

SYMPOZJON "MODELOWANIE W MECHANICE"
POLSKIE TOWARZYSTWO MECHANIKI TEORETYCZNEJ I STOSOWANEJ
Beskid Śląski, 1990

Stefan Joniak
Instytut Mechaniki Stosowanej
Politechnika Poznańska
Bolesław Ochodek
Wyższa Oficerska Szkoła Samochodowa

OGÓLNE MODELE PROCESÓW KOROZYJNO-FRETTINGOWYCH
W POŁĄCZENIACH MECHANICZNYCH

Streszczenie. Procesy korozyjno-frettingowe prowadzą do zużycia powierzchni elementów połączeń mechanicznych bądź do znacznego, niekontrolowanego obniżenia ich granicy zmęczenia.

Wpływ tych procesów na trwałość zmęczeniową połączeń nie jest uwzględniany w obliczeniach konstrukcyjnych ze względu na brak odpowiednich zależności ilościowych. W pracy przedstawiono propozycje ogólnych modeli zmęczenia i zużycia frettingowego, przydatnych do planowania badań empirycznych, prowadzących do sprecyzowania tych zależności.

1. Wprowadzenie

Prawidłowe wyznaczenie w procesie projektowania cech konstrukcyjnych połączeń mechanicznych, podlegających obciążeniom cyklicznie zmiennym, wymaga znajomości występujących w strefie kontaktu zjawisk korozyjno-frettingowych. Utratę nośności połączenia w wyniku działania

tych procesów określają dwa parametry [1, 2]: stopień zużycia powierzchni i stopień obniżenia granicy zmęczenia.

Oparcie na podstawach naukowych procesu projektowania i konstruowania połączeń mechanicznych, w których powyższe zjawiska mają miejsce, wymaga identyfikacji fenomenologicznej, pozwalającej na matematyczny opis zjawisk, a w konsekwencji na sformułowanie ilościowych zależności dla potrzeb inżynierskich. Konieczność wykorzystania w modelowaniu wyników badań empirycznych - kosztownych i czasochłonnych - każe zastanowić się nad metodyką tych badań, redukującą dużą liczbę zmiennych niezależnych. Zasadna metodyka badań powinna uwzględniać fakt, że wpływ poszczególnych czynników na zużycie bądź zmęczenie frettingowe różnych typów połączeń jest podobny w sensie jakościowym, lecz zróżnicowany w sensie ilościowym. Istnieją zatem podstawy przyjęcia jednakowej metodyki badań, ujmującej kompleksowo determinanty procesów korozyjno-frettingowych.

2. Modelowanie procesów zmęczenia frettingowego

Procesy zmęczenia frettingowego determinowane są zbiorami wielkości wejściowych z podzbiorami wielkości mierzalnych i sterowalnych W_{MS} , mierzalnych, lecz niesterowalnych W_{MN} , niemierzalnych i niesterowalnych W_{NN} oraz zbiorami wielkości wyjściowych, prezentujących granicę zmęczenia frettingowego Z_f .

Można więc założyć model

$$Z_f = \phi (W_{MS}, W_{MN}, W_{NN}), \quad (1)$$

przekształcony w rozumieniu [3] do postaci,

$$Z_f = \phi (W_M, M_C), \quad (2)$$

gdzie: $W_M = W_{MS} + W_{MN}$ jest wektorem wielkości wejściowych mierzalnych, sterowalnych i niesterowalnych, zaś M_C macierzą stałych współczynników modelu.

Aprioryczna budowa modelu matematycznego ze względu na poważne trudności w zdefiniowaniu funkcji ϕ jest niecelowa. Znacznie dogodniejszy w tym przypadku jest aparat matematyczny analizy wymiarowej. Najbardziej dyskusyjna jest kwestia wyboru wielkości, uznanych za istotne ze względu na modelowy proces zmęczenia frettingowego.

Zgodnie z [4] nie ma uzasadnionej potrzeby uwzględniania wszystkich wielkości, wywierających dowolnie mały wpływ na badany proces.

Upoważnia to w świetle [5] do wyboru następujących ośmiu najbardziej istotnych wielkości amplitudy A_p względnych mikropoślizgów, charakteru rozkładu nacisków stykowych K_x , stanu naprężenia δ_v w warstwie powierzchniowej, liczby cykli zmian obciążenia N , właściwości mechanicznych elementów połączenia, reprezentowanych wartościami modułów E oraz stanu ich powierzchni, określonego parametrami Ra , częstotliwości mikroprzemieszczeń ω , temperatury w strefie kontaktu T_k , rodzaju środowiska w obszarze styku, reprezentowanego przez lepkość η .

