

VPLYV OXIDÁCIE POČAS TRENIA NA OPOTREBENIE TRECÍCH VRSTIEV

THE OXIDATION INFLUENCE DURING FRICTION ON TOTAL WEAR OF FRICTION SURFACES

Ingrid KOVAŘÍKOVÁ, Peter KNOŠKO

Autori: **Ing. Ingrid Kovaříková, PhD., Ing. Peter Knoško**
Pracovisko: **Ústav výrobných technológií, Katedra zvarania, Materiálovotehchnologická fakulta STU**
Adresa: **ul. J. Bottu 25, 917 24 Trnava, Slovenská republika**
E-mail: ingrid.kovarikova@stuba.sk, peter_knosko@pobox.sk

Abstract

Príspevok sa zaoberá vplyvom oxidácie na opotrebenie trecej vrstvy. Popisuje tvorbu a vplyv konkrétnych typov oxidov na trecích povrchoch vyhotovených na báze železa. Matematicky popisuje oxidačné deje a implementuje ich do pôvodnej Archardovej rovnice.

The paper deals with influence of oxidation on wear of friction layer. It describes formation and influence of particular types of oxides on iron based friction surfaces. There are mathematically described oxidation processes in the paper and done their implementation into the original Archard's equation.

Key words

oxidácia, oxid, teplota, termomechanická reakcia, opotrebenie, trecí povrch, oxidačný faktor

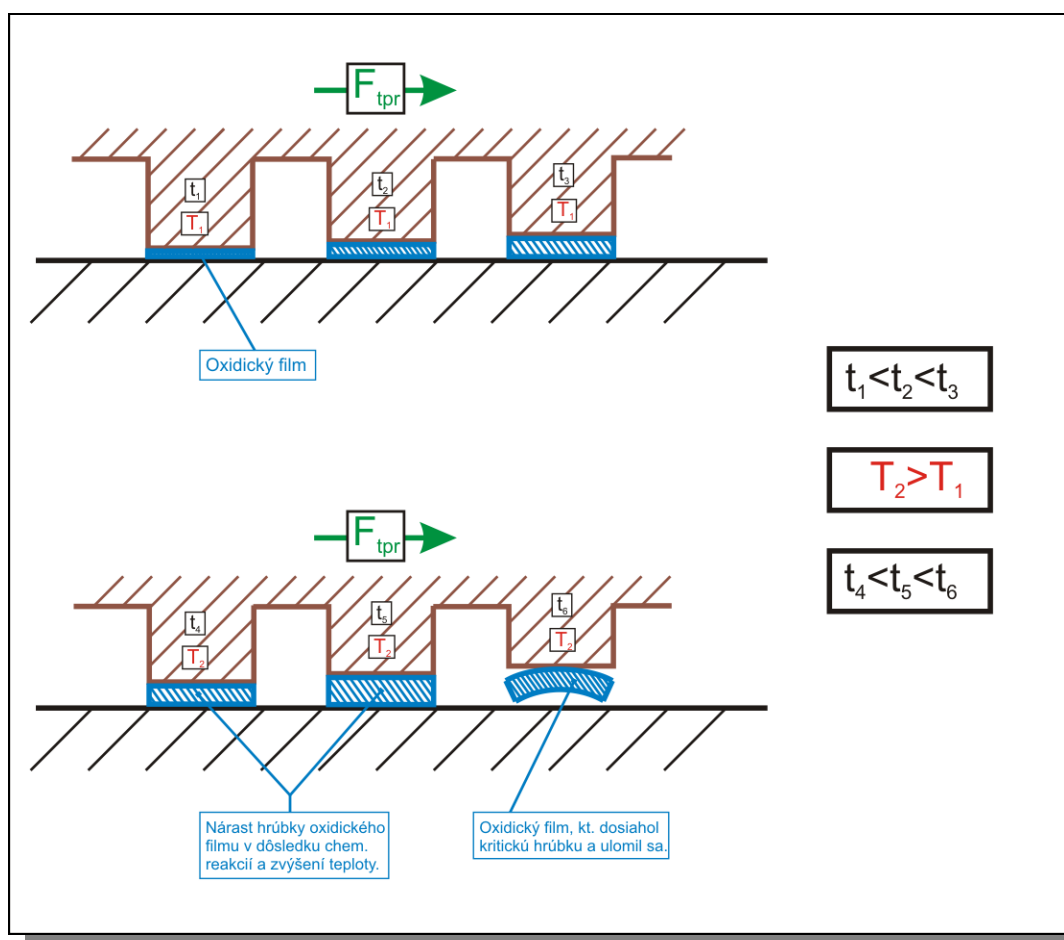
oxidation, oxid, temperature, thermochemically reaction, wear, friction surface, oxidizing factor

