

AN EXPERIMENTAL METHOD AND STRESS STATE ANALYSIS FOR
EVALUATION OF THE INFLUENCE OF FRETTING
ON FATIGUE STRENGTH
EXPERIMENTÁLNÍ METODA A ROZBOR NAPJATOSTI KE SLEDOVÁNÍ
VLIVU TŘECÍ KOROZE NA ÚNAVOVOU PEVNOST

Kermes J., Michálek J.

Fretting is expected to be one of factors negative influencing the lifetime of fatigue stressed machine parts. To follow up possible impact of the fretting, an experimental equipment has been designed enabling both parallel setting up and control of loading parameters and obtaining the data necessary for stress state analysis of fretting zone. The paper includes the drawing of the equipment and a brief stress state analysis of a critical zone of test bars.

Úvod

Jedním z velmi závažných faktorů ovlivňujících negativně životnost strojních komponent namáhaných na únavu je možnost vzniku třecí koroze (Fretting, Reibkorrosion). Tato vzniká při styku kovových částí, které na sebe působí tlakem a vzájemně se ovlivňují a to i v případě, že relativní posuv v místě spojení má řádovou velikost elastických deformací.

Uhlig [1] na základě teorie o tření ocele na oceli formuloval pro váhu vzniklého produktu otěru vztah

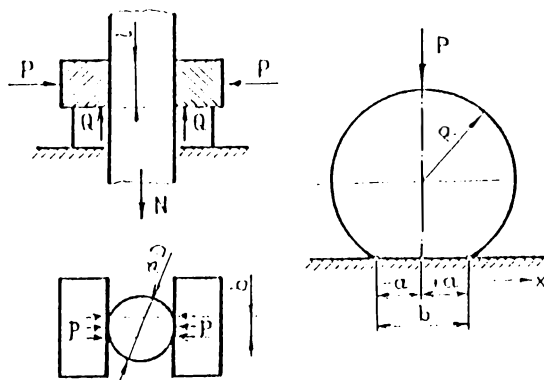
$$G = C_1 \cdot p \cdot l \cdot N + (C_2 \cdot \sqrt{p} - C_3 \cdot p) \cdot \frac{N}{f} \quad (1)$$

kde první člen představuje mechanický a druhý korozní podíl. C_1, C_2, C_3 jsou konstanty, p tlak mezi plochami v místě styku, l vzájemný posuv, N počet cyklů a f je frekvence. U konstrukcí, kde možno z hlediska vlivu třecí koroze zanedbat druhý člen ve vztahu (1) se uplatňuje pouze materiálová konstanta C_1 , tlak p mezi dotýkovými plochami, který lze určit, nejedná-li se o obě plochy rovinné z Her-

zových vztahů (2, 3). Relativní posuv l je dán pružnými deformacemi z Hookeova zákona a lze jej stanovit ze zatěžující síly a deformační tuhosti podpěr.

Experimentální zařízení

Pro řešení vlivu třecí koroze na únavovou pevnost konstrukčních materiálů, které jsou případně opatřeny plazmatickými povlaky, bylo v Ústavu fyzikálního inženýrství Západočeské univerzity zkonstruováno zařízení, jehož schéma je naznačeno na obr. 1.

