

Stefan Joniak
Politechnika Poznańska
Bolesław Ochodek
Wyższa Oficerska Szkoła Samochodowa w Pile

MODEL ZMĘCZENIA FRETINGOWEGO POŁĄCZENIA WIELOWYPUSTOWEGO, SPOCZYNKOWEGO W ZŁOŻONYM STANIE OBCIĄŻENIA

Streszczenie. W pracy przedstawiono propozycję modelu pęknięcia zmęczeniowego wałów wielowypustowych, inicjowanego procesami korozyjno-frettingowymi na bocznych i cylindrycznych powierzchniach wypustów. Rozpatruje się połączenie spoczynkowe poddane złożonemu stanowi obciążenia. Zwrócono uwagę na istnienie związków pomiędzy charakterem rozkładu obciążenia a lokalizacją pierwotnych ognisk zmęczeniowo-frettingowych.

1. WSTĘP

Problematykę utraty właściwości eksploatacyjnych połączeń wielowypustowych sprowadza się powszechnie do dwóch klas zjawisk: zużycia ściernoadhezyjnego powierzchni czynnych wypustów wału bądź zmęczeniowego pęknięcia wału w płaszczyźnie zakończenia tulei lub płasty. Powyższa klasyfikacja jest słuszna w odniesieniu do połączeń wielowypustowych typu przesuwne, nie sprawdza się natomiast w połączeniach typu spoczynkowe, poddanych złożonemu stanowi obciążenia [1]. Przyczyną takiego stanu rzeczy jest wzdłużna nierównomierność rozkładu nacisków stykowych, generująca dogodne warunki do inicjacji procesów korozyjno-frettingowych na bocznych i cylindrycznych powierzchniach wypustów wału, krawędziowanych brzegiem wypustów i rowków tulei lub płasty współpracującej z wałem.

Utratę nośności połączenia wskutek zjawisk wymuszonych frettingiem określają dwa parametry: stopień zużycia powierzchni, oceniany na podstawie charakteru zużycia i stopień obniżenia granicy zmęczenia wału.

Przedmiotem pracy jest analiza fizycznego modelu zmęczenia frettingowego wału w połączeniu wielowypustowym o zadanej postaci konstrukcyjnej [2], podlegającego złożonemu stanowi obciążenia.

2. FIZYCZNY MODEL PĘKANIA WAŁU WIELOWYPUSTOWEGO

Badania zmęczeniowo-frettingowe połączeń wielowypustowych, prowadzone na maszynie zmęczeniowej, opisaney w pracy [3], wykazały ścisłą powtarzalność przebiegu pęknięcia. Zilustrowano to na rysunku 1, przedstawiającym wycinki połączenia obejmujące początkową fazę pęknięcia. Oznaczenia sił i numeracja wypustów odpowiada symbolice zastosowanej na rysunkach 1 i 2 w pracy [2].

Ogniska zmęczeniowe na bocznych powierzchniach wypustów o numerach 5, 6, 7 oznaczono zgodnie z kolejnością pęknięcia symbolami O_1, O_2, O_3 , zaś ogniska zmęczeniowe na powierzchniach cylindrycznych wypustów symbolami C_1, C_2, C_3 . Procesy korozyjno-frettingowe rozwijają się na wszystkich wypustach wału, jednakże ich zasięg jest mocno zróżnicowany. Pierwsze mikropęknięcia pojawiają się na bocznej, a następnie cylindrycznej powierzchni wypustu nr 5, prawdopodobnie z uwagi na charakter rozkładu składowej W_u [2] o kierunku stycznym do bocznej powierzchni wypustów. Tworzą się pierwotne ogniska zmęczeniowe O_1 i C_1 . Ze wzrostem długości szczelin, oznaczonych symbolem S_1 , pojawiają się ogniska zmęczeniowe O_2, C_2 , następnie O_3, C_3 , i t. d. Wzrost powierzchni przełomu wypustu nr 5 wymusza wzrost przemieszczeń promieniowych e i obwodowych, mierzonych kątem θ (rys. 1). Rosną także przemieszczenia części wypustu wału poza połączeniem względem części wypustu utwierdzonej w rowku tulei.

Redukcja sił $F_{o4,5}, Q_{4,5}$ i $T_{f4,5}$ do punktu A - w stanie poprzedzającym utratę kohezji - a następnie ich zrzutowanie na płaszczyznę pęknięcia wzdłuż osi u^* , przechodzącą przez punkty A i A' oraz na oś v^* , normalną do osi u^* w punkcie A, wyznacza składowe obciążenia u podstawy wypustu nr 4 w płaszczyźnie zakończenia tulei:

$$W_{u^*} = \sum_1 F_{i u^*} = -(F_{o5} + Q_{4v} + Q_{5v}) \sin(\beta - \gamma) + (Q_{5u} + T_{f5}^*) \cos(\beta - \gamma) + (F_{o4} + Q_{4v}) \sin \gamma + (Q_{4u} + T_{f4}^* - T_{f4} - T_{f5}^*) \cos \gamma, \quad (1)$$

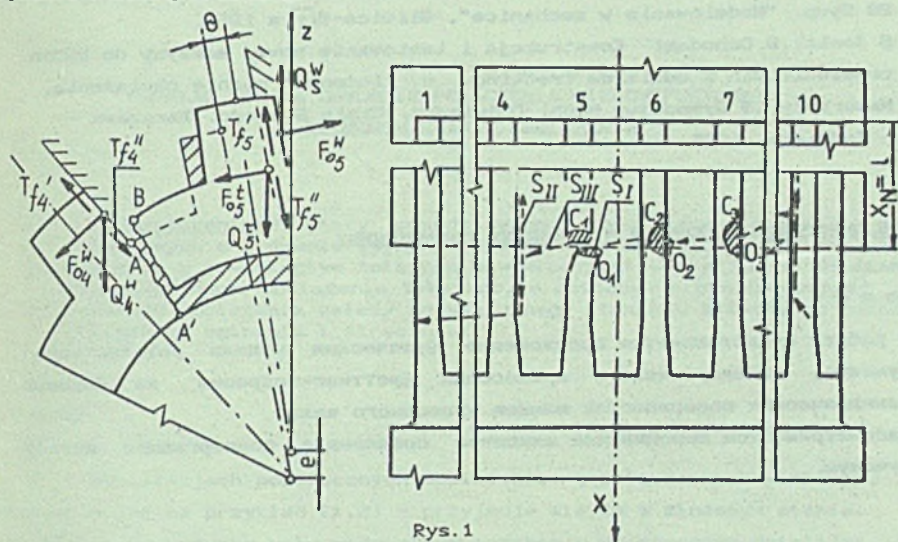
$$W_{v^*} = \sum_1 F_{i v^*} = (T_{f5}^* - Q_{5u} - T_{f5}^*) \sin(\beta - \gamma) + (F_{o5} + Q_{5v}) \cos(\beta - \gamma) + (Q_{4u} + T_{f4}^* - T_{f4}) \sin \gamma - (Q_{4v} + F_{o4}) \cos \gamma, \quad (2)$$

$$M = \sum_1 M_i = M_{F_{o4}} + M_{F_{o5}} + M_{Q_{4v}} + M_{Q_{5v}} - M_{Q_{4u}} - M_{Q_{5u}} + M_{T_{f5}^*} - M_{T_{f5}}, \quad (3)$$

gdzie: β - kąt zawarty pomiędzy osiami $u_{4,5}$ i $v_{4,5}$,

γ - kąt zawarty pomiędzy osiami u, u^* i v, v^* , przy czym ze względu na małą wartość kąta γ można przyjąć, że $\gamma = b/2r_d$, b - szerokość wypustu, r_d - promień dna rowka wału.

Taki układ sił i momentów powoduje złożony stan naprężenia u podstawy wypustu nr 4, spiętrzony karbem konstrukcyjnym. Dominują przy tym naprężenia normalne, wymuszające inicjację i rozwój szczeliny zmęczeniowej typu S_{II} . Z chwilą, gdy szczelina S_I obejmuje całkowitą powierzchnię wypustu nr 5, następuje połączenie się szczelin S_I i S_{II} poprzez szczelinę S_{III} , a następnie dalszy ruch czoła szczeliny głównej - w sposób pokazany na rysunku 1 linią kreskową.



Rys. 1

Fig. 1

3. WNIOSKI

Przedstawiony fizyczny model zmęczenia frettingowego wałów wielowypustowych został opisany na podstawie wyników badań w warunkach obciążenia cyklicznego-jednostronnego zginania ze skręcaniem. Z dużym prawdopodobieństwem można przyjąć, że w warunkach ruchu obrotowego proces pękania będzie przebiegał analogicznie, z tą jednak różnicą, że kolejne wypusty będą zajmować położenie wypustu nr 5 po wykonaniu przez wał pełnego obrotu.

Początkowa faza procesu pękania będzie, tym dłuższa, im większa będzie liczba wypustów. Szczeliny S_{II} będą się rozwijać u podstaw wszystkich wypustów, jako konsekwencja wcześniejszego powstania szczelin typu S_I . Podobnie powstawać będą szczeliny typu S_{III} , łączące szczeliny S_I i S_{II} .

Zaproponowany fizyczny model pękania dobrze objaśnia przyczynę "schodkowego" charakteru przełomów zmęczeniowych wałów wielowypustowych i stanowi punkt wyjścia do opracowania modelu matematycznego procesu pękania wałów wielowypustowych.

LITERATURA

- [1] B. Ochodek : Wpływ wzdłużnej nierównomierności rozkładu nacisków stykowych na trwałość zmęczeniowo-frettingową połączeń wielowypustowych, Rozprawa doktorska PP, Poznań, 1989
- [2] S. Joniak, B. Ochodek: Modelowanie wpływu materiałowych cech konstrukcyjnych na rozkład nacisków w połączeniach wielowypustowych, 28 Symp. "Modelowanie w mechanice", Gliwice-Wiśła 1989.
- [3] S. Joniak, B. Ochodek: Konstrukcja i testowanie nowej maszyny do badań zmęczeniowych z udziałem frettingu w złożonym stanie obciążenia, Materiały 13 Sympozjum Mech. Doświadc. Ciała Stałego, Warszawa - Jadwisin, 1988.

МОДЕЛЬ ФРЕТТИНГ-УСТАЛОСТИ В ШЛИЦЕВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

Р е з ю м е

В работе представляется предложение физической модели усталостного разрушения, инициированного процессами фреттинг-коррозии на боковых и цилиндрических поверхностях шлицев приводного вала.

Рассматривается неподвижное шлицевое соединение, подвергаемое изгибу и кручению.

FRETTING FATIGUE MODEL OF SPLINED CONNECTION

S u m m a r y

The paper presents a proposition of physical model of fretting fracture of splined shaft; the fracture is initialized by the corrosion-fretting processes at the sides surfaces and at the cylindrical surfaces of the splines. The connection has statical character, and it is subjected to bending and torsional load.