Úvod

Trečia vrstva môže v dôsledku chemicko-tepelnej interakcie medzi vzdušnou atmosférou a kovom počas trenia začať oxidovať. Tým dochádza k znehodnocovaniu a úbytku materiálu trecej vrstvy, čo možno taktiež čiastočne klasifikovať ako opotrebenie, t.j. úbytok pôvodného materiálu trecej vrstvy. Rýchlosť chemických reakcií rastie s nárastom teploty, ktorá vzniká na trecej vrstve v dôsledku trenia.

Vplyv oxidácie

Oxidáciou trecej vrstvy sa už zaoberal *Quin*, ktorý odvodil *Quinov model oxidácie pre mierne kontinuálne priebehy* nasledovne, vid'. obr. 1 1 [1, 2].



Obr. 1. *Quinov model oxidácie pre mierne kontinuálne priebehy*

Podľa Quinovho modelu oxidická vrstva rastie v dôsledku generovania teploty na špičke mikronerovnosti a jej chemickou reakciou s okolitým prostredím. Špička sa kontinuálne kľže po protiľahlom trecom povrchu a s rastúcim časom a teplotou rastie aj hrúbka vytvoreného oxidu až do chvíle, kedy nedosiahne tzv. *kritickú hrúbku oxidu*, pri ktorej sa od špičky ulomí a ďalej môže v procese trenia pôsobiť ako abrazívum. Dosiahnutie kritickej hrúbky oxidického filmu, ktorý sa od špičky ulomí závisí od:

- *intenzity chemických reakcií medzi kovom a atmosférou (resp. okolitým prostredím),*
- *teploty a času.*

Ak t_{rast} je čas potrebný na rast oxidickej vrstvy a t_k je čas kontaktu počas celej dĺžky zrážky špičiek, potom [3]:

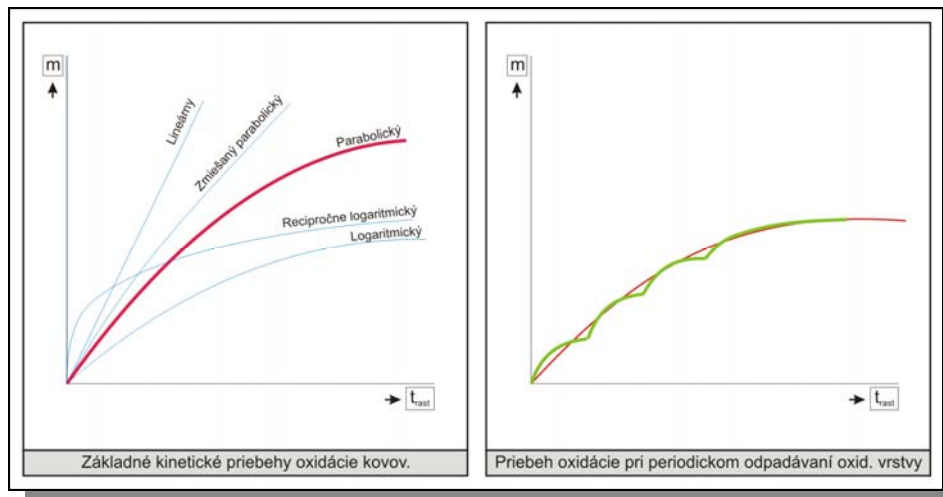
$$t_{rast} = \frac{t_k}{F_{Aox}}, \quad (1)$$

$$t_k = \frac{l_k}{v}, \quad (2)$$

$$t_{rast} = \frac{l_k}{v \cdot F_{Aox}} \quad (3)$$

kde l_k je vzdialenosť, pozdĺž ktorej je udržiavaný klzný kontakt, v - klzná rýchlosť, F_{Aox} - oxidačný faktor.

