
Analýza tribologických vlastností kompozitného materiálu PA66+GF25

Jozef Bronček, doc. Ing. PhD.*

Katedra konštruovania a častí strojov, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: jozef.broncek@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2929

Mário Drbúl, doc. Ing. PhD.

Katedra obrábania a výrobnjej techniky, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: mario.drbul@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 0041 513 2754

Dávid Čuchor, Ing.

Katedra konštruovania a častí strojov, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: mario.drbul@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 0041 513 2929

Rudolf Madaj, Ing. PhD.

Katedra konštruovania a častí strojov, Strojnícka fakulta,
Žilinská univerzita v Žiline,
Univerzitná 8215/1, 010 26 Žilina.
E-mail: rudolf.madaj@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 0041 513 2925

Analysis of Tribological Properties of Composite Material PA66+GF25

Abstract: The aim of experiments was to acquire the knowledge that can be used in designing materials for bearing cages. The current trend is that leading bearing manufacturers are replacing metal cages in bearing construction with glass fiber (GF) reinforced polyamide (PA) cages. Experimental measurements were realized on the experimental device linear microtribometer working on the principle of method ball on plane. This method according to the standard ISO 7148-2 is standard method for tribological properties testing. The structure analysis of experimental samples was performed because of understanding of potential structure influence on material properties.

Keywords: tribology, coefficient of friction, bearing cage.

ÚVOD

Valivé ložiská sú dôležitou súčasťou konštrukcií mechanizmov, kde plnia viacero úloh spojených s uložením rotujúcich hriadel'ov. Jednou z úloh, ktoré plnia ložiská, je i zaistenie polohy pohybujúcich sa dielov pri prenose pohybu a síl pri minimálnej hodnote trenia. Riešenie problematiky opotrebenia povrchu ložiskových materiálov si vyžaduje znalosti o samotnom opotrebení a o spôsobe merania a hodnotenia opotrebenia. Rast poznatkov v tejto oblasti nám môže pomôcť k riešeniu celého radu teoretických ako aj praktických problémov, s ktorými sa stretnú vývojári a výpočtári valivých uložení. Neustály vývoj nových materiálov a povlakov, ktoré sa používajú pre krúžky, valivé telesá a klietky, si

vyžaduje ich skúšanie na experimentálnych zariadeniach s cieľom hodnotenia a merania ich fyzikálnych tak aj mechanických vlastností. Na druhej strane je porovnávanie týchto vlastností s inými materiálmi rovnako dôležité. Klietky ktoré sú súčasťou konštrukcie ložiska, sú všeobecne zaťažované iba malými silami, ale pri vyšších otáčkach alebo pri narušenom odval'ovaní teliesok môže sila pôsobiaca na klietku podstatne vzrásť. Pre tieto prípady sa pre vyššiu elasticitu uprednostňuje klietka z materiálu plast [1, 2]. Pri plastových klietkach na zabezpečenie trvalej funkčnej schopnosti treba zohľadňovať iné materiálové vlastnosti a iné konštrukčné požiadavky, ako sa uplatňujú pri klietkach z klasických materiálov (ocel', mosadz). Ide

o nasledujúce vlastnosti: pružnosť a pevnosť materiálu v rozpätí prevádzkových teplôt, odolnosť materiálu voči únavovému zaťaženiu, znášateľnosť s predpokladaným mazadlom, tribotechnicky vhodný tvar klietky a iné. Plastové klietky sú charakteristické nízkou hmotnosťou, veľkou pružnosťou a veľmi dobrými klznými vlastnosťami. Pre malé a stredne veľké ložiská sa používajú celistvé plastové klietky vyrábané vstrekom z polyamidu *PA66+GR30*, ktorý býva tiež vystužený sklenenými vláknami, resp. uhlíkovými vláknami. Klietky z polyamidu *PA 6.6* sa používajú pre prevádzkové teploty do 100°C, alebo krátkodobo do 120°C. Pre správnu prevádzku je dôležitý aj typ použitého maziva, pri zohľadnení agresivity voči materiálu klietky. Pre veľké ložiská sa hlavne z výrobných dôvodov používajú plastové segmentové klietky z *PEEK* polyméru s vynikajúcimi mechanickými vlastnosťami a výbornou chemickou odolnosťou voči organickým i anorganickým látkam pri vysokých teplotách. *PEEK* materiál sa používa sa pre prevádzkové teploty do 250°C.