Granica Z_f może więc być zapisana w postaci wymiarowo niezmienniczej i jednorodnej funkcji powyższych wielkości;

$$\phi(Z_f, A_p, K_x, \delta_{v_{1,2}}, N, E_{1,2}, Ra_{1,2}, \omega, T_k, \eta) = 0, \quad (3)$$

Jako bazę wymiarową funkcji (3) najdogodniej jest wybrać wielkości A_p , ω , η , obejmujące niezależne od siebie wpływy fizyczne, przy równoczesnym spełnieniu warunku wymiarowej niezależności. Zastosowanie twierdzenia Π Buckinghama przekształca funkcję (3) o $n = 13$ argumentach do $n-m = 10$ kombinacji bezwymiarowych Q_i

$$\phi\left(\frac{Z_f}{\omega\eta}, \frac{K_x}{A_p\omega\eta}, \frac{\delta_{v_{1,2}}}{\omega\eta}, N, \frac{E_{1,2}}{\omega\eta}, \frac{Ra_{1,2}}{A_p}, \frac{T_k}{A_p\omega\eta}\right) = 0, \quad (4)$$

Po przekształceniach dokonanych na Q_i otrzyma się funkcję parametru wyjściowego, na przykład w postaci:

$$Z_f = \tilde{\phi}\left(\frac{K_x}{A_p}, \frac{\delta_{v_{1,2}} E_1}{N E_2}, \frac{Ra_1}{Ra_2 \omega\eta}, \frac{T_k}{A_p \omega\eta}\right). \quad (5)$$

Uwzględniając, że w praktyce zazwyczaj na elementy połączeń stosuje się materiały tej samej klasy, można założyć, że $E_1 = E_2 = E$.

Wówczas

$$Z_f = \phi\left(\frac{K_x}{A_p}, \frac{\delta_{v_{1,2}}}{N}, \frac{Ra_1}{Ra_2 \omega\eta}, \frac{T_k}{A_p \omega\eta}\right). \quad (6)$$

Uzyskuje się zatem cztery inwarianty podobieństwa, identyfikujące w sposób wystarczający granicę zmęczenia Z_f i wyznaczające równocześnie plan

eksperymentu, przy czym ponadto niezbędne jest ustalenie funkcji;

$$K_x = f(F_n, l, HRC_{1,2}, \rho_{1,2}, \delta_{1,2}, p, \Sigma \Delta_K), \quad (7)$$

gdzie $HRC_{1,2}$ oznacza twardości elementów połączenia $\rho_{1,2}$ - ich gęstość, $\delta_{1,2}$ - naprężenia na poziomie granicy plastyczności, p - średnie naciski powierzchniowe, zaś $\Sigma \Delta_K$ - sumaryczny błąd kształtu.

3. Modelowanie procesów zużycia frettingowego

Badanie procesów zużycia frettingowego wymaga przyjęcia szerszej niż (3) postaci funkcji hipotetycznej

$$\psi(\delta_{1,2}, \eta, \delta, D_{1,2}, D_v, B_{1,2}, a_{1,2}, t, tr, A_p, \omega, p, K_x, \rho_{1,2}, Ra_{1,2}, T_K, V_{1,2}) = 0; \quad (8)$$

gdzie: $\delta = c/m$ oznacza współczynnik tłumienia drgań, D_s, D_v - współczynniki dyfuzji powierzchniowej i objętościowej, B - wielkości ziarn, a - parametr sieci krystalograficznej, t, tr - czasy trwania próby i relaksacji naprężeń, V - objętość produktów zużycia.

Za bazę wymiarową funkcji (8) wskazane jest przyjmQC wielkości K_x, A_p i t , mające przypuszczalnie największy wpływ na proces zużycia frettingowego i spełniające zarazem warunek wymiarowej niezależności. Po zastosowaniu twierdzenia Π uzyskuje się następujące inwarianty podobieństwa:

$$\begin{aligned} Q_1 &= \frac{\delta_{1,2} A_p}{K_x}, & Q_2 &= \frac{\eta A_p}{K_x t}, & Q_3 &= \delta t, & Q_4 &= \frac{D_{1,2} t}{A_p}, \\ Q_5 &= \frac{D_v t}{A_p}, & Q_6 &= \frac{B_{1,2}}{A_p}, & Q_7 &= \frac{a_{1,2}}{A_p}, & Q_8 &= \frac{tr}{t}, & Q_9 &= \omega t, \\ Q_{10} &= \frac{p A_p}{K_x}, & Q_{11} &= \frac{\rho_{1,2} A_p^3}{K_x t^2}, & Q_{12} &= \frac{Ra_{1,2}}{A_p}, & Q_{13} &= \frac{T_K}{K_x A_p^2}, & Q_{14} &= \frac{V_{1,2}}{A_p^3}. \end{aligned} \quad (9)$$

