

VYUŽITÍ SPEKTROSKOPICKÉ REFLEKTOMETRIE PŘI STUDIU TRIBOLOGICKÝCH PROCESŮ MIKROMECHANISMŮ

J. Medlík*, V. Čudek*

Podklady pro přednášku předmětu
“Konstruování strojů – mechanismy (6KM)”

1. Úvod

S rozvojem techniky a výrobních technologií dochází k postupnému snižování tloušťky mazacích filmů v strojních tribologických soustavách. Tento proces má několik příčin, mezi nejvýznamnější patří zvyšování teplot a tlaků v kontaktech (jsou důsledkem zlepšování vlastností materiálů), dále používání maziv s nižší viskozitou (to je dáno požadavkem snižování tření a tím i spotřeby energie) a v neposlední řadě zlepšování kvality povrchů třecích prvků (což je výsledek používání nových dokončovacích postupů).

Objev elastohydrodynamického mazání počátkem druhé poloviny dvacátého století pak přinesl poznání, že u vysoce zatížených strojních součástí jakými jsou např. valivá ložiska či ozubené převody dosahuje minimální tloušťka mazacího filmu hodnot 10^{-6} až 10^{-7} m. Při smíšeném mazání spojeném s plastickou deformací povrchových nerovností nebo u hydrodynamicky mazaných magnetických paměťových médií může mít mazací film tloušťku až 10^{-8} nebo dokonce 10^{-9} m. Tloušťka těchto velmi tenkých mazacích filmů je stejného řádu jako je velikost molekul maziva.

2. Metoda spektroskopické reflektometrie

Spektroskopická reflektometrie je obecně metoda založená na měření spektrální závislosti světla odraženého z měřené oblasti. V praxi se používá především pro studium optických vlastností tenkých vrstev a jejich tloušťky a umožňuje měřit jak systémy tvořené pouze jednou tenkou vrstvou, tak i vícevrstvé. Výhoda této metody je její přesnost, která se pohybuje v jednotkách nanometrů a velký rozsah měřitelných tloušťek (od jednotek nanometrů až po jednotky mikrometrů). Největší slabinou spektroskopické reflektometrie je možnost měřit vlastnosti vrstev pouze v jednom bodě, případně v řezu, což je dáno možnostmi měření spektrální závislosti.

Spektroskopická reflektometrie vychází z měření tzv. absolutní odrazivosti, která je definována jako poměr intenzity světla odraženého ku dopadajícímu. Tuto absolutní odrazivost lze popsat fresnelovými rovnicemi, které jsou základem matematického modelu, pomocí něhož lze inverzní úlohou získat hledané parametry. Těmito parametry může být tloušťka tenké vrstvy, stejně jako i optické vlastnosti studovaných vrstev (index lomu, index absorpce).

* Ing. Jan Medlík, Ing. Vladimír Čudek: Ústav konstruování, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně; Technická 2896/2; 616 69 Brno ; tel.: +420.5 4114 3238, fax: +420.5 4114 3231; Email: ymedli00@stud.fme.vutbr.cz, ycudek00@stud.fme.vutbr.cz

Princip měření tenkých mazacích filmů:

- a) Naměření spektra odraženého světla ze středu kontaktu, tvořeného mazivem, skleněným kotoučem s napařenou mezivrstvou (pro zvýšení kontrastu) a ocelovou koulí.
- b) Za úplně stejných podmínek, jako v první fázi, naměření spektra známého etalonu. V praxi se jako etalon vžilo používání monokrystalu křemíku, u kterého je jeho odrazivost velice dobře známá a zároveň se jedná o vzorek, u nějž je odrazivost v čase konstantní (na jeho povrchu nevznikají žádné oxidické vrstvy, které mají za následek změnu odrazivosti).
- c) Výpočet relativní odrazivosti