1 EXPERIMENTÁLNY MATERIÁL

Vzorky v tvare platničky (obr. 1) sa vyrobili z kompozitného materiálu polyamidu *PA66 GF25* vystuženého sklenenými vláknami.



Obr. 1. Pohľad na skúšobné vzorky

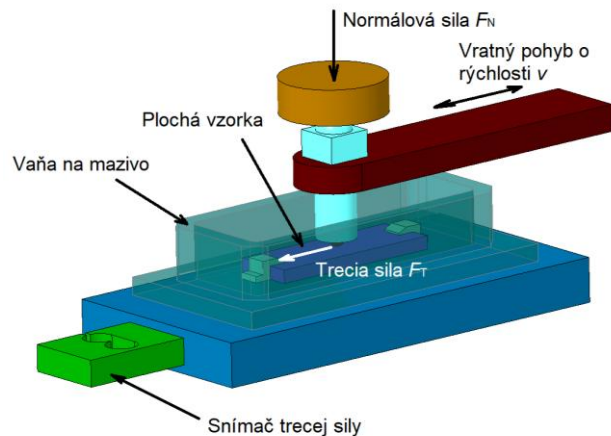
Na obr. 2 je zobrazená makroštruktúra povrchu materiálu v pozdĺžnom reze vzorky.



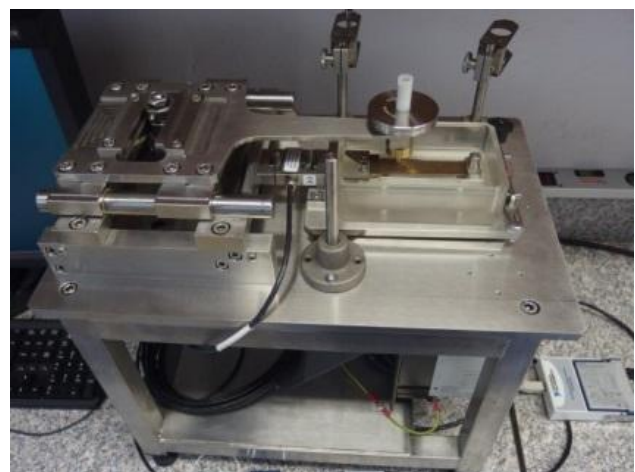
Obr. 2. Makroštruktúra povrchu materiálu pozdĺž vzorky kompozitu so sklenenými vláknami

2 METODIKA EXPERIMENTU

Pre hodnotenie tribologických vlastností materiálu sa použilo skúšobný lineárny mikrotribometer, ktorý sa nachádza v tribologickom laboratóriu katedry *KKČS*. Vlastná skúška je založená na metóde *Ball-on-Plate*, ktorá je štandardnou metódou skúšania tribologických vlastností plastických materiálov (*ISO 7148-2*). Hlavnou časťou mikrotribometra je tribologický uzol, ktorý sa skladá z guľôčky a plochej vzorky v tvare platničky. Druhý člen dvojice tvorila s guľôčka s priemerom $d = 4$ mm z ložiskovej ocele *100Cr6*. Pohyb guľôčky je priamočiary, nerovnomerný a vratný. Pohybujúca sa guľôčka sa váhou závažia pritláča na vzorku, ktorá je upevnená v miske. Miska je pripnutá na voľne uloženej platni, ktorá je podporená v troch bodoch a je fixovaná k tenzometrickému snímaču. Hodnota trecej sily F_T sa určuje tenzometrickým meraním polohy guľôčky na vzorke. Zo snímaných dnôt F_T a F_N sa vypočítajú hodnoty koeficienta trenia [1, 2].



