

TRIBOTECHNICKÁ DIAGNOSTIKA V PREVÁDZKE POUŽITÝCH OLEJOV II. METÓDY HODNOTENIA FYZIKÁLNO-CHEMICKÝCH VLASTNOSTÍ OLEJOV

JANKA MIHALČOVÁ a HEKMAT AL HAKIM

*Fakulta výrobných technológií Technickej Univerzity
v Košiciach so sídlom v Prešove, Štúrova 31, 080 01 Prešov,
Slovensko*

janka.mihalcova@tuke.sk, hekmat.alhakim@tuke.sk

Došlo 3.3.08, prijaté 12.9.08.

Kľúčové slová: mazacie oleje, lubrikanty

Úvod

Využívanie metód tribotechnickej diagnostiky zabezpečuje zvýšenie bezpečnosti a spoľahlivosti prevádzky, je prevenciou vzniku porúch a prostriedkom určenia technického stavu strojov. Je dokázané, že problémy s prevádzkou strojov sú zapríčinené z 85 % znečisteným olejom a zo 70 % produktmi starnutia v mazive¹⁻⁴.

Mazacie oleje sú počas svojho pôsobenia vystavené vysokej teplote, tlaku a prieniku nežiadúcich látok z vonkajšieho prostredia, čiže vnútornej a vonkajšej kontaminácii. Tým dochádza k vzniku degradačných produktov v oleji, jeho kontaminácii a úbytku aditív. Tieto vplyvy narúšajú funkčné vlastnosti olejov a materiálov obmývaných olejom. Sledovaním vlastností mazacích olejov počas ich použitia v prevádzke stroja sa zisťuje životnosť oleja a jeho schopnosť chrániť stroj. Súčasne je možné cez vlastnosti oleja určiť aj technický stav tohoto stroja^{3,4}. K metódam, ktorými sa v tribotechnickom laboratóriu sledujú fyzikálno-chemické vlastnosti oleja, patrí stanovenie viskozity, celkového čísla kyslosti (total acid number – TAN), vody metódou podľa Karla Fischera a stanovenie bodu vzplanutia.

Experimentálna časť

Viskozita

Ak sú vo vzorke viditeľné nečistoty, prefiltruje sa, prípadne sa tieto nečistoty odstránia dekantáciou. Pre stanovenie kinematickej viskozity sa používa poloautomatický viskozimeter TAMSON TV 200/AKV a meranie i spracovanie výsledkov sa vykonáva podľa normy STN EN ISO 3104+AC. Metóda je založená na automatickom

meraní doby prietoku daného objemu meranej vzorky kvapaliny v dôsledku pôsobenia gravitačnej sily v kalibrovanej Ubbelohdeho trubici alebo manuálne pomocou Ostwaldovej trubice.

Na overenie kalibrácie viskozimetrických trubíc sa využívajú certifikované referenčné materiály (CRM) CANON S60 a N1000, sú to ropné oleje s certifikovanou hodnotou viskozity pri danej teplote.

Celkové číslo kyslosti (TAN)

Na stanovenie TAN sa ako titračné činidlo používa 0,1 mol l⁻¹ alkoholický roztok KOH. Vzorka sa rozpúšťa v zmesi chloroform : propan-2-ol v pomere 2:1. Vzorka sa pred analýzou homogenizuje pretrepávaním. Celkové číslo kyslosti sa stanovuje na automatickom potenciometrickom titrátore 702 SM TITRINO. Meria sa potenciál na indikačnej sklenenej elektróde oproti referenčnej chloridostriebornej elektróde v súlade s normou STN 65 6070. TAN je udané množstvom KOH v mg, ktoré je potrebné na neutralizáciu 1 g vzorky. Presnosť a správnosť merania je zabezpečené použitím CRM hydrogénftalátu draselného pri stanovení faktora roztoku KOH.

Obsah vody (stanovenie podľa Karla Fischera)

Na stanovenie vody touto metódou sa používajú Karl Fischerove titračné činidlo HYDRANAL Titrant 2 (obsahuje jód a oxid siričitý rozpustené v zmesi bezvodného metanolu a pyridínu) a rozpúšťadlo Hydranal Solvent Oil (obsahuje imidazol, oxid siričitý, hexan-1-ol a metanol). Vzorka sa pred analýzou homogenizuje pretrepávaním. Na stanovenie obsahu vody metódou podľa Karla Fischera sa rovnako využíva automatický potenciometrický titrátor ako pre stanovenie TAN, ale za použitia dvojitej platinovej elektródy. Meranie sa uskutočňuje pomocou volumetrickej titrácie s automatickou biampérometrickou indikáciou koncového bodu v súlade s normou STN 65 0330. Princípom metódy je oxidačno-redukčná reakcia, pri ktorej reagujú jód a oxid siričitý v bezvodnom metanole a pyridíne s vodou vo vzorke oleja. Presnosť merania je v laboratóriu zabezpečená meraním referenčného materiálu (water standard for volumetric titration no.:34849) nadväzného na CRM NIST SRM 2890.

Bod vzplanutia (stanovenie podľa Clevelanda)

Pred analýzou sa nechá vzorka stabilizovať pri laboratórnej teplote. Homogenizuje sa miešaním, aby sa nevytvorili bublinky. Prípadné bublinky sa odstránia z povrchu vzorky v téglíku. Na stanovenie bodu vzplanutia v otvorenom téglíku sa využíva automat FP-92 5G. Metóda spočíva v zohrievaní vzorky v otvorenom téglíku predpísanou rýchlosťou do prvého vzplanutia pár skúšanej vzorky nad hladinou po priblížení plameňa v súlade s normou STN ISO EN 2592. Na identifikáciu plameňa je použitý ionizačný hlásič. Stanovuje sa pre kvapalné ropné

látky s teplotou vzplanutia nad 80 °C. Presnosť a správnosť sa kontroluje meraním referenčného materiálu PAC GmbH Flash Point Cleveland Open Cup lot No:1029.

Presnosť a správnosť meraní uvedených skúšok je zabezpečená účasťou laboratória na medzilaboratórnych porovnávacích meraniach s laboratóriami, ktoré majú vykonávanie týchto skúšok akreditované.

Výsledky a diskusia

Viskozita určuje vytváranie kvapalinového mazania, únosnosť mazacieho filmu, veľkosť odporu pri rozbehu pohyblivých častí motora, tesniacu schopnosť maziva a tepelnú vodivosť. V použitom oleji viskozita rastie s dôvodu vzniku nečistôt, a to buď prienikom z vonkajšieho prostredia alebo opotrebovaním a starnutím oleja. Pokles viskozity môže byť spôsobený zriadením oleja napr. s palivom z dôvodu netesností v motore. Pravidelným sledovaním hodnôt viskozity olejov bolo zistené a doporučené, že počas bežnej prevádzky leteckých motorov by sa viskozita nemala meniť o viac ako $\pm 15\%$ od hodnoty udanej pre čistý olej. V prípade väčšej zmeny je potrebné zistiť znehodnotenie vlastností oleja, ktoré môže byť spôsobené prienikom nežiadúcej kvapaliny do olejového systému alebo tepelnou degradáciou z dôvodu poruchy systému alebo nesprávnej prevádzky. Pre stanovenie kinematickej viskozity v rozsahu od 2 do 100 $\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$ bola v laboratóriu vypočítaná hodnota rozšírenej neistoty (U) s koeficientom rozšírenia $k = 2$ rovná 2 %.

