

Aleksander KOWAL
Politechnika Śląska, Gliwice

BADANIA OPORÓW RUCHU W POŁĄCZENIACH SWORZNIOWYCH¹

Streszczenie. Szczególnym rodzajem zniszczeń jest korozja frettingowa. Przedstawiono ogólną charakterystykę procesu zużycia frettingowego występującego w styku tarciovym elementów typu sworzeń-piasta podlegających wymuszonym siłowo, nieznacznym przemieszczeniom względnym. Pokazano przykładowe zniszczenia powierzchniowe. Przedstawiono wstępne wyniki badań eksperymentalnych związanych z oporami ruchu, tj. momentem tarcia w połączeniach sworzniowych.

THE RESEARCHES OF MOVEMENT RESISTANCES IN THE BOLT JOINTS

Summary. The specific kind of damage is a fretting corrosion. The general characteristics of fretting consumption process appearing in the friction contact of the elements bolt- hub type, relative to small forced movements has been presented. Thanks to geometric analysis of the connection, the areas of the fretting corrosion on the contacting cylinder surfaces have been stated. The sample surface damages have been shown. The initial results of the experimental researches connected with the movement resistances that are friction moments in bolt connections have been presented.

1. Wprowadzenie

Maszyny do zastosowania w górnictwie podziemnym, przy pracy w skrajnie trudnych warunkach środowiskowych i ze względu na proces technologii pracy, tj. zmienne obciążenie przy urabianiu lub transporcie muszą się charakteryzować dużą niezawodnością działania.

¹ Praca wykonana w ramach grantu KBN nr 8T12A 05220

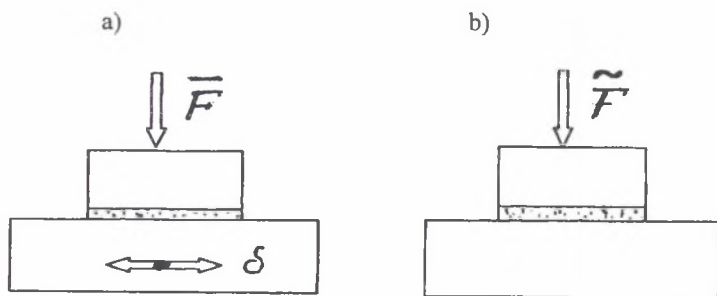
W przypadku współpracy par elementów maszynowych niekiedy dochodzi do niespodziewanych ich zniszczeń. Przyczyny zniszczeń mogą być różne, np. przy nieznacznych wzajemnych przemieszczeniach dociskanych do siebie elementów na ich powierzchniach występuje zużycie po stosunkowo krótkim czasie pracy [10]. Zużycie to jest skutkiem działania złożonych zjawisk. W Polsce przyjęła się nazwa tego zjawiska - fretting [9]. Nazwa angielska jednego z dwóch tego rodzaju zużycia to: Fretting corrosion; niemiecka nazwa: Reib(bungs)korrosion. Tribokorrosion można tłumaczyć na: korozja drganiowa, oscylacyjna, wcierania, rozcierania, pulsacyjna, a drugi rodzaj zużycia: Fretting fatigue [12] na zmęczenie cieme. W dalszej części referatu zużycia te nazywane będą: korozja frettingowa i zmęczenie frettingowe.

Jednoznacznie nie opisano jeszcze mechanizmu rozwoju tego rodzaju zużycia. Wiadomo jednak, że warunkiem wystąpienia frettingu jest względny i nieznaczny poślizg, pewna liczba cykli poślizgu oraz obciążenie normalne, przy czym w literaturze spotyka się wartości poślizgu od najmniejszej 0,01 μm do największej 500 μm [5].

Schematycznie dwa charakterystyczne przypadki pokazano na rysunku 1.

W przypadku jak na rysunku 1a, elementy dociskane są siłą stałą, a ich ruch względny jest wymuszany np. drganiami układu o przemieszczeniach w kierunku stycznym.

Dla przypadku jak na rysunku 1b obciążenie jest zmienne, co powoduje również zmienne odkształcenia sprężyste warstw wierzchnich kontaktujących się elementów wywołując w strefie styku nieznaczne przemieszczenia względne o wartości $\pm\delta$.