Obr. 3. Zjednodušené zobrazenie princípu skúšobného lineárneho mikrotribometra



Obr. 4. Pohľad na reálne skúšobné zariadenie

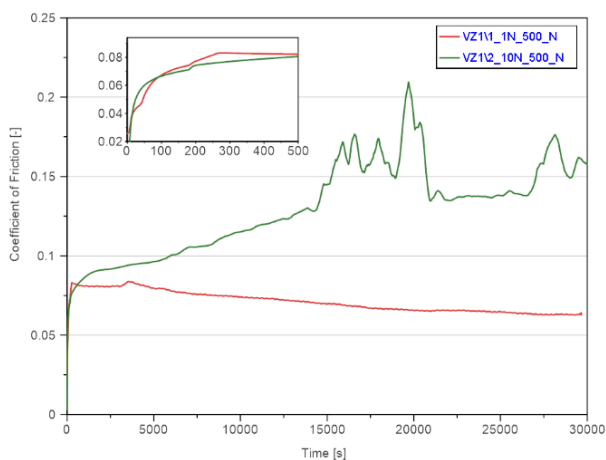
Metodika skúšky bola volená tak, aby sa zistila závislosť súčiniteľa trenia f pre rôzne hodnoty zaťaženia pri zvolenej rýchlosti v . Doba trvania jednotlivej experimentálnej skúšky bola 30000 s pri rýchlosti $v = 0$ až $0,02 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ a pre hodnoty zaťaženia

$F_N = 1$ a 10 N. Pri každej skúške dosiahla celková dĺžka trajektórie tribologickej stopy hodnotu 500 m. Skúška sa realizovala atmosférickom prostredí, a to v podmienkach bez mazania a s mazaním. Ako mazivo sa použilo plastické mazivo *Kluberplex BEM 41-141*.

3 VÝSLEDKY A DISKUSIA

Priebehy zistených hodnôt súčiniteľa trenia pre kompozitný materiál v tvare platničky so sklenými vláknami (vzorka $Vz1$ a $Vz2$) pri skúškach v dvoch režimoch, bez mazania (N) a s mazaním (M), pri zaťažení $F_N = 1$ a 10 N a s telieskom z oceleovej guľôčky sú zobrazené v diagramoch na obr. 5 až 8.

V diagrame na obr. 5 sú zobrazené krivky zistených priebehov hodnôt súčiniteľa trenia nemazaných vzoriek pri zaťažení $F_N = 1$ N a 10 N.



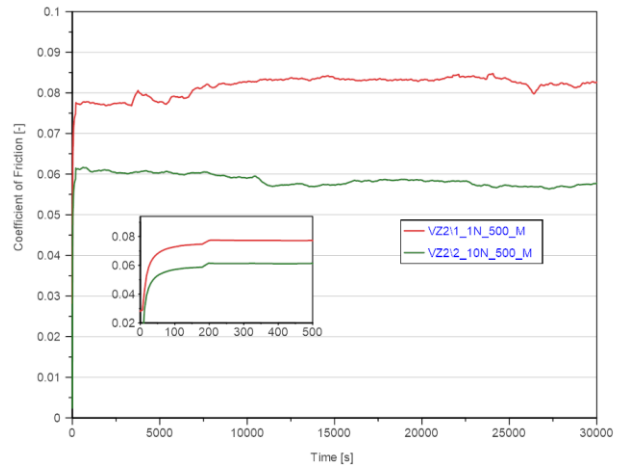
Obr. 5. Zobrazené priebehy hodnôt súčiniteľa trenia nemazaných vzoriek pri zaťažení $F_N = 1$ N a 10 N

Zaznamenané hodnoty súčiniteľov trenia pri posudzovaných materiáloch tribologických dvojíc v podmienkach bez mazania vykazovali od začiatku skúšky výrazne rozdielny priebeh. Vzorka $VZ1/2$ vykazovala po fáze nábehu neustály rast hodnoty koeficientu trenia a priebeh počas celej doby skúšky nebol stabilný. Záverečná hodnota koeficientu trenia bola $f = 0,158$. Vzorka $VZ1/1$ vykazovala pokojný priebeh s klesajúcim trendom hodnoty koeficientu trenia. Záverečná hodnota koeficientu trenia bola $f = 0,064$.

V diagrame na obr. 6 sú zobrazené krivky zistených priebehov hodnôt súčiniteľa trenia mazaných vzoriek pri zaťažení $F_N = 1$ N a 10 .