Ak majú oxidické produkty aspoň čiastočne ochranný charakter, oxidačná reakcia sa bude časom spomaľovať napr. podľa parabolického priebehu (obr. 2) a vzťahu (4). Táto závislosť je pre väčšinu kovov pri zvýšených teplotách [4].



Obr. 2. Najčastejšie priebehy kinetiky oxidácie

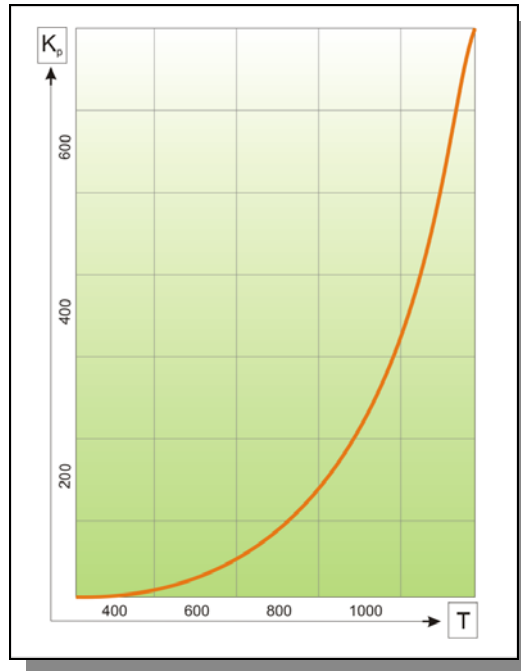
Ak sa teda predpokladá, že oxidácia železa sprevádza parabolická kinetika, počas času t bude nárast oxidu na jednotkovú plochu daný vzťahom [3, 2, 4, 5]:

$$m^2 = K_p t_{rast} \quad (4)$$

$$K_p = A_r \exp\left[-\frac{Q}{R_g T}\right] \quad (5)$$

kde: m je množstvo (nárast) oxidu na jednotkovú plochu, K_p - parabolická rýchlostná konštanta, Q - aktivačná energia pre oxidáciu, R_g - plynová konštanta, T - absolútna teplota, t_{rast} - čas potrebný na rast oxidickej vrstvy.

Parabolická rýchlostná konštanta (konštanta rýchlosti oxidačného deja) daná (5) sa riadi Arrheniovým vzťahom, pričom obr. 3 znázorňuje závislosť medzi rýchlosťou oxidácie a teplotou.



Obr. 3. Priebeh konštanty rýchlosti oxidačného deja v závislosti na teplote [4]

Podľa Quinovho modelu, ak f je množstvo frakcie oxidu a ρ_{ox} je priemerná hustota oxidu, potom [6]:

$$m = f\xi\rho_{ox} \quad , \quad (6)$$

kde ξ - kritická hrúbka oxidu.