Celkové číslo kyslosti je veľmi dôležitým ukazovateľom kvality používaného oleja. Starnutie oleja je spôsobené oxidáciou uhlíkovodíkového základu oleja, čím vznikajú látky, ktoré majú kyslé vlastnosti. Nárast TAN v použitých olejoch signalizuje nárast kyslých produktov oxidácie. Číslo kyslosti by nemalo narásť o viac ako o polovicu, od hodnoty určenej pre čistý olej, ale pre oleje pracujúce v leteckých motoroch to neplatí. Dlhodobým meraním hodnôt TAN olejov v prevádzke leteckých motorov bolo zistené, že zvyčajne nedochádza k prekročeniu hodnôt

určených pre čistý olej. K vyššiemu prekročeniu došlo len v prípade zmiešania s iným typom oleja, ktorého číslo kyslosti je výrazne vyššie. Pre stanovenie TAN v rozsahu od 0,01 do 1,5 mg KOH g^{-1} vzorky bola s koeficientom rozšírenia $k = 2$ vypočítaná hodnota U na 8 %.

Prítomnosť vody znižuje kvalitu mazacieho filmu, zvyšuje možnosť korózie kovových súčiastok stroja a ochudobňuje mazacu kvapalinu o aditíva. Dôsledkom je zvýšený oder a opotrebovanie, čo môže spôsobiť poruchu ložísk, upchatie filtrov a zapečenie motora. Voda môže spôsobovať vytváranie emulzií a kalov. Vo väčšine olejov používajúcich sa v leteckých motoroch je prítomnosť vody neprípustná. Vyhodnotením meraní obsahu vody v oleji jedného typu leteckých motorov počas jedného roka bolo zistené, že priemerná hodnota obsahu vody je 0,04 % s intervalom spoľahlivosti 95 % v rozsahu danom smerodajnou odchýlkou 0,011%. Pre obsah vody metódou podľa K. Fischera v rozsahu od 0,01 do 10 % bola s koeficientom rozšírenia $k = 2$ hodnota U rovná 8 %.

Bod vzplanutia pre opotrebované oleje slúži k stanoveniu približného obsahu zriedujúcich a horľavých látok. Pomocou tejto metódy je možné zistiť nariadenie meranej vzorky oleja napr. s palivom, vodou alebo inou kvapalinou, ktorá znehodnocuje vlastnosti oleja, čím sa znižuje výkonnosť stroja. Pre meranie bodu vzplanutia v otvorenom téglíku podľa Clevelanda v rozsahu od 100 do 300 °C je pre koeficient rozšírenia $k = 2$ hodnota U rovná 4 %.

Príklady tribotechnickej diagnostiky v praxi

Využitie niektorých zo spomínaných metód v praxi je popísané v nasledovných príkladoch:

Príklad 1

Pôvodná olejová náplň leteckého motora olej Castrol 98 bola nahradená zmesou olejov ASTO 3SP a ASTO 100. Pri bežnej tribotechnickej kontrole boli vo vzorkách olejov namerané zvýšené hodnoty TAN a kinematickej viskozity (tabuľka I). Pre čistý olej Castrol 98 bola nameraná prie-

Tabuľka I
Hodnoty TAN a kinematickej viskozity vo vzorkách olejov

Číslo vzorky/ označenie oleja	Kinematická viskozita [$\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$]		TAN [mg KOH g^{-1}]
	37,8 °C	100 °C	
ASTO 3SP / ASTO 100	22,95	4,41	0,09
Castrol 98	– ^a	7,6 ^b	0,20
1	29,24	5,48	0,12
2	29,26	5,22	0,14
3	29,71	5,08	0,19
4	29,48	5,10	0,20

^a Tabuľková hodnota nie je uvedená, ^b tabuľková hodnota

merná hodnota TAN rovná 0,20 mg KOH g⁻¹ s intervalom spoľahlivosti 95 % v rozsahu danom smerodajnou odchýlkou 0,12 mg KOH g⁻¹. V čistej zmesi olejov ASTO 3SP a ASTO 100 bola nameraná hodnota TAN 0,09 mg KOH g⁻¹. Z nameraných výsledkov vznikol predpoklad, že došlo k nedokonalému preplachu olejového systému. Infračervenou spektrálnou analýzou bola potvrdená prítomnosť oleja Castrol 98 v zmesi olejov ASTO 3SP a ASTO 100. Z tribotechnického hľadiska je tento stav pracovných kvapalín nevyhovujúci, a preto bolo doporučené prepláchnutie olejového systému a opakované naplnenie príslušnou zmesou olejov.

