

Strojárstvo



odborné a vedecké články

Obsah / Contents

02

Degradácia mazacích olejov

Degradation of Lubricating Oils

04

Studium mazacích filmů kolorimetrickou interferometrií

Lubrication films study by colorimetric interferometry

07

Návrhy čelných evolventných ozubených kolies

Concepts of Spur Involute Gear Wheels

09

Burza

Exchange



Degradácia mazacích olejov

TEXT: Ing. Jozef Stopka FOTO: archív redakcie

Kvalita oleja je predpokladom bezporuchového chodu stroja.

Mazací olej je často vystavený nepredvídaným prevádzkovým podmienkam, ktoré majú podstatný vplyv na jeho životnosť. Ide o degradáciu základového oleja, úbytok prísad a nečistoty v mazacom oleji.

Výrobcovia turbínových a hydraulických olejov používajú najmä základové oleje skupiny II podľa API a vhodnú kombináciu prísad. Majú lepšiu oxidačnú stabilitu pri hodnotení podľa oxidačnej skúšky RPVOT, ASTM D 2272, resp. skúšky stability podľa TOST, ASTM D 943, ako oleje skupiny I podľa API, ktoré sa ešte stále používajú v praxi. Stroje, napr. plynové turbíny, hydraulické mechanizmy, pracujú pri vyšších teplotách, predlžujú sa výmenné lehoty olejových náplní a pod. To všetko vedie napriek novým formuláciám olejov ku vzniku problémov súvisiacich s degradáciou mazacieho oleja – tvorbe lakov a kalov.

Degradácia mazacieho oleja

Degradácia základového oleja je charakterizovaná tvorbou nežiaducich vedľajších produktov, ako sú kaly (sludge) a laky (varnish), živice, nežiaduce polárne látky, ktoré sa usadzujú (priľnú) na funkčných plochách

strojových častí, vytvoria súvislý nerozpustný film, napr. na ložiskách, regulačných ventiloch a iných funkčných plochách. Laky sú mäkké nečistoty, častice, ktoré sú menšie ako $1\ \mu$ a nie sú merateľné pomocou postupov na stanovenie triedy čistoty oleja. Samotný lakový film môže byť oranžovej, hnedej, resp. až čiernej farby. Tieto nečistoty, laky sa nedajú odstraňovať pomocou mechanickej filtrácie. Kaly sú laky, ktoré obsahujú určité množstvo vody. Ide o mäkké nečistoty, ktoré možno odstrániť, extrahovať bežným konvenčným spôsobom z oleja. Samotnú degradáciu základového oleja môže spôsobiť prebiehajúci oxidačný proces, tepelná degradácia (horúce miesta) a chemická degradácia. Určitý vplyv na degradáciu mazacieho oleja má aj samotná formulácia, voľba základového oleja a vhodných prísad, resp. úbytok prísad.

Pozornosť treba venovať najmä tepelnej degradácii oleja. Tepelná degradácia je proces, ktorý vzniká bez prítomnosti kyslíka pri

teplote okolo $300\ ^\circ\text{C}$, resp. aj pri vyšších teplotách. Uhlíkové štruktúry sú narušené (krakované), pričom vznikajú nerozpustné karbónové produkty, laky a kaly.

Primárne príčiny tepelnej degradácie:

- ▶ Mikro-dieselizácia (adiabatická kompresia) – vzniká vtedy, keď vzduchové bublinky prechádzajú z nízko tlakovej oblasti (olejová nádrž) do vysoko tlakovej oblasti (čerpadlo), bublinky skolabujú pri teplote nad $1\ 000\ ^\circ\text{C}$.
- ▶ Elektrostatický výboj – vzniká vtedy, keď olej prúdi cez veľmi úzke tolerancie (štrbiny) pri vysokom prietoku cez filtre, resp. pri hraničnom mazaní, kde samotný elektrostatický výboj môže zvýšiť teploty až nad $10\ 000\ ^\circ\text{C}$.
- ▶ Horúce miesta – v mazacom systéme sa vyskytujú, čo vedie k vzniku chemických reakcií, a to k polymerizácii (spájanie rovnakých molekúl) a pyrolýze (rozklad molekúl).

Životnosť mazacieho oleja v prevádzke teda ovplyvňujú neočakávané vplyvy. Ide o fenomén, ktorý súvisí s uvedenými informáciami a má zásadný vplyv na fyzikálne a chemické vlastnosti oleja. To potom často spôsobuje



problémy, ktoré vedú k narušeniu prevádzkovej spoľahlivosti a funkčnosti strojových častí.

Problémy so vznikom lakov (živíc), ktoré môžu vzniknúť v prevádzke strojov:

- ▶ Vzniknú menšie, resp. užšie tolerancie uloženia trecích uzlov, ovplyvnenie mazacieho režimu, prechod z hydrodynamického mazania na hraničné mazanie, nárast opotrebovania, napr. čerpadiel, ložísk, ventilov a iných strojových častí.
- ▶ Všeobecne nárast trenia v trecích uzloch, trhavý pohyb mechanických častí, ako sú regulačné ventily a pod.
- ▶ Zvýšené prevádzkové teploty, laky a živice pôsobia ako izolátor, znižuje sa efekt chladenia a tiež ochladzovania mazacích olejov.
- ▶ Zmeny toku, prúdenia oleja, zanášanie a zníženie účinnosti filtrov, ventilov a pod.
- ▶ Nárast opotrebovania, živice môžu obsahovať aj tvrdé nečistoty, vznik abrazívneho opotrebovania a celkovo nárast opotrebovania.
- ▶ Poškodenie mechanických tesnení, ložísk a iných strojových častí.
- ▶ Nárast nákladov z dôvodu čistenia strojov, mazacích systémov a iné.