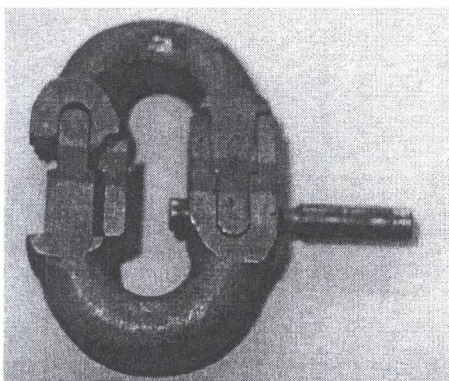


Rys. 1. Ilustracja przypadków generowania korozji frettingowej przy obciążeniu stałym i ruchu oscylacyjnym (a) oraz przy obciążeniu zmiennym (b)

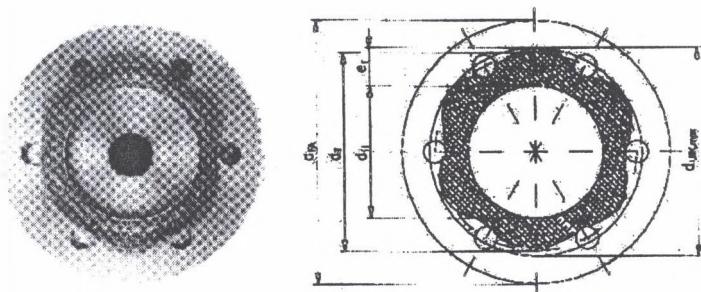
Fig. 1. Illustration of the fretting corrosion generating cases under a constant load in the oscillatory movement (a) and under a variable load (b)

W budowie maszyn i urządzeń górniczych często stosowane są połączenia sworzniowe. Zazwyczaj są one połączeniami ruchowymi, a ruch ten jest oscylacyjny. Przykładami takich urządzeń, w których istotną rolę odgrywają połączenia sworzniowe, mogą być szybkozłącza

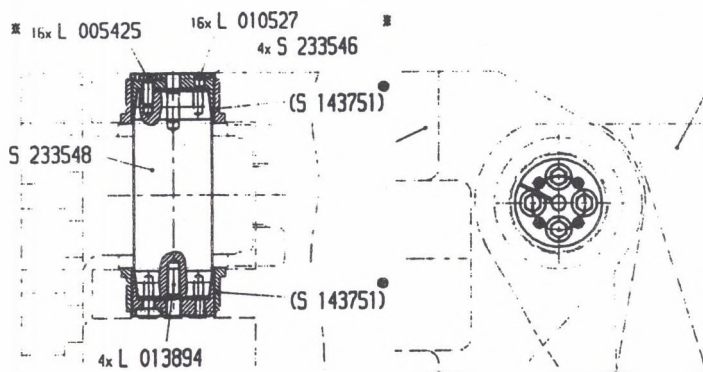
łańcuchów do przenośników zgrzeblowych (rys.2), elementy układów napędowych, np. sprzęgieł (rys.3), obudowy zmechanizowane, kombajny (rys.4) i stosowane jednopunktowe zawieszania wielolinowe (rys.5), w których drastyczne ograniczenie ruchu może mieć decydujący wpływ na bezpieczeństwo pracy.



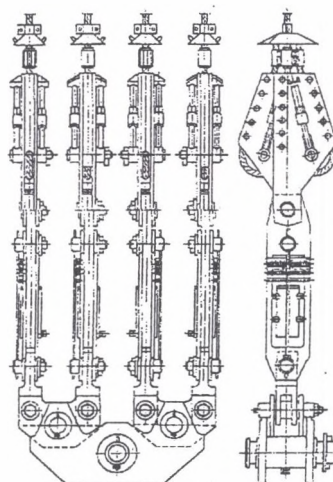
Rys. 2. Szybkozłącze z widoczną korozją frettingową na sworzniu
Fig. 2. Quick connection with the fretting corrosion visible on the bolt



Rys. 3. Fretting na powierzchni tarczy sprzęgła [8]
Fig. 3. Fretting on the clutch shield surface [8]



Rys. 4. Połączenie sworzniowe do mocowania ramienia kombajnu firmy Eickhoff
Fig. 4. Bolt joint for fixing the Eickhoff heading machine's arm

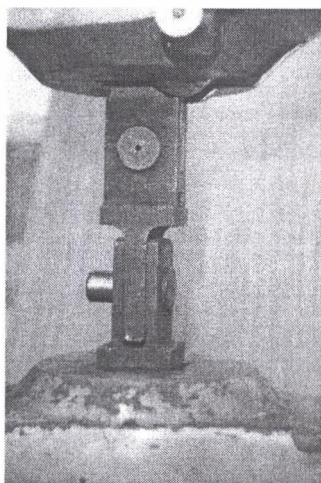


Rys. 5. Ilustracja czterolinowego, jednopunktowego zawieszenia naczynia wyciągowego (RYFAMA) [1]

Fig. 5. Illustration of a four-lined, single point hoist conveyance (RYFAMA) [1]