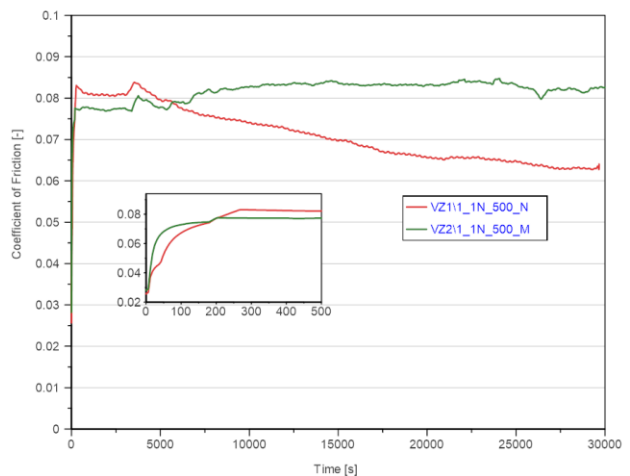
Zaznamenané hodnoty súčiniteľov trenia pri hodnotených materiáloch tribologických dvojíc v podmienkach s mazaním vykazovali od začiatku skúšky až po koniec skúšky stabilný priebeh. Hodnoty koeficienta trenia pri vzorke $VZ2/2$ mali postupne klesajúci priebeh a záverečná hodnota koeficientu trenia bola $f = 0,058$. Vzorka $VZ2/2$ vykazovala počas

celého priebehu skúšky nižšie hodnoty koeficienta trenia ako vzorka $VZ2/1$. Zaznamenané hodnoty koeficientu trenia pri vzorke $VZ2/1$ mali postupne vzrastajúci trend a priebeh krivky bol počas celej skúšky stabilný bez výrazných výkyvov. Výsledná hodnota koeficientu trenia vzorky $VZ2/1$ bola $f = 0,084$.



Obr. 6. Zobrazené priebehy hodnôt súčiniteľa trenia mazaných vzoriek pri zaťažení $F_N = 1$ N a 10 N

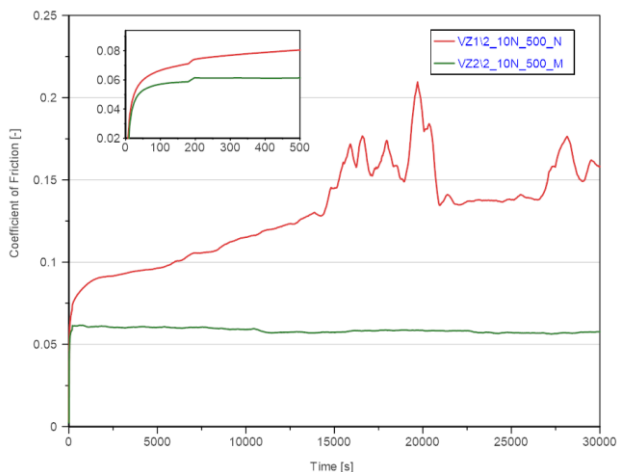
V diagrame na obr. 7 sú zobrazené krivky zistených hodnôt súčiniteľa trenia nemazanej ($VZ1/1$) a mazanej vzorky ($VZ2/1$) pri zaťažení $F_N = 1$ N.



Obr. 7. Zobrazené krivky zistených priebehov hodnôt súčiniteľa trenia nemazaných vzoriek pri zaťažení $F_N = 1$ N

Z porovnania priebehov kriviek, je zrejmé že vzorka $VZ1/1$ po zábehu skúšky dosiahla vyššie hodnoty koeficientu trenia ako mazaná vzorka $VZ2/1$. Z porovnania ďalšieho priebehu skúšky vidieť, že v čase okolo 6000 s dosiahli hodnoty koeficientu trenia vzorky $VZ1/1$ (nemazanej vzorky) nižších hodnôt ako u mazanej vzorky $VZ2/1$. Mazaná vzorka $VZ2/1$ vykazovala ustálený priebeh koeficientu trenia a oscillovala okolo hodnoty $f = 0,084$. Nemazaná vzorka $VZ1/1$ vykazovala postupný klesajúci priebeh koeficientu trenia a oscillovala okolo hodnoty $f = 0,064$.

V diagrame na obr. 8 sú zobrazené krivky zistených priebehov hodnôt súčiniteľa trenia nemazanej (VZ1/2) a mazanej vzorky (VZ2/2) pri zaťažení $F_N = 10$ N.



Obr. 8. Zobrazené priebehov hodnôt súčiniteľa trenia mazaných vzoriek pri zaťažení $F_N = 10$ N

Z porovnania priebehov kriviek, je zrejmé že pri zaťažení $F_N = 10$ N, vzorka VZ1/2 po zábehu skúšky dosiahla vyššie hodnoty koeficientu trenia ako mazaná vzorka VZ2/2.