Výrobcovia mazacích olejov pripravili a používajú nové formulácie základových olejov, ktoré zabraňujú tvorbe lakov a kalov. Ide o základové oleje skupiny II podľa API, resp. vyšších tried, a to triedy III a IV. Z doterajších informácií a skúseností z praxe je známe, že syntetické, alebo vysoko rafinované

oleje odolávajú oxidácii lepšie ako bežné komerčné oleje. Napriek tomu každý olej, či je syntetický alebo ropný, podlieha pri vyššej teplote tepelnej degradácii. Bolo zistené, že formácie nečistôt, kalov a lakov môžu vzniknúť rýchlejšie pri vysoko rafinovaných olejoch. Rozpustnosť pri konvenčných olejoch je lepšia. Schopnosť usadzovania nečistôt na funkčných plochách je nižšia. Rozhodujúcim faktorom je prevádzková teplota oleja.

Vplyv teplôt

Pri prevádzkovej teplote oleja 70 °C a vyššej, začínajú oxidačné procesy, vedúce k vytváraniu karbónových usadenín, lakov a kalov. Určitým kritériom je teplota oleja v olejovej nádrži, ktorá môže byť v prípade, napr. plynových turbín v rozsahu od 70 °C do 90 °C. Sú prípady, že teplota môže byť aj vyššia. Prevádzková teplota ložísk môže byť v rozsahu 50 °C až 70 °C. Z praxe sú známe namerané teploty ložísk až do 150 °C a viac. Prevádzková teplota tak má zásadný vplyv na tvorbu lakov a kalov. Dokazujú to aj skúsenosti z praxe.

V prípade interakcie mazacieho oleja s dopravovaným, resp. spaľovaným plynom, môže vzniknúť problém vzájomnej rozpustnosti. Rozpustnosť zemného plynu (metán) a ďalších uhľovodíkov je veľmi vysoká v ropných olejoch a syntetických uhľovodíkových v polyalfaolefínoch (PAO). O uhľovodíkových plynch možno povedať, že zriedujú ropný mazací olej, znižuje sa jeho viskozita a často majú schopnosť zmývať olejový

mazací film. Čo sa týka nových formulácií prísad, v tejto súvislosti treba spomenúť, že veľmi dôležitou prísadou pre oleje používané na mazanie plynových turbín a hydraulických mechanizmov je správna voľba vhodného antioxidantu.

Známe sú dva základne typy antioxidantov, a to na báze fenolov a amínov, resp. ich kombinácie. Ide o primárne antioxidanty, a to nízkoteplotné antioxidanty, fenoly pre teploty pod 120 °C a vysokoteplotné antioxidanty, amíny pre teploty nad 120 °C. V niektorých prípadoch sa používajú aj sekundárne antioxidanty, napr. na báze ZDDP.

Kontrolu mazacích olejov zameranú na obsah lakov nie je možné vykonávať klasickými postupmi, ako pri analýze olejov. Skúšky, ako nízka hodnota čísla kyslosti (TAN), zistenie triedy čistoty oleja podľa ISO, resp. NAS a vysoká hodnota oxidačnej skúšky podľa RPVOT – nie sú garanciou pre zistenie výskytu lakov v oleji. Určitý potenciál vzniku lakov môže byť kontrolovaný pomocou IČ spektrometrie (FTIR, 1 630 cm⁻¹), gravimetrickou analýzou, kvantitatívnou spektrometrickou analýzou (metóda QSA) a ultra odstredivou skúškou. Odstraňovanie lakov z funkčných častí strojov, mazacieho systému je veľmi náročné. Známym postupom je elektrostatické čistenie, alebo menej známe a náročnejšie chemické čistenie. Bežné produkty starnutia a mechanické nečistoty v oleji možno odstrániť klasickými postupmi, ako je sedimentácia, odstreďovanie, filtrácia a ďalšie postupy ošetrovania mazacích olejov v prevádzke.

Súčasnou údržby je aj kontrola olejových a hydraulických náplní a systémov.



Studium mazacích filmů kolorimetrickou interferometrií

TEXT/FOTO: prof. Ing. Ivan Křupka, PhD. a kol., Ústav konstruování, FSI VUT v Brně

Mazací filmy snižují tření a opotřebení třecích povrchů, a tak významným způsobem ovlivňují životnost velmi zatěžovaných prvků strojních soustav. Experimentální výzkum procesů probíhajících v mazaných kontaktech má tak zásadní význam nejen pro prohloubení poznání procesů probíhajících v těchto kontaktech, ale přispívá i ke zvyšování výkonnosti strojních součástí a jejich zdokonalování.

Tribologický výzkum na Ústavu konstruování, Fakulty strojního inženýrství Vysokého učení technického v Brně je zaměřen na studium utváření mazacích filmů v kontaktech velmi zatěžovaných strojních součástí (valivých ložisek, ozubených soukolí a pod.). V 90. letech 20. století bylo navrženo a realizováno experimentální zařízení (obr. 1), optický tribometr, ve kterém jsou podmínky vyskytující se v reálných strojních uzlech modelovány ve styku mezi rotujícím skleněným kotoučem a otáčející se ocelovou kuličkou [1]. Kontakt je zatěžován přes skleněný (safiřový) kotouč, který je společně s pohyblivým závažím umístěn na dvojzvrtné páce. Oba třecí povrchy mohou být nezávisle poháněny servomotory. Teplotní stabilita tribologické soustavy je zajištěna tepelnou izolací komory zařízení a užitím uzavřeného vyhřívacího okruhu. Mazané kontakty jsou pozorovány pomocí barevné kamery přes průmyslový mikroskop. V závislosti na studovaných problémech je volena optimální kombinace světelného zdroje a barevné kamery. Při studiu mazacích filmů za ustálených podmínek je používán kontinuální halogenový, ev. xenonový zdroj bílého světla a barevná televizní tříčipová CCD kamera. Pro výzkum smíšeného mazání a procesů probíhajících za neustálených provozních podmínek se využívá zábleskový xenonový zdroj a barevná digitální tříčipová CCD kamera nebo barevná vysokorychlostní CMOS kamera.