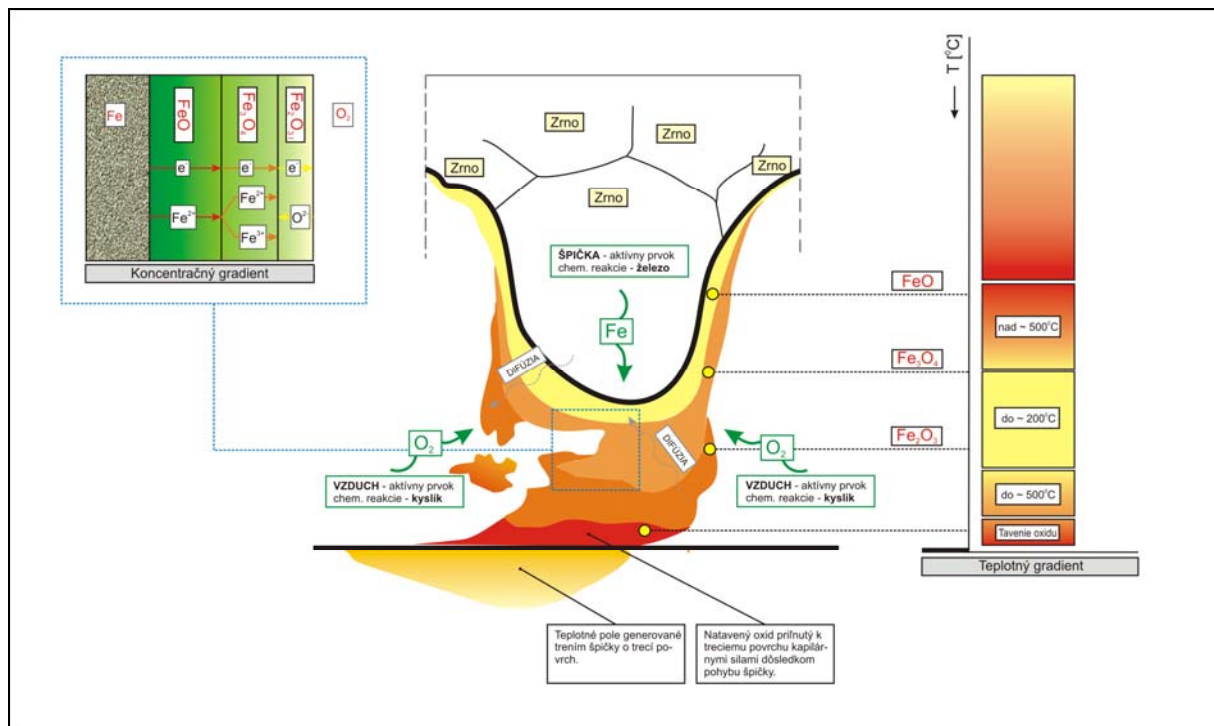
Porovnaním (4) a (6) dostávame:

$$f^2\xi^2\rho_{ox} = K_p t_{rast} \quad , \quad (7)$$

Potom oxidačný faktor možno vyjadriť ako:

$$F_{ox} = \frac{l_k \cdot K_p}{vf^2\xi^2\rho_{ox}^2} = \frac{l_k \cdot A_r \exp\left[-\frac{Q}{R_g T}\right]}{vf^2\xi^2\rho_{ox}^2} \quad . \quad (8)$$

V závislosti od vygenerovanej tretej teploty na špičke mikronerovnosti bude závisieť aj to, aká forma oxidu Fe sa bude generovať na ich hrotoch. Vplyv teploty na typy oxidu Fe znázorňuje obr. 4.



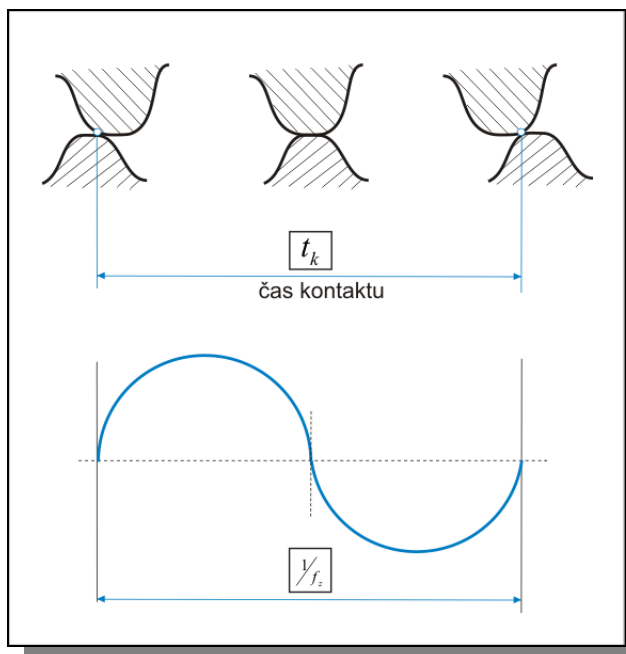
Obr. 4. Generovanie a usporiadanie typov oxidov počas termochemických interakcií