Na podstawie obecnego stanu wiedzy słuszna jest hipoteza w postaci;

$$\frac{Q_1 Q_2 Q_3 Q_4 Q_7 Q_8 Q_{11} Q_{14}}{Q_2 Q_3 Q_6} = f(Q_p, Q_{10}, Q_{13}) \quad (10)$$

Po podstawieniu inwariantów (9), odpowiednich przekształceniach i pominięciu idenksów otrzymana się;

$$\frac{\delta^*}{C} \delta \frac{a}{B} \rho \frac{V}{K_x t} = \tilde{\zeta} \left(\omega t, \frac{pA}{K_x}, \frac{Ra}{A_p}, \frac{T_k}{K_x A_p^2} \right), \quad (11)$$

gdzie: $C = \eta t r^{-1}$, zaś $\frac{\delta^*}{C} \delta \frac{a}{B} = \frac{dv}{dx}$ wyraża gradient prędkości deformacji we frettingu (6).

Miarą zużycia frettingowego, wyrażającą ubytek masy, jest więc zależność;

$$dm = K_x t \tilde{\zeta} \left(\omega t, \frac{pA}{K_x}, \frac{Ra}{A_p}, \frac{T_k}{K_x A_p^2} \right) dt, \quad (12)$$

Ponieważ funkcja $\tilde{\zeta}$ jest mnożona przez iloczyn $K_x t$, więc można spośród jej argumentów wyrugować wielkość K_x , uzyskując w ogólności;

$$m = \int_0^t \left[K_x t \tilde{\zeta} \left(\omega t, \frac{pA}{T_k}, \frac{Ra}{A_p} \right) \right] dt, \quad (13)$$

zawierającą wyłącznie człony istotne dla procesu zużycia frettingowego.

4. Podsumowanie

Przedstawione rozważania, wynikające z doświadczeń zdobytych w licznych badaniach własnych, np. [7], stanowią propozycję ogólnych modeli zmęczenia i zużycia frettingowego, mających zastosowanie dla dowolnego połączenia mechanicznego. Przejście od tych modeli ogólnych do zależności algebraicznych wymaga przeprowadzenia odpowiednich badań empirycznych. Wyniki wybranych badań empirycznych, precyzujących i równocześnie weryfikujących funkcje (6) i (13) ze względu na ograniczoną ilość miejsca, przedstawione zostaną w czasie obrad. Ustalenie wyłącznie istotnych członów modeli (6) i (13) umożliwi zaplanowanie eksperymentu, optymalnego

ze względu na liczbę zmiennych, pozostających w fenomenologicznym związku przyczynowo-skutkowym z przyjętymi zbiorami wielkości wyjściowych, sprowadzonych do prognozy Z_1 i m .

LITERATURA

- [1] Świątek W.: Nośność zmęczeniowa połączeń mechanicznych z udziałem tarcia. Pr. nauk. & Mechanika, z. 60. Wyd. Polit., Warszawa 1980, s. 7.
- [2] Ochodek B.: Dyskusja nad poprawnością terminologii i definicji frettingu. Mater. Krajowej Konf. Nauk. "Ekspl. poj. mech." Piła 1983.
- [3] Kasprzak W., Lysik B., Ponierski R.: Formalne zasady budowy modelu matematycznego w identyfikacji obiektów. Arch. Aut. i Telem., T. XV, z. 4, 1970. s. 430.
- [4] Waterhouse R.B.: Fretting Corrosion. Reader in Met. Univ. of Nottingham, Pergamon Press, 1972.
- [5] Collins J.A.: Eng. Ind., Vol. 87, 1965. s. 298.
- [6] Goliego N.Ł., Aljabiew A.J., Szewelja W.W.: Frettingo-korozja metali Izd. "Technika", Kijew 1974, s. 105.
- [7] Ochodek B.: Wpływ wzdłużnej nierównomierności rozkładu nacisków stykowych na trwałość zmęczeniowo-frettingową połączeń wielowypustowych. Rozprawa doktorska, Polit. Poznańska, Poznań 1989.

ОБЩИЕ ФОРМУЛЫ ФРЕТТИНГ-КОРРОЗИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В МЕХАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЯХ

Резюме

Влияния фреттинг-коррозионных процессов на устойчивость соединения в расчетах на прочность не определяется. В работе представлено общие формулы фреттинг-усталости и фреттинг-износа, посредством которых возможно определить congruentные аналитические отношения.

GENERAL MODELS OF FRETTING-CORROSION PROCESSES
IN MECHANICAL FASTENINGS

Summary

The fretting-corrosion processes lead to wear off surface elements in mechanical fastenings or considerable, uncontroled decreasing of fatigue limit. The influence of these processes on fastenings fatigue durability isn't allowed in construcional computations considering shortage of appropriate quartity dependences. The work introduced proposals of general fatigue and fretting wear off models useful in planing empire reserches, leading to specify these dependences.