Ke stanovení tloušťky mazacího filmu se používá kolorimetrická interferometrie, metoda vyvinutá na našem pracovišti, která umožňuje výzkum chování mazacích filmů o tloušťce řádu jednotek

nanometrů jak u modelových nerovností, tak i u reálných třecích povrchů. Kolorimetrická interferometrie umožňuje získat rozložení tloušťky mazacího filmu v kontaktu z kolorimetrickou analýzou chromatických interferogramů. Z tohoto důvodu je horní strana kotouče pokryta protiodrazovou vrstvou, spodní pak vrstvou chrómu. Tak je možné získat interferenční obrazce o optimálním kontrastu. Kombinace pokročilé měřicí metody s optickým tribometrem umožňuje nejen stanovení tloušťky mazacího filmu za podmínek elastohydrodynamického, mezného či smíšeného mazání, ale poskytuje možnosti studia reologických vlastností mazacích filmů, chování povrchových nerovností a pod.

Mezné mazací filmy

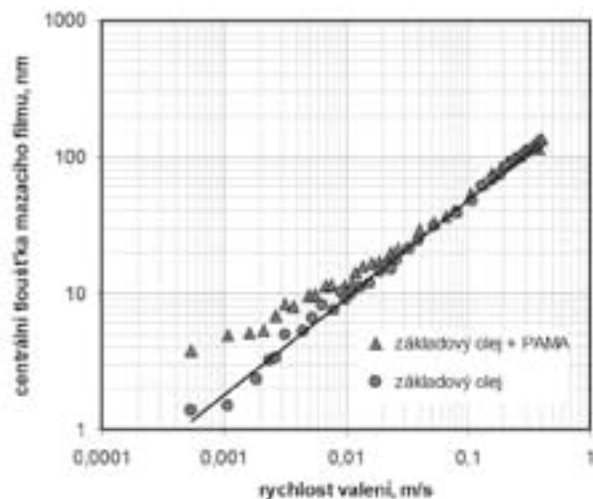
Hlavní úlohou maziva je oddělení povrchů prostřednictvím mazacího filmu, což vede k významnému snížení tření a opotřebení. U kapalných maziv se toho dosahuje prostřednictvím hydrodynamické vztahové síly, přičemž tloušťka filmu silně závisí na viskozitě maziva. Na utváření mazacího filmu se však podílí nejenom základový olej, ale i mazivostní přísady, které mohou významně napomáhat oddělování třecích povrchů, např. tvorbou mezných filmů [2]. Chování mezných mazacích filmů může být studováno i s pomocí kolorimetrické interferometrie, která na rozdíl od jiných měřicích metod používaných ke studiu mazacích filmů umožňuje stanovit rozložení tloušťky velmi tenkých mazacích filmů v celém kontaktu. Přínos k utváření mazacího filmu je zřejmý z obr. 2, který srovnává naměřené hodnoty centrální tloušťky mazacího filmu pro



Obr. 1 Experimentální zařízení pro studium mazacích filmů



základový a formulovaný olej. Zatímco hodnoty centrální tloušťky pro základový olej odpovídají teoretickému řešení, u formulovaného oleje je zřejmý nárůst tloušťky mazacího filmu v důsledku utváření mezních filmů na třecích površích. V tomto případě byl pozorován nárůst mazacího filmu v jednotkách nanometrů, nicméně byly publikovány studie, ve kterých byla prokázána přítomnost mezních filmů o tloušťkách až v řádu desítek nanometrů [3].



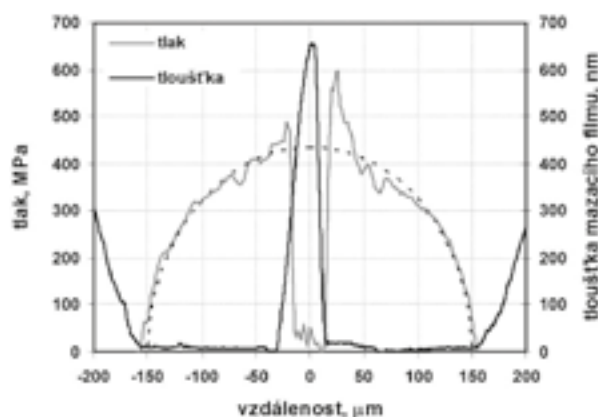
Obr. 2 Vliv mezních filmů na centrální tloušťku mazacího filmu

Význam mezních mazacích filmů však nespočívá jen v jejich schopnosti oddělovat velmi hladké třecí povrchy v modelovém kontaktu experimentálního zařízení. U většiny strojírenských aplikací má topografie třecího povrchu významný vliv na funkci mazaného kontaktu. I v takovýchto případech však mezní mazací filmy napomáhají oddělit třecí povrchy, a tím snížit velikost tření a opotřebení.

Povrchové nerovnosti

Problematika vlivu povrchových nerovností na funkci mazaného kontaktu představuje neméně významnou oblast studia chování velmi zatěžovaných kontaktů strojních částí. Přítomnost povrchových nerovností na třecích površích je spojena jednak s použitou dokončovací metodou obrábění, ale nerovnosti mohou vzniknout i při provozu v důsledku kontaminace maziva pevnými částicemi, které jsou v něm obsaženy již z výroby, a v důsledku záběhu a opotřebení se jejich koncentrace dále zvyšuje. Další příčinou znečištění maziva mohou být také nečistoty z vnějších zdrojů znečištění, jakými jsou např. prach či písek. Velikost znečišťujících částic (až 50 μm) je obvykle mnohem větší než tloušťka mazacího filmu (méně než 1 μm), takže při jejich průchodu kontaktní oblastí dochází k jejich zamáčknutí do třecích povrchů. Vzniklé vtisky působí jako koncentrátoři napětí a v důsledku opakovaného cyklického namáhání dochází ke vzniku povrchových trhlin, které se dále větví až nastává vydrolování nebo odlupování materiálu z třecích povrchů. I v takovýchto případech umožňuje kolorimetrická interferometrie získat potřebné podklady pro posouzení vlivu defektů na třecích površích na funkci mazaného kontaktu. Z tloušťky mazacího filmu je totiž možné při znalosti geometrie třecích těles stanovit jejich elastickou deformaci a z ní získat hodnoty tlaku [4]. Tento přístup umožnil podstatným způsobem rozšířit možnosti experimentálního zařízení. Na obr. 3 je ukázáno srovnání průběhu tlaku v okolí vtisku o hloubce 650 nm s rozložením tlaku v hladkém kontaktu. Z obou průběhů je zřejmý významný nárůst tlaku v okolí vtisku

při prokluzu třecích povrchů. Získané výsledky rovněž prokázaly, že s rostoucí hloubkou vtisku dochází k nárůstu tlaku a tím k zvyšování rizika únavového poškození třecích povrchů.