Mazaná vzorka VZ2/2 vykazovala ustálený priebeh koeficientu trenia a v závere skúšky dosiahla hodnotu koeficienta trenia 0,058. Vzorka VZ1/2 vykazovala po fáze nábehu neustály rast hodnoty koeficientu trenia a priebeh počas celej doby skúšky nebol stabilný. Záverečná hodnota koeficientu trenia bola $f = 0,158$. Dá sa uzavrieť, že pri hodnote normálového zaťaženia $F_N = 10$ N, pri pohybe odpor maziva sa podieľal minimálne na zložku trecej sily F_T .

ZÁVER

Príspevok práca sa zaoberal tribologickými vlastnosťami kompozitného materiálu a jeho vhodnosťou na použitie pri výrobe klieťok valivých ložísk. Porovnanie experimentálnych výsledkov tribologických vlastností pri rôznom zaťažení $F_N = 1$ N a 10 N a v rôznom prostredí s mazaním a bez mazania umožnilo sledovanie účinku vplyvu zaťaženia a vplyvu mazania na hodnotený materiál.

Z dosiahnutých výsledkov vyplývajú nasledovné závery:

- hodnota súčiniteľa trenia sa výrazne menila s charakterom prostredia a s veľkosťou zaťažovacej sily,
- z porovnania priebehov súčiniteľov trenia pri podmienkach bez mazania a pre rôzne hodnoty zaťaženia (obr. 5) možno konštatovať, že priebehy súčiniteľov trenia vykazovali od začiatku skúšky až po koniec skúšky výrazne rozdielny priebeh. Priebeh súčiniteľa trenia pri zaťažení 1 N vykazoval nižšie hodnoty, ako pri zaťažení 10 N,

- z porovnania priebehov súčiniteľov trenia za podmienok s mazaním (obr. 6) možno konštatovať, že priebeh súčiniteľa trenia pri zaťažení 1 N vykazoval vyššie hodnoty, ako pri zaťažení 10 N,
- z porovnania priebehov súčiniteľov trenia za podmienok s mazaním a bez mazania pri zaťažení 1 N (obr. 7) vidieť, že priebeh súčiniteľa v podmienkach bez mazania vykazoval nižšie hodnoty, ako v podmienkach s mazaním. Dá sa domnievať, že pri malej hodnote normálového zaťaženia predstavoval odpor maziva počas pohybu významnú zložku trecej sily F_T , čím sa dosiahla aj vyššia hodnota koeficienta trenia.
- z analýzy priebehov súčiniteľov trenia za podmienok s mazaním a bez mazania pri zaťažení 10 N (obr. 8) možno konštatovať, že nemazaná vzorka dosiahla vyšších hodnôt koeficienta trenia ako mazaná vzorka. Zrejme výrazný nárast hodnoty koeficienta trenia bol zapríčinený degradáciou kontaktnej plochy v dôsledku jej opotrebovania. V mieste opotrebovania sa prejavil účinok sklenených vlákien v miestach kontaktu trecej dvojice.

Pod'akovanie

Tento článok bol vypracovaný v rámci riešenia projektov KEGA 045ŽU-4/2025- Implementácia jazyka geometrickej špecifikácie do oblasti hodnotenia drsnosti povrchu, VEGA 1/0722/25 Výskum aditívnych technológií so zameraním na ich aplikáciu pri navrhovaní a konštruovaní rezných nástrojov, 09I05-03-V02-00080 DigiDent (Research on the Digitalization of Dental Implant Components for the Creation of Personalized 3D Models for the Manufacturing Process).

LITERATÚRA

- BRONCEK, J. - BASTOVANSKY, R. - KONSTANTOVA, V. - STUPAVSKY (2019): *Analysis of Tribological Properties of Composite Materials for the Production Designing of Bearing Cage*. In: Lecture Notes in Mechanical Engineering, pp. 453-461.
- VICEN, M. - BRONCEK, J. - BOKUVKA, O. - NIKOLIC, R. - RADEK, N. (2021): *Tribological Behaviour Of The Sucaslide Diamond-Like Carbon Coating*. In: Transaction Of Fadena, Vol. 45, Issue 2, pp. 31-40.