Počas trenia dvoch povrchov na báze železa a zvýšení ich teploty rozhrania sa na ich povrchu budú produkovať rôzne typy oxidov, t. j. Fe_2O_3 , Fe_3O_4 a FeO . Tieto sformované oxidy na trecom rozhraní zastrešujú funkciu pevných mazív, následkom čoho trecí koeficient a množstvo opotrebenia budú mať klesajúcu tendenciu a trecia teplota sa mierne zníži [7, 8]. V mnohých prípadoch je zmena v mechanizme oxidácie železa závislá od stúpajúcej teploty. Rýchlosť rastu hrúbky oxidickej vrstvy pri statických podmienkach v rozmedzí teplôt približne 600 °C až 900 °C je ešte relatívne malá. Intenzívna oxidácia ocelových povrchov nastáva pri teplote približne 900 °C. V intervale teplôt približne 1250 °C až 1300 °C rýchlosť oxidácie rastie skokom. Dôvodom tohto javu je tavenie oxidov a ich stekanie a rozotieranie po trecom povrchu, čím sa stráca ich bariérová funkcia [9]. Pri nižšej teplote je rýchlosť oxidácie relatívne nízka. Povlak Fe_2O_3 a Fe_3O_4 dáva dobrú ochranu. Pri vyšších teplotách sa však generuje oxid FeO a stáva sa termodynamicky stabilný. Difúziu naprieč vrstvy FeO potom riadi rýchlosť oxidácie. Tento oxid je veľmi defektný a rastie omnoho rýchlejšie ako vrstva Fe_3O_4 . Preto závislosť v rovnici (5) je správna len nad teplotným rozsahom približne do 570 °C. Podobná závislosť by však mohla platiť aj pri teplotách v približných rozsahoch 570 °C až 1000 °C, ale hodnoty A_r a Q však budú veľmi rozdielne [5, 6]. Z vyššie uvedených faktov vyplýva, že vplyv oxidov na celkové opotrebenie treba brať relatívne. I keď oxidy môžu plniť ochrannú funkciu a zastrešovať funkciu pevného maziva, rovnako môžu nepriaznivo pôsobiť na termochemickú degradáciu materiálu povrchovej vrstvy rýchlou a stabilnou tvorbou FeO , prípadne mechanickú degradáciu tvorbou Fe_2O_3 , ktorý je zvlášť tvrdý a v procese trenia pôsobí ako abrazívum.

Doposiaľ navrhnutý priebeh oxidácie podľa Quienovho modelu má jeden podstatný nedostatok, a to, že celý model predpokladá kontinuálny priebeh, t. j. že špičky trecieho povrchu sú neustále v kontakte s protiľahlým povrchom. Takýto stav v reálnom prostredí nemôže nikdy nastať. Znamenalo by to vyhotovenie dokonale hladkého trecieho povrchu. V reálnom prostredí však dochádza k *diskontinuálnemu kontaktu* špičiek s protiľahlým trecím

povrchom, t. j. vzájomná klzná dráha kontaktu dvoch protiľahlých špičiek je prerušovaná. Preto pôvodný Quinov model v tomto okamžiku stráca platnosť. Na túto skutočnosť prvý krát upozornil Garcia [10].

Keďže čas kontaktu špičiek je prerušovaný, potom ako znázorňuje obr. 5, je potrebné sledovať frekvenciu a čas kontaktu.



Obr. 5. Frekvencia zrážok a čas kontaktu dvoch protiľahlých špičiek

Z obr. 5 vyplýva, že periódu kontaktu možno vyjadriť ako inverznú hodnotu frekvencie kontaktu. Ak t_k je čas kontaktu (t. j. perióda), potom množstvo kontaktov (zrážok) požadovaných pre produkciu opotrebenej častice reprezentovanej ulomeným oxidom možno vyjadriť ako $\frac{1}{F_{ox}}$, t. j. prevrátenou hodnotou oxidačného faktora. Potom čas potrebný na rast oxidickej vrstvy t_{rast} bude [6]:

$$t_{rast} = \frac{1}{f_z} \frac{1}{F_{ox}} = \frac{1}{F_{ox} f_z}, \quad (9)$$

kde f_z - frekvencia zrážok špičiek.

A podobne ako v predchádzajúcom prípade pre Quinov model oxidácie môžeme (4) a (6) porovnať a dostávame:

$$F_{ox} = \frac{C^2}{f_z f^2 \xi^2 \rho_{ox}^2} A_r \exp\left[-\frac{Q}{R_g T}\right]. \quad (10)$$

Ako už bolo spomenuté v úvode, na opotrebenie trecej vrstvy mimo plastických a lomových dejov prebiehajúcich na špičkách mikronerovnosti počas trenia majú výrazný vplyv aj oxidačné deje, potom vyjadrený oxidačný faktor (10) možno implementovať do pôvodnej Archardovej rovnice nasledovne [11].

$$\frac{V}{L} = K \cdot F_{Aox} \frac{F}{H}, \quad (11)$$

kde V je opotrebovaný objem, L - vykonaná klzná dráha, K - koeficient opotrebenia, F_{Aox} - oxidačný faktor, F - zaťaženie, H - relatívna tvrdosť trecieho povrchu.