Obr. 3 Průběh tlaku a tloušťky mazacího filmu v okolí vtisku o hloubce 650 nm

Pozornost je věnována nejen defektům na třecích površích, ale i povrchovým nerovnostem nacházejícím se na třecích površích po dokončovacích metodách obrábění. Většina valivých ložisek, ozubených soukolí, vaček nebo trakčních mechanismů pracuje za podmínek, kdy průměrná tloušťka mazacího filmu je menší než výška povrchových nerovností. V těchto případech má tloušťka mazacího filmu přímou souvislost s takovými procesy probíhajícími v mazaném kontaktu jako je tření, opotřebení, kontaktní únava a zadírání. Podrobné, kvantitativní studium spočívající ve srovnání naměřených hodnot rozložení tloušťky mazacího filmu se skutečnou topografií třecích povrchů umožnila až kombinace dvou měřících metod, kolorimetrické interferometrie a interferometrie s řízenou změnou fáze. Kolorimetrická interferometrie je použita ke stanovení rozložení tloušťky mazacího filmu, které je srovnáno s původní, nedeformovanou topografií třecího povrchu získanou pomocí interferometrie s řízenou změnou fáze. Avšak stanovit topografii třecího povrchu mimo experimentální zařízení a následně provést experimenty se stejnou polohou a orientací nerovností v mazaném kontaktu se ukázalo jako prakticky nemožné.

Poděkování

Publikace vznikla za podpory Grantové agentury České republiky, projekt č. GC101/09/J003.

Spoluautoři:

Martin Hartl, Martin Vrbka, Petr Šperka, Petr Svoboda a Martin Zimmerman

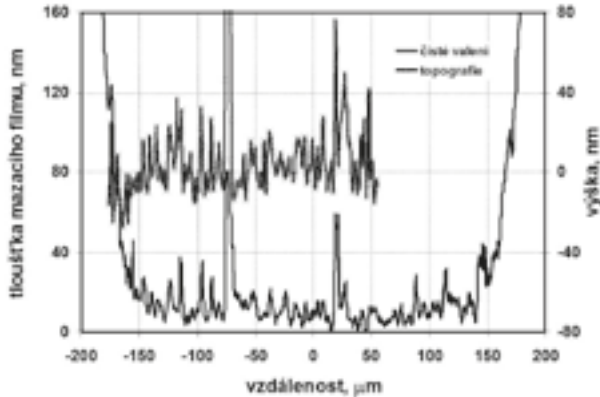
resumé

Lubrication films study by colorimetric interferometry

Most highly loaded machine elements such as gears, rolling bearings, cams and traction drives operate under lubrication conditions, where the average lubricant film thickness is considerably less than the surface roughness. In such conditions, the lubricant film thickness is directly related to the main practical performance parameters such as friction, wear, contact fatigue and scuffing. The article describes the examples of lubricated contacts study by colorimetric interferometry that helps to understand the lubrication mechanisms under various operational conditions and prolong the life of machine components.

(Dokončenie na www.strojarnstvo.sk, alebo si môžete celý príspevok prečítať v elektronickej verzii časopisu.)

Z tohoto důvodu bylo experimentální zařízení doplněno o optický 3D profilometr, který umožňuje stanovit topografii třecího povrchu bez nutnosti jeho přemístění. Tak bylo možné ukázat vliv jednotlivých povrchových nerovností i u reálných třecích povrchů (obr. 4) a tím úspěšně završit úvodní etapu experimentálního studia, které je nezbytné k ověření stávajících teoretických modelů s cílem optimalizace návrhového procesu strojních součástí.



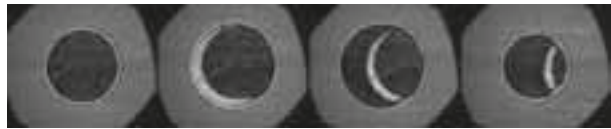
Obr. 4 Vliv topografie třecího povrchu na tloušťku mazacího filmu

Proměnlivé provozní podmínky

U většiny strojních součástí dochází při provozu ke změně rychlosti či zatížení, a tak jejich chování nelze předpovídat jenom na základě výsledků studia získaných za ustálených provozních podmínek. Vliv změny zatížení či rychlosti třecích povrchů je tak v současné době předmětem jak základního, tak i aplikovaného výzkumu s cílem přispět k objasnění procesu utváření mazacího filmu, který zajistí oddělení třecích těles a zabrání tak jejich styku a následného opotřebení. Jedná se o velmi aktuální problematiku a její úspěšné řešení přispívá k předcházení poškození strojních částí v důsledku nedostatečného mazacího filmu při neustálených provozních podmínkách. Pomocí počítačem řízených servomotorů experimentálního zařízení je možné simulovat např. podmínky rozběhu a doběhu strojních součástí, ale i jejich reverzací. Piezo zatěžovací člen umožňuje simulovat změny zatížení, ke kterým dochází za provozu strojních prvků. Na obr. 5 je kvalitativně ukázán místní nárůst tloušťky mazacího filmu, ke kterému došlo v důsledku skokové změny zatížení z hodnoty 35 N na hodnotu 64,5 N. Tato změna v tloušťce mazacího filmu je doprovázena i změnou (zvýšením) rozložení tlaku v mazacím filmu, což může významně ovlivnit únavovou životnost třecích povrchů.