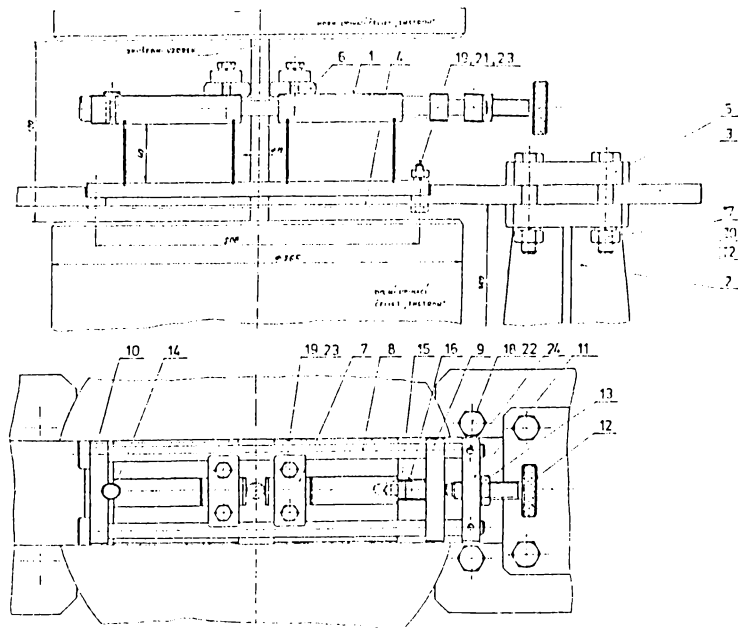


Obr. 1. Schéma zařízení ke sledování vlivu třecí koroze na únavovou pevnost

Toto je principiálně ekvivalentní se zařízením, které bylo používáno Bramhallem [4] ke studiu vlivu třecí koroze na únavovou pevnost, dovoluje však navíc měřit v průběhu zkoušky parametry potřebné k hlubšímu poznání degradace a mechanismu materiálu účinkem únavového procesu a třecí koroze.

Vlastní konstrukce zkušebního zařízení (obr. 2) byla přizpůsobena k použití na únavovém elektrohydraulickém stroji Instron, který umožňuje práce s různými typy zatížení, jak s harmonickým, tak také se stochastickým průběhem namáhání. Nosná deska zařízení (poz. 3) je uložena na podpěrách (poz. 2), které umožňují měnit svoje rozpětí a tím také velikost průhybu desky. Přítlačná síla P patek (poz. 6) působících na zkušební vzorek je měřena průběžně ocejchovaným dynamometrem (poz. 16) s odporovými tenzometry pomocí digitálního můstku. Síla Q , která je určena velikostí tření mezi zkušební tyčí a patkami, je přenášena na nosnou desku, na které je umístěn ocejchovaný měřicí element (poz. 4) rovněž s odporovými tenzometry. Takto je možno jednak určit velikost síly Q , která je úměrná přítlačné

síle P a koeficientu tření f , jednak průhyb, který s deformací zkušební vzorku určuje jeho relativní posuv vzhledem k přitlačným patkám.



Obr. 2. Konstrukční provedení zařízení pro třecí korozi k únavovému stroji Instron

Stav napjatosti v zóně třecí koroze

Experimentální práce probíhají za podmínek znázorněných na obr. 1, kde zkušební vzorek je namáhán silou N proměnnou v čase a k němu jsou přitlačovány rovinnými plochami patky silou P . Při relativním pohybu zkušební vzorku a přitlačných patek je generována tangenciální síla, kterou určuje síla P a koeficient tření f . Analýzu napětí možno provést pro případ, že koeficient tření je během zatěžování konstantní, takže $Q = P \cdot f$.

Podél dotykové plochy ve směru osy x (obr. 1) vzniklé pružnými deformacemi od síly P , je dotykový tlak $p(x)$ rozložen při použití Herzových vztahů podle rovnice

$$p(x) = P_{\max} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2} ; \quad (2)$$

Maximální tlak $p_{\max}$ ve vztahu (2) je dán výrazem

$$P_{\max} = \sqrt{\frac{P' \cdot E}{2 \cdot \pi \cdot (1 - \nu^2) \cdot R}} \quad , \quad (3)$$

kde P' je přítláčná síla P vztažená na jednotku délky l styčné plochy $P' = P/l$, E modul pružnosti, ν Poissonova konstanta a R poloměr zkušební tyče. Rozměr $b=2a$ styčné plochy (obr. 1) po pružné deformaci je

$$2 \cdot a = \sqrt{\frac{8 \cdot R \cdot P' \cdot (1 - \nu^2)}{\pi \cdot E}} \quad , \quad (4)$$

takže pro $p_{\max}$ možno rovněž psát

$$P_{\max} = \frac{P'}{\pi \cdot a} \quad (5)$$

Z rovnice (2) vyplývá, že tlak je rozložen v dotykové ploše podle rovnice elipsy [5] tak, že (obr. 1) pro $(-a)$ a $(+a)$ je dotykový tlak $p(x) = 0$ a maximální tlak $p_{\max}$ (rov. 3 a 5) je pro $a = 0$, tedy uprostřed dotykové plochy. Analogicky jako pro $p(x)$ (rov. 2) možno formulovat vztah pro rozložení tangenciálního napětí od tření Q (obr. 1)