Záver

Predložené úvahy poukazujú na významný vplyv termochemických interakcií aktívnych prvkov materiálu trecieho povrchu a použitej okolitej atmosféry počas trenia. Poukazuje na množstvo čiastkových faktorov ktoré sa vzájomne ovplyvňujú a môžu tak výrazne ovplyvňovať trecie priebehy a degradáciu materiálu trecieho povrchu. I keď súhrnne popísať deje prebiehajúce pri opotrebení vrátane oxidačných priebehov je značne obtiažne, môžeme ich popísať separátne a matematicky vyjadriť aspoň pri čiastočne zidealizovaných podmienkach. Aplikovaním oxidačného faktora (10) do pôvodnej Archardovej rovnice dostávame modifikovaný tvar, ktorý zohľadňuje aj tieto faktory, ktoré vplývajú na opotrebenie. Tým súčasne dostávame aj rovnicu, ktorá upresňuje predikčnú podstatu pôvodnej Archardovej rovnice.

Zoznam bibliografických odkazov:

- [1] HUTCHINGS, I. M. *New Directions in Tribology*. London: Institution of Mechanical Engineering, 1997.
- [2] QUINN, T. F. J. *Nasa Interdisciplinary Collaboration in Tribology - A review of Oxidational Wear*. Atlanta: Georgia Institute of technology, 1983.
- [3] FLODIN, A. *Wear of spur and helical gears. Doctor Thesis*. Stockholm: Department of Machine Design, Royal Institute of Technology, 2000.
- [4] KOCICH J., TULEJA, S. *Korózia a ochrana kovov*. Košice: HF TU, 1998.
- [5] HUTCHINGS, I. M. *New Directions in Tribology*. London: Institution of Mechanical Engineering, 1997.
- [6] INMAN, I. A. *Compacted Oxide Layer Formation under Conitions of Limited Debris Retention at the Wear Interface during Hight Temperature Sliding Wear of Superalloys. Dissertation submitted*. Nortumbria university, 2003.
- [7] LIN, Y.C., WANG, S.W., CHEN, T. M. *A study on the wear behavior of hardened medium carbon steel*. Taipei: Department of Mechanical Engineering, National Taiwan University of Sience and Technology, 2000.
- [8] FUJII, H., CUI, L., NAKATA, K., NOGI, K. *Mechanical Propierties of Friction Stir Welded Carbon Steel Joints- Friction Stir welding with and without Transformation*. Osaka: Joing and Welding Researche Intitute, University Osaka, 2007.
- [9] MORAVČÍK, R., GRGAČ, P. *Technológia tepelného spracovania a povrchových úprav*. Trnava: Materiálovotechnologická fakulta STU, 2000.
- [10] GARCIA, A., RAMIL, A., CELIS, J. P. A mild oxidation model valid for discontinuous contacts in sliding wear test - role of contact frequency. In *Wear 254*, 2003, pp. 429-440.
- [11] PETERSON, M. B., WINER, W. O. *Wear Control Handbook*. New York, The American Sociely of Mechanical Engineers, United Engineering Center.
- [12] LAZAR, R., MARÔNEK, M., DOMÁNKOVÁ, M. Nizkouglikové oceľové plechy upravené procesom nitrooxidácie vo fluidnej vrstve - 1/2102/05. In *Strojárstvo – Strojirenství*, 2007, roč. 11, č. 4, s. 86/4-87/5. ISSN 1335-2938
- [13] MARÔNEK, M., LAZAR, R., DOMÁNKOVÁ, M., KOTRAS, P. Mikroštruktúrna analýza zvarových spojov nízouglikových oceľových plechov upravených procesom nitrooxidácie. In *Zvárač*, 2005, roč. 2, č. 1, s. 23 - 28. ISSN 1336-5045