Literatura

- [1] HARTL, M. – KŘUPKA, I. – POLIŠČUK, R. – LIŠKA M.: An Automatic System for Real-Time Evaluation of EHD Film Thickness and Shape Based on the Colorimetric Interferometry. *Tribology Transactions*, 42, 1999, s. 303 – 309.
- [2] SPIKES, H. A.: Thin films in elasto-hydrodynamic lubrication: the contribution of experiment. *Proc. IMECHE, Part J: Journal of Engineering Tribology*, 213, 1999, s. 335 – 352.
- [3] MÜLLER, M. – TOPOLOVEC-MIKLOZIC, K. – DARDIN, A. – SPIKES, H. A.: The Design of Boundary Film-Forming PMA Viscosity Modifiers. *Tribol Trans*, 2006; 49 (2), s. 225 – 232.
- [4] KŘUPKA, I. – HARTL, M. – VRBKA, M. – VAVERKA, M. – POLIŠČUK, R.: Effect of surface dents on contact pressure in elasto-hydrodynamic contacts. *Proc IMechE – Part J-Journal of Engineering Tribology*, 2009; 223(4). s. 683 – 693.
- [5] ŠPERKA, P. – KŘUPKA, I. – HARTL, M.: Experimental study of real roughness attenuation in concentrated contacts. *Tribology International*, 2010. 43(10). s. 1893 – 1901.



Obr. 5 Chromatické interferogramy kontaktu při skokové změně zatížení



Obr. 6 Optický tribometr pro studium utváření mazacího filmu ve valivém ložisku

Závěr

Tekuté mazací filmy budou s největší pravděpodobností i v blízké budoucnosti významným prostředkem ve snaze o další úspory energie prostřednictvím snižování tření. Zvyšování účinnosti mazacích filmů je spojeno nejen s využitím nových druhů maziv, ale i s poznáním jejich chování za vysokých tlaků v mazaných kontaktech. Hlavní omezení v dalším poznání procesů mazání lze spatřovat v přesnosti měřících metod používaných ke studiu mazacích filmů. Prakticky všechny dnes používané měřící metody vycházejí z optické interferenční metody a vyhodnocování tloušťky mazacích filmů často ovlivňují subjektivní faktory. Využití přesnějších měřících metod často omezuje konfigurace experimentálního zařízení, kde se studovaný mazací film nachází mezi třecími povrchy. Jako velmi perspektivní se ukazuje využití spektroskopické reflektometrie, které nachází inspiraci v oblasti fyziky tenkých vrstev. Tak by bylo možné nejen stanovit tloušťku mazacího filmu, ale i změnu fyzikálních vlastností maziva v kontaktu třecích těles. Na druhou stranu je žádoucí realizovat experimentální výzkum za podmínek více se blížících reálným podmínkám. V naší tribologické laboratoři jsou tak navrhována nová experimentální zařízení (obr. 6), která vytváří perspektivu dalšího rozvoje v dané oblasti.



Návrhy čelných evolventných ozubených kolies

TEXT: Ing. Jarmila Vojtková, PhD., TU SJF, Košice

V praxi sa najčastejšie používajú evolventné ozubené kolesá so symetrickými zubami. Ozubené kolesá, ktoré majú asymetrický profil, sú málo známe aj používané. Článok sa zaoberá evolventnými ozubenými kolesami bez korekcií posunutím profilu. Uhol profilu na ľavej a pravej strane nie je rovnaký a tým vzniká asymetrický zub. Zub vyzerá, akoby sa spojili dve polovice zubov s rôznymi uhlami záberu α .

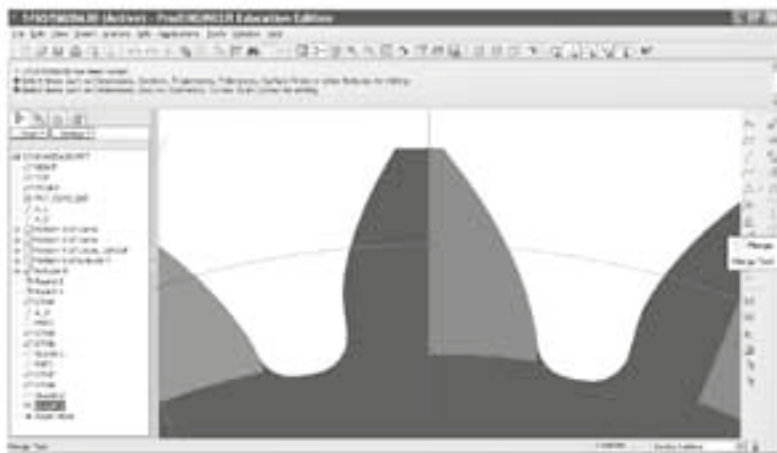
Asymetrické evolventné ozubené kolesá, ak sú vhodne navrhnuté, môžu poskytnúť výhodu zníženia vibrácií a hlučnosti. V závislosti na návrhu je možné použiť aj menšie počty zubov ako pri symetrických

zuboch. Zmenšenie rozmerov, a tým aj zníženie hmotnosti ozubeného kolesa, môžu byť tiež prínosom. Pri použití asymetrických zubov pri reverznom pohybe nastávajú zmeny v zaťažení ložísk, dochádza k zmenám klzných rýchlostí. Dĺžka trvania záberu

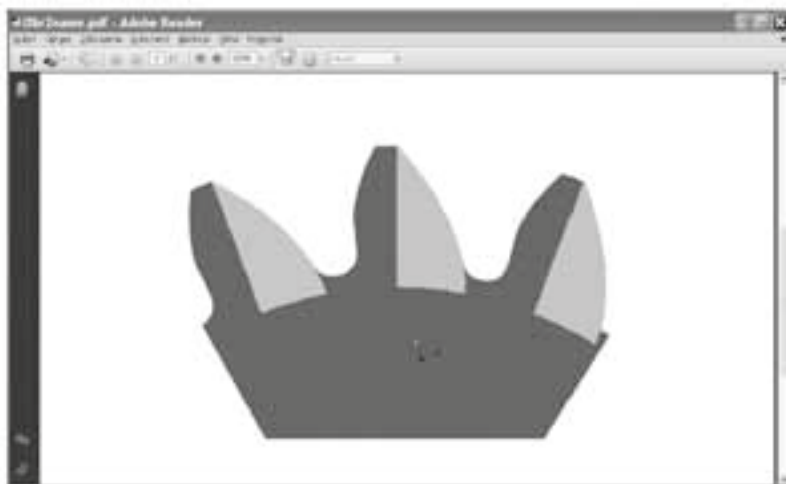
je závislá od smeru otáčania, t. j., ktorá strana je v zábere. Mení sa aj hrúbka na hlave ozubeného kolesa, pretože je závislá od uhla profilu. Dokonca môže byť aj pre jednu stranu hrúbka zuba na hlave záporná, ak je splnená podmienka, že skutočná celková hodnota je väčšia ako požadovaná minimálna.