Príklad 2

Pri bežnej kontrole stavu kvapalín v leteckom motore bolo zistené zakalenie oleja. Z dôvodu podozrenia na prítomnosť inej kvapaliny, ako je doporučená pre daný olejový systém, bol stanovený bod vzplanutia v otvorenom tégliku a vykonaná infračervená spektrálna analýza. Na základe infračervenej analýzy bolo zistené, že došlo k zmiešaniu oleja MS-8P s olejom ASTO-555, zároveň bola vylúčená prítomnosť vody. Hodnota bodu vzplanutia v čistom oleji MS-8P je 175 °C. Nameraná hodnota bodu vzplanutia skúšobnej vzorky bola nižšia, a to 162 °C. Predpokladalo sa, že zmiešaním s olejom ASTO-555, ktorého bod vzplanutia je 245 °C, vzrastie hodnota bodu vzplanutia, ale nestalo sa tak. Dá sa to vysvetliť tým, že vzájomným zmiešaním týchto kvapalín za zvýšených teplôt a tlakov vznikli látky, ktoré sú viacej horľavé (majú nižší bod vzplanutia) ako samotný olej MS-8P.

Záver

Stanovenie viskozity v opotrebovaných olejoch je dôležitou informáciou o únosnosti mazacieho filmu medzi trecími plochami pre zabezpečenie ochrany systémov mazaných týmito olejmi. Číslo kyslosti udáva množstvo kyslých látok v oleji a tým určuje stupeň jeho zostarnutia. Prítomnosť vody v oleji vo viazanej alebo voľnej forme predstavuje nežiaduci činiteľ, ktorý vzniká počas prevádzky stroja, čím spôsobuje nepriaznivé degradačné procesy v mazive.

Metódy využívané na zisťovanie fyzikálno-chemických vlastností oleja, nachádzajúceho sa počas

prevádzky v olejovom systéme motora, umožňujú získať pomocou zmeny vlastností oleja veľa informácií o stave motora. Z výsledkov meraní je možné dedukovať dostatočné, alebo nedostatočné utesnenie motora, prípadne utesnenie chladiaceho systému, dokonalosť mazania a chladenia. Pomocou týchto metód a znalosti technického systému je možné identifikovať vznikajúcu poruchu, prípadne ju aj lokalizovať.

Príspevok vznikol za podpory grantovej agentúry VEGA MŠ SR č. 1/4155/07.

LITERATÚRA

1. Helebrant F., Marek V., Rautová J., Ziegler J.: *Sborník přednášek 9. ročníku konference REOTRIB 2003 Kvality paliv a maziv, 21.–23. května, Velké Losiny, 2003*, str. 85, (Černý J., ed.), VŠCHT, Praha 2003.
2. Nováček V.: *Tribotechnické informace 2006*, 4.
3. Anderson D. P., Lukas M.: *VIII International Conference: Tribotechnics in Theory and Practice, 21.–24. April 1997 part II, Skalský Dvůr*, str. 7. Sekurkon, Praha 1997.
4. Chvalina V.: *Tribotechnické informace 2006*, 2–3.

J. Mihalčová and H. Al Hakim (*Faculty of Production Technologies, Technical University, Košice, Slovak Republic*): **Tribotechnical Diagnostics of Used Oils II. Methods of Assessment of Physicochemical Properties of Oils**

Methods used in tribotechnical diagnostics of military airplane engines based on evaluation of physicochemical characteristics of the used oils are reviewed. Their kinematic viscosity was determined at 40 °C and 100 °C using an automatic viscometer. An increase in viscosity may indicate contamination of oil with impurities or water due to degradation or vaporization of volatiles. A decrease in viscosity indicates contamination of oil with fuel. The total acid number of oil was determined by titration with KOH. Water was determined by Karl Fischer titration. The flash point was determined by the Cleveland open cup method. Applications of the described methods are shown on two examples.