$$q(x) = p(x) \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{x}{a}\right)^2} \cdot f \quad , \quad (6)$$

kde f je koeficient tření a maximální hodnoty $q_{\max}$ jsou rovněž v poloze $\pm a = 0$. Směr působení je v případě tření Q opačný než síly N zatěžující cyklicky zkušební vzorek a leží v rovině kolmé na rovinu $p(x)$. Uvedený stručný nástin stavu napjatosti v zóně třecí koroze naznačuje, že není možné tento řešit za příliš zjednodušujících podmínek, zvláště když je třeba uvážit ještě další faktory, jako např. změnu koeficientu tření během zatěžování, relativní posuv podle velikosti napětí ve zkušební tyči a směr výsledné síly.

Jednou z dalších možných variant experimentálního využití navrženého zařízení je použití přítláčných patek, jejichž části přiléhající ke zkušebnímu vzorku s kruhovým průřezem tvoří rovněž válcové plochy. V tomto případě se jedná o únavové namáhání s třecí korozi mezi dvěma válci se vzájemně kolmými podélnými osami. Tře-

cí dotyková plocha vzniklá pružnými deformacemi od přitlačné síly P (obr. 1) má v tomto případě kruhový tvar jsou-li poloměry a moduly pružnosti E obou válců stejné, v opačném případě vznikne plocha ve tvaru elipsy. Velikost těchto ploch možno určit rovněž z Herzovy teorie.

Při laboratorním modelování únavového namáhání s polu s působením třecí koroze nutno věnovat při řešení praktických úkolů pozornost materiálům reálné dvojice, jelikož v Herzových rovnicích se objevují moduly pružnosti E , které nemusejí být stejné pro oba materiály, které vytvářejí třecí plochu. Pro případ eliptické plochy lze určit maximální dotykový tlak ze vztahu

$$P_{\max} = \frac{3 \cdot P}{2 \cdot \pi \cdot a \cdot b} \quad (7)$$

P je přitlačná síla

a, b jsou poloosy vzniklé eliptické plochy.

Zvláštní pozornost si také zaslouží řešení této problematiky při stochastickém namáhání a z technologického hlediska při použití plazmatických povlaků na povrch činných ploch.

Závěr

Experimentální zařízení zkonstruované v Ústavu fyzikálního inženýrství je vyrobeno k použití na únavovém elektrohydraulickém stroji Instron ke sledování vlivu třecí koroze na únavovou pevnost a umožňuje :

- stanovení křivek životnosti při harmonickém a stochastickém namáhání za různých podmínek třecí koroze
- průběžné sledování zatěžovacích parametrů v průběhu experimentu
- získání výstupních experimentálních dat nutných k rozboru napjatosti v zóně třecí koroze
- změnu velikosti relativního pohybu mezi zkušební tyčí namáhané na únavu a přitlačnými patkami
- možnost určit změnu koeficientu tření z velikosti třecí síly v průběhu zatěžování
- volbu různých tvarů dosedacích ploch přitlačných patek.

Literatura

- [1] Uhlig, H. H., : Mechanism of fretting corrosion. J. Appl. Mech. 21, 1954
- [2] Timošenko, Š. : Pružnost a pevnost II. Tech.-věd. vydavatelství, Praha, 1951
- [3] Holzmann, M., Klesnil, M. : Křehký a únavový lom materiálů a konstrukcí.
SNTL, n. p., Praha, 1972
- [4] Bramhall, R. : Studies in fretting fatigue. D. Phil. Thesis, Oxford Univ., 1973
- [5] Mindlin, R. D., Deresiewicz, H. : J. Appl. Mech., 75, 1953

Jaroslav Kermes, Doc. Ing. CSc. Jiří Michálek, Ing.
Ústav fyzikálního inženýrství Fakulty aplikovaných věd
Západočeská univerzita, Univerzitní 22, 304 16 Plzeň
tel. 019-7236415 / fax. 019 7220787