2. Obiekt badań

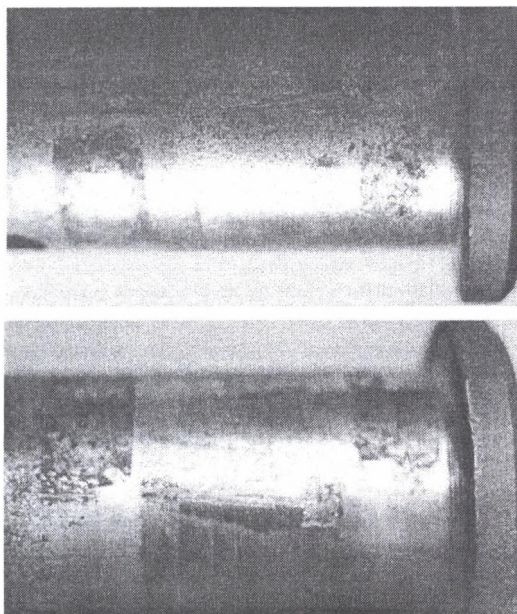
Zastosowane rozwiązanie sposobu badań zużycia w połączeniach sworzniowych polegało na tym, że zamontowano w głowicy maszyny wytrzymałościowej fragment oryginalnego zawieszenia i rozciągano ten fragment zawieszenia siłą zmienną [5, 6].



Rys. 6. Ilustracja fragmentu czterolinowego, jednopunktowego zawieszenia naczynia wyciągowego

Fig. 6. Illustration of a four-lined, single point hoist conveyance

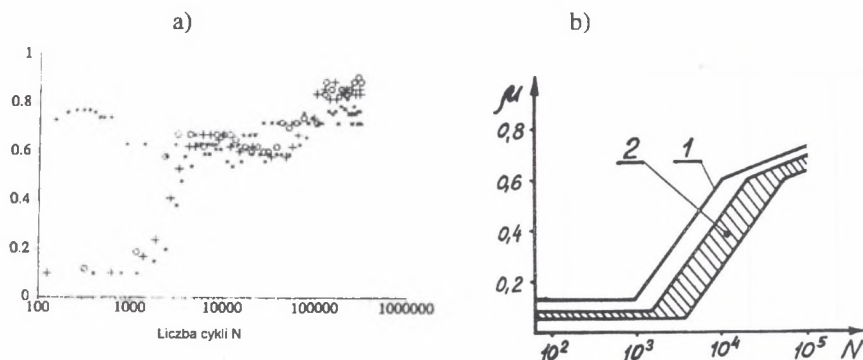
W ten sposób uzyskano w strefie styku sworznia i obejm oscylacyjne przemieszczenia sprężyste w kierunku obwodowym na połączeniu. Te nieznaczne przemieszczenia powodowały powstawanie korozji frettingowej na określonych powierzchniach sworzni i otworów w obejmach [3].



Rys. 7. Ilustracja korozji frettingowej w miejscach styku sworznia i piast
Fig. 7. Illustration of fretting corrosion in the area of bolt-hub contacts

Badania połączeń o kształtach walcowych [3] wykazały, że warstwa pośrednia ma istotny wpływ na stopień zużycia frettingowego. Jak wynika z porównania zużycia powierzchni w zależności od warstwy pośredniej, zastosowanie smarów łagodzi zużycie frettingowe, niekiedy nawet trzykrotnie. Wynik przeprowadzonych prób można interpretować w ten sposób, że zastosowanie smarowania opóźnia moment inicjacji korozji frettingowej, natomiast charakter przebiegu korozji frettingowej jest podobny, a po większej liczbie cykli zmian obciążenia maleją różnice w zużyciu.

Należy przy tym zaznaczyć, że na wytrzymałość zmęczeniową elementów maszynowych bardzo istotnie wpływa duża intensywność zmian powierzchniowych z penetracją w głąb materiału, a dla połączeń ruchowych niebezpieczne mogą być już nieznaczne, o niewielkiej głębokości zmiany powierzchniowe. Wzrasta bowiem wówczas współczynnik tarcia, a to może być przyczyną utraty możliwości ich względnego ruchu.

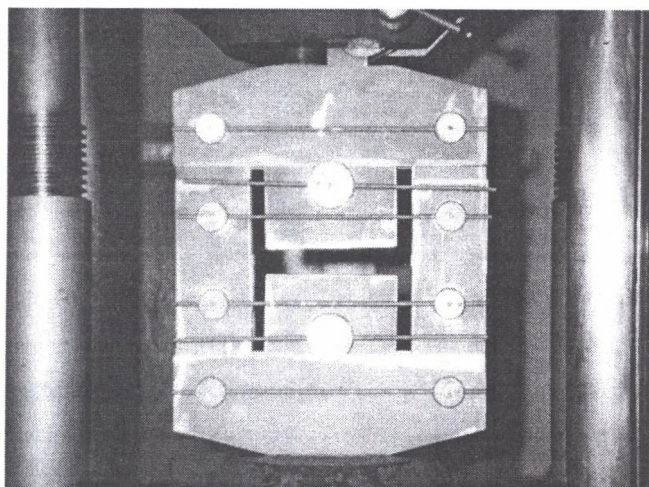


Rys. 8. Charakter przebiegu zmian współczynnika tarcia w połączeniu w zależności od liczby cykli zmian obