_2 , H_2 a pod.). Po spekaní nasledujú dokončovacie operácie (obrábanie, kalibrovanie).

Pri výrobe *KTM* na báze *Cu* sa používa prášková elektrolytická meď s vysokou čistotou (99,99 % *Cu*) [8]. Výroba *KTM* na báze *Fe* zahŕňa použitie práškového železa s hubovitou štruktúrou, ktorá sa dosahuje redukčným spôsobom výroby prášku.

ZÁVER

Kovokeramické trecie materiály vyrábané práškovou metalurgiou nachádzajú uplatnenie v oblastiach, kde sa vyžaduje vysoký trecí koeficient aj pri zvýšených teplotách, dobrý odvod vzniknutého tepla pri trení a odolnosť voči opotrebeniu.

KTM sú heterogénne materiály, štruktúrne tvorené základnou maticou z materiálov ako sú *Cu/Fe* zliatiny a prísadami (trecie, klzné), ktoré vylepšujú špecifické vlastnosti *KTM*.

Základné požiadavky kladené na *KTM* sú: stabilita koeficientu trenia pri meniacich sa pracovných podmienkach, schopnosť odolávať vysokým prevádzkovým teplotám, odolnosť materiálu voči zadieraniu, vyhovujúce mechanické vlastnosti a vyhovujúca tepelná vodivosť. Materiály spĺňajúce tieto podmienky nachádzajú uplatnenie najmä v oblasti dopravy, napr. pri výrobe trecích komponentov pre automobilový priemysel alebo pri

výrobe brzdových súčastí automobilov, motocyklov, koľajových vozidiel atď.

Pre najnáročnejšie podmienky boli vyvinuté špeciálne kovokeramické trecie materiály s maticou tvorenou materiálmi s vysokou tepelnou odolnosťou (*Ni*, *Co*, *Mo*) a vysokým obsahom keramických zložiek [9]. Využitie takýchto materiálov je najmä z leteckom priemysle pri konštrukcii brzdových komponentov dopravných lietadiel, kedy sú trecie komponenty v prevádzkových podmienkach zaťažované až na teploty dosahujúce 1000 °C.

Podakovanie

Táto práca bola podporená projektom KEGA 022ŽU-4/2021 Vedeckou grantovou agentúrou Ministerstva školstva Slovenskej republiky.

LITERATÚRA

- [1] HAVALDA, A. (1990): *Prášková metalurgia*. Bratislava: STU, s. 140, ISBN 978-80-227-3875-0.
- [2] KONDOH, K. (2012): *Powder metalurgy*. Rijeka: InTech, ISBN 978-953-51-0071-3.
- [3] SKOČOVSKÝ, P. - BOKŮVKA O. - KONEČNÁ, R. - TILLOVÁ, E. (2014): *Náuka o materiáli*. Žilina: EDIS, ISBN 978-80-554-0871-2.
- [4] MORAVEC, J. - KANTORIKOVÁ, E. - FABIAN, P. (2020): *Prášková metalurgia*. Žilina EDIS, ISBN 978-80-554-1692-2.
- [5] SKOTNICOVÁ, K. - KURSA, M. - SZURMAN, I. (2014): *Powder Metalurgy*.
- [6] Spekané kovokeramické materiály (2008): *Spekané kovokeramické materiály* [online]. 2019 [cit. 2019-03-23]. https://www.sjf.tuke.sk/inmf/multimedialna_vyucba/PM/Prednasky/Spekane_kovokeramicke_mat.doc
- [7] ASM Handbook (1998): *Powder Metal Technologies and Applications*. Ed. P. W. Lee. 1st. ed. Materials Park: ASM International, Volume 7, 1147 p. ISBN 978-0871703873.
- [8] LUKÁČ, I. (1990): *Prášková metalurgia*, 1.vyd., Alfa, 1990, VŠT Košice, ISBN 80-05-00422-2.
- [9] SZABO, J. (2017): *Teplotná stabilita štruktúry práškových kompozitov na báze medi*. TU Košice. <https://opac.crzp.sk/?fn=detailBiblioForm&sid=F91B27064E1B8768277823F9EB7C>.