Ozubené kolesá s asymetrickým profilom

Ozubené kolesá musia spĺňať podmienky správneho záberu. Evolventné ozubené kolesá s asymetrickými zubami takéto podmienky spĺňajú. Pred návrhom kolesa každého asymetrického kolesa, je potrebné určiť počty zubov súkolesia a modul. Pri skúmaní asymetrických ozubených kolies je potrebné uvažovať s potrebným minimálnym počtom zubov kolesa vzhľadom na podrezanie. Pre pastorkok je potrebné vypočítať a použiť väčšiu z hodnôt minimálneho počtu zubov. Minimálny počet zubov je závislý na uhle profilu α a súčiniteli výšky hlavy zuba h_a^* . Hodnota z'_{min} je určená pre minimálny počet zubov s prípustným podrezaním. Čím menší je uhol záberu, tým väčší je potrebný minimálny počet zubov pastorka. Na ľavej strane na obrázkoch aj v tabuľke je volený menší uhol ($\alpha_L < \alpha_p$). Hrúbka zuba na rozostupovej kružnici je pre ľavú a pravú stranu rovnaká. Na hlave už sú rôzne veľkosti hrúbky zuba pre každú polovicu (obr. 1). Modul je 10 mm pre lepšie zvýraznenie tvaru zuba. Na obr. 1 je zub kolesa s rozličnými uhlami profilu, kde ľavá a pravá polovica zuba je zdôraznená inou farbou. Na obr. 1 je zub kolesa, kde by počet zubov celého kolesa bol 17 a modul je 10 mm a uhlami $\alpha_L = 20^\circ$ a $\alpha_p = 30^\circ$. Nakreslená je aj rozostupová kružnica a na pravej strane aj teoretická hodnota päťtej kružnice. Poloha päťtej kružnice je iná pre ľavú a pravú stranu. Aby bolo možné porovnať bočné krivky kolesa, stačí riešiť len časť kolesa. Na modelovanie kolies je použitý softvér Pro/ENGINEER verzia WILDFIRE 4.0. Pri modelovaní sú využívané rovnice evolventy. Definované sú dve samostatné rovnice, pre ľavú a pravú bočnú krivku. Jedna bočná krivka ozubeného kolesa je definovaná uhlom $\alpha_L = 20^\circ$ a druhá bočná krivka toho istého zuba je definovaná uhlom $\alpha_p = 30^\circ$.



Obr. 1 Zub kolesa s asymetrickým ozubením, kde $z = 17$, $h_a^* = 1$, modul 10, ľavá strana uhol $\alpha_L = 20^\circ$, pravá strana uhol $\alpha_p = 30^\circ$



Obr. 2 Časť kolesa s asymetrickými zubami, parametre ako predtým, len s inou pravou stranou, $\alpha_p = 35^\circ$

ha^*	z_1	α_L (°)	z'_{min}	$s_{aL}/2$ (mm)	α_p (°)	$s_{aP}/2$ (mm)
0,9	10	25	9	2,8486	35	0,7702
	14	20	13	3,8640	40	-0,3161
	17	18	16	4,2601	45	-1,7299
1	10	25	10	2,0389	30	0,9734
	17	20	14	3,3704	35	0,1630
	21	17	20	3,9933	40	-1,1346
1,1	14	22	13	2,1823	30	0,3969
	17	20	16	2,7471	30	0,5762
	21	18	19	3,2852	35	-0,6097

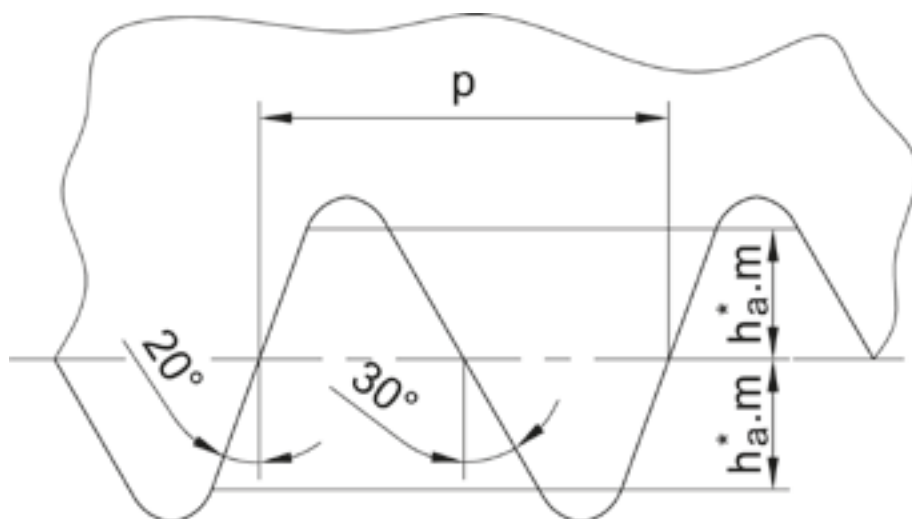
Tab. 1 Vybrané kombinácie pre vytvorenie asymetrického zuba spĺňajúce podmienku celkovej minimálnej hrúbky na hlave väčšej ako štvrtina modulu (výpočty pre modul $m = 10$ mm)

Pre porovnanie je na obr. 2 časť kolesa s rovnakými parametrami, ale len pravá strana je definovaná väčším uhlom $\alpha_p = 35^\circ$. Hrúbka zuba na oboch poloviciach je kladná a bola by väčšia ako štvrtina modulu.