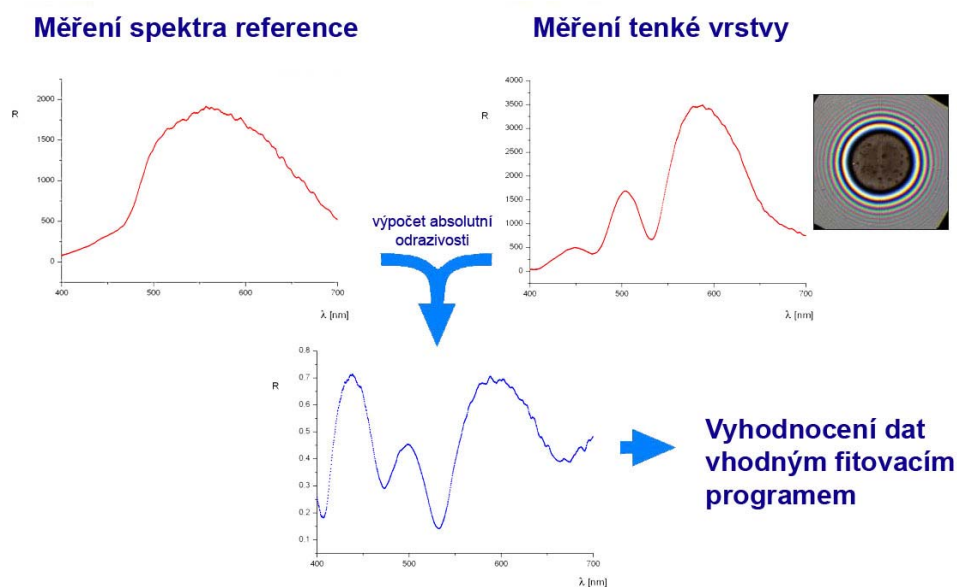
$$R_{rel} = \frac{R_{kontaktu}}{R_{etalonu}}, \quad (1)$$

kde $R_{kontaktu}$ je odrazivost kontaktu, $R_{etalonu}$ odrazivost etalonu a R_{rel} relativní odrazivost. Absolutní odrazivost R_{abs} je následně vypočítána ze vztahu

$$R_{abs} = R_{rel} \cdot R_{tab}, \quad (2)$$

kde R_{tab} je tabulková hodnota známé absolutní odrazivosti etalonu.

- d) V poslední fázi nalezení vhodných konstant, tedy tloušťky filmu a indexu lomu, kterým odpovídá průběh absolutní odrazivosti ze studovaného kontaktu tvořeného mazacím filmem, ocelovou koulí a skleněným diskem s vrstvami.



Obr. 1 Schéma měření spektroskopickou reflektometrií.

3. Závěr

Spektroskopická reflektometrie je v dnešní době jedna z nejpoužívanějších metod studia tenkých vrstev, a to v širokém rozmezí tloušťek od jednotek nanometrů až po mikrometry. Výhodou této metody je možnost měřit nejen tloušťku filmu, ale také index lomu a to absolutně. Nedochozí tedy k žádnému porovnávání naměřených hodnot se známou geometrií, jak je tomu u dnes nejpoužívanější metody pro studium tloušťky maziva, kolorimetrické interferometrie. Aplikace spektroskopické reflektometrie v oblasti tribologických procesů může přinést nové možnosti, jako je např. měření tlaku v kontaktní oblasti pomocí změny indexu lomu. I přesto, že popisovaná metoda umožňuje měřit tenké vrstvy o tloušťkách až jednotek nanometrů, v dosavadním výzkumu se zatím nepodařilo nalézt takové experimentální uspořádání, aby bylo s jistotou možno měřit tloušťku maziva v desítkách až jednotkách nanometrů. To je dáno především optickým designem, který určuje index lomu použitého skleněného resp. safírového disku a tenké vrstvy zvyšující kontrast interferogramu. I přesto současná měření dokazují, že tuto metodu lze aplikovat v oblasti studia tribologických procesů.

4. Užitečné odkazy

http://dl.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_soubor.php?id=792

http://is.muni.cz/th/106076/prif_b/Text_prace.pdf

<http://en.wikipedia.org/wiki/Spectroscopy>

Odkazy aktivní ke dni 20. 1. 2010.

5. Poděkování

Výsledky byly získány za podpory grantového projektu FRVŠ č. 1784/2009.