Pre súčiniteľ h_a^* rovný 1,1 dochádza pre väčšie uhly α k výraznému poklesu možnosti vytvorenia kolesa. V tab. 1 je označený menší z uhlov α ako α_L . Podľa tab. 1 je možné vytvoriť koleso s daným počtom zubov s uhlom α_L a s uhlom α_p , ktorý by bol z intervalu od α_L až do hodnoty α_p , a spĺňal podmienku, že celková hrúbka zuba na hlave je väčšia alebo rovná štvrtine modulu. Zmenou uhla α_L nevzniká automaticky možnosť vytvorenia kolesa s dostatočnou hrúbkou na hlave a je potrebné ju overiť výpočtom. Uhol α môže byť v závislosti na parametroch od $14,5^\circ$ do 45° . Pre niektoré hodnoty uhla α sa nedá korektne vytvoriť ozubené koleso.

Nevýhodou takýchto kolies je výroba. Na ľahké pochopenie princípu týchto kolies môže slúžiť hrebeň, aj keď koleso môže byť vyrobené iným spôsobom. Pri výrobe hrebeňom je potrebný nový nástroj, kde je potrebné pre niektoré uhly vyriešiť tú časť nástroja, ktorá reže prechodovú krivku. Na obr. 3 je hrebeň s rôznymi uhlami profilu na výrobu. Výhodou môže byť aj možnosť použiť nenormalizované uhly záberu.

Pre asymetrické ozubené koleso je dôležité skontrolovať zostrojiteľnosť kolesa pre rôzne parametre. Pre to isté koleso je trvanie záberu rôzne v závislosti od smeru otáčania, nie je závislé na module ozubenia. Trvanie záberu je závislé na počte zubov súkolesia a s rastúcim uhlom α klesá. Pre väčšie hodnoty ha^* rastie trvanie záberu. Pre niektoré hodnoty z tab. 1 je trvanie záberu len tesne nad 1,1.



Obr. 3 Hrebeň s rôznymi hodnotami uhla profilu pre ľavú a pravú bočnú krivku.

Záver

Evolventné kolesá s asymetrickým profilom je možné vyrobiť aj ako šikmé ozubenie. Záberový uhol α výrazne ovplyvňuje sily ozubenia, ovplyvňuje tvar bočnej krivky zuba, t. j. či je evolventa viac alebo menej napriamena. Uhol záberu mení potrebný minimálny počet zubov, ovplyvňuje hrúbku na hlave zuba. Ozubené kolesá s asymetrickými profilmi môžu nájsť svoje uplatnenie v praxi pre určité prípady. Pri vhodnom návrhu môžu priniesť úspory materiálu zvýšenie zaťaženia prípadne zníženie vibrácií. Nevýhodou môže byť výroba takého ozubenia. Pre rôzne parametre je potrebné skontrolovať hrúbku zuba na hlave, trvanie záberu a pri výrobe hrebeňom aj hlavu nástroja. Takéto kolesá môžu byť použité aj na jeden zmysel otáčania.

resumé

Concepts of Spur Involute Gear Wheels

The involute gear wheels with symmetrical teeth are the most often-applied tooth systems in the practice. The gear wheels with an asymmetrical profile are not well known and they are used only rarely. This paper deals with the involute gear wheels without a gear tooth profile correction. Angles of the profile on the left and right side are not the same and thus it is created an asymmetrical tooth. The tooth seems like as if they had been connected together two halves of a tooth with different pressure angles α .

The correctly designed asymmetrical involute gear wheels can offer an advantage of reduced vibration and noisiness. In this case it is possible to use also a less number of teeth in comparison to the symmetrical teeth and in this way to reduce also weight of the gear wheel.

BURZA

Oceľové profily, hriadele, torzné pružiny

Jedna z popredných spoločností v Európe v oblasti komponentov garážových dvier hľadá výrobcov oceľových profilov, hriadeľov a pružín zo Slovenska.

UR 113032

Komplexné opracovanie plechov.

Ponúkame časť našich výrobných kapacít na kooperáciu pre záujemcov, ktorí majú záujem o dlhodobú spoluprácu. Disponujeme kompletnou výkonnou technológiou na deľenie, vystrihovanie, ohýbanie, zváranie, predpovrchovú a povrchovú úpravu výrobkov z plechu čierna aj antikorošného. Hrúbky do 6 mm. Sme certifikovaná, exportne zameraná spoločnosť.

UR113034

Prenájom výrobnéj haly

Druh objektu: Výrobná hala („Hala A4“)

Lokalita: Čadca (strážnený výrobný areál v priemyselnej zóne)

Bezproblémová dostupnosť kamióňmi.

Nájomné: dohodou (ponuka: 27 eur/m²/rok plus správčovský poplatok 4,07 eur/m²/rok)
Základné údaje: úžitková plocha výrobnéj haly 1 935 m²; rozmery: 86,00 x 22,50 x 5,35 m; svetlá výška 3,75 m; výrobná hala sa nachádza na 1. poschodí dvojpodlažnej budovy; prístupná dvomi výťahmi s nosnosťou 3,5 ton a 2,8 tony plus 3 schodiskami; podľa potreby nájomcu sú k dispozícii: 2 kancelárie s plochou 18,00 m² a 19,10 m²; šatne a sociálne zariadenia pre zamestnancov s plochou 106,60 m² v susediacej hale A5; klimatizácia v 2. NP prístavby s klimatizačným zariadením od firmy Wiesner Bayreuth, NSR, s rozmermi (26,0 m x 5,0 m); ďalšie priestory (dielňa údržby, sklady...); rozsiahla rekonštrukcia v roku 2004 pozostávala z nového zastrešenia, zhotovenia nových rozvodov elektro, vody, kanalizácie, vybavenia haly novou vzduchotechnikou, výmeny jednoduchých okien za plastové s izolačným dvojsklom, osadenia nových dverí, opráv vnútorných a vonkajších povrchových úprav, vyhotovenia novej pancierovej podlahy a obnovy nákladného výťahu; všetky energie sú k dispozícii z vnútroareálových rozvodov so samostatným meraním; podrobnejšie informácie počas osobnej prehliadky.

UR113033

Vykupovanie odpadu pri výrobe

Hľadáme dodávateľov odpadu vznikajúceho pri gumárskej výrobe, alebo pri výrobe v ktorej procese sa využívajú plasty. Ide predovšetkým o prírodnú gumu, styrený, etylén, propylén, a ďalšie.

UR112984

Hľadám objekty na Slovensku

Hľadám objekty v slovenských mestách s počtom obyvateľov od 20 tis. do 100 tis. Mám záujem o dobre prenajímateľné obchodné priestory. Nie staršie ako 10 rokov a v dobrom technickom stave s veľkosťou medzi 1 000 až 25 000 štvorcových metrov. Zasielajte mi ponuky s bezchybným popisom nehnuteľnosti (neskôr aj notársky overené). Mám záujem iba o kontakty s vlastníkmi týchto podnikateľských nehnuteľností. Prvý kontakt „e-mailom“.

UR113021

Kontakt: kolinek@sopk.sk • Členovia SOPK: kontakty zadarmo
Nečlenovia: 8,30 eur / adresa + 20 % DPH



marec – březen 2011, číslo 3

cena 3 € / 90,40 Kč

Zaregistrované MK SR, EV 3440/09

ISSN 1335 – 2938, tematická skupina: A/7

Vydáva:

MEDIA/ST

Moyzesova 35, 010 01 Žilina

IČO: 36380849, IČ pre DPH: SK2020102568

RIADITELKA:

Ing. Antónia Franeková, e-mail: franekova@mediast.sk, tel.: +421/41/507 93 39

ŠÉFREDAKTOR:

Mgr. Ján Minár, e-mail: minar@mediast.sk, redakcia@mediast.sk
tel.: +421/41/507 93 35, mobil: 0905 749 092

REDAKCIA:

Mgr. Michal Múdry, e-mail: mudry@mediast.sk; tel.: +421/41/507 93 31

Mgr. Ján Petrovič, e-mail: redakcia@mediast.sk

Branislav Koscelník, e-mail: koscelnik@gmail.com

Košice: doc. Ing. Alena Pauliková, PhD., alena.paulikova@tuke.sk
tel.: +421/55/602 27 12

REDAKČNÁ RADA:

dr.h.c. prof. Ing. Miroslav Badida, CSc., prof. Ing. Alexander Janáč, CSc.,
doc. Ing. Ján Lešínský, CSc., Ing. Jozef Nemcsics, CSc.,
doc. Ing. Pavel Pavlásek, CSc. prof. Ing. Kamil Ružička, CSc.,
Ing. Štefan Svetský, PhD., doc. Ing. Stanislav Turek, PhD.,
prof. Ing. Ladislav Várkony, PhD.

INZERTNÉ ODDELENIE:

Ludmila Podhorcová – podhorcova@mediast.sk, 0903 50 90 91

Ing. Pavol Jurošek – jurosek@mediast.sk, 0903 50 90 93

Roman Školník – skolnik@mediast.sk, 0902 550 540

Ing. Slávka Babiaková – babiakova@mediast.sk, 0903 027 227

Ing. Iveta Kanisová – kanisova@mediast.sk, 0902 500 864

Žilina: Moyzesova 35, 010 01 Žilina

tel.: +421/41/564 03 70, fax: +421/41/564 03 71

Banská Bystrica: Kapitulska 13, 974 01 Banská Bystrica

tel./fax: +421/48/415 25 77

GRAFICKÁ ÚPRAVA:

Štúdio MEDIA/ST, Ing. Ján Jančo, tel.: +421/41/507 93 22

ROZŠIRUJE:

MEDIAPRINT-KAPA PRESSEGROSSO, a. s., Bratislava a súkromní predajcovia

PREDPLATNÉ:

Celoročné: 29,90 € prijíma redakcia

tel.: +421/41/564 03 70, e-mail: sekretariat@mediast.sk

Nevyžiadané rukopisy a materiály redakcia nevracia a nehonoruje.

Redakcia nezodpovedá za obsah a správnosť inzercie a komerčných prezentácií.

gorenje

**GORENJE Slovakia s.r.o. hľadá zamestnanca na hlavný pracovný pomer,
na pracovnú pozíciu TECHNICKÝ PORADCA, s nástupom ihneď,
s miestom práce celoslovenská pôsobnosť:**

- technické poradenstvo pre obchodných partnerov a koncových zákazníkov v oblasti predaja tepelných čerpadiel a klimatizačných zariadení
- konzultácie s klientmi, zisťovanie a riešenie potrieb zákazníkov
- služobné cesty v rámci a mimo Slovenska

Požadované vzdelanie a znalosti:

vysokoškolské II. stupňa – technické; vodičský preukaz skupiny B; pokročilá znalosť ANGLICKÉHO JAZYKA; znalosť práce s PC – balík Microsoft Office, e-mail; prax v predmetnej oblasti – výhodou; komunikačné a prezentačné schopnosti, precíznosť, technické znalosti; ochota cestovať

Informácie o výberovom kosení:

Zaslanie profesionálneho životopisu v SLOVENSKOM A V ANGLICKOM JAZYKU (formulár – EUROPASS), do predmetu správy uvádzať názov PRACOVNEJ POZÍCIE, na ktorú reagujete. VAŠE ŽIADOSTI ZASIELAJTE PRIAMO NA NÁS e-mail: mackova@gorenje.sk

Kontaktovať budeme iba kandidátov spĺňajúcich všetky požiadavky. Ostatné žiadosti budú zaradené do našej databázy. Za pochopenie ďakujeme.

Zaslaním Vášho životopisu dávate súhlas so spracovaním, správu a archiváciou Vašich osobných údajov uvedených v životopise, v zmysle článku 1. 425/2002 Z. z. o ochrane osobných údajov v znení neskorších predpisov pre účely evidencie uchádzačov a pre účely ďalšieho spracovania, a to až do odvolania písomnou formou.

Adresa spoločnosti: GORENJE Slovakia s.r.o., Paliasky 5/A, 841 01 Bratislava, <http://www.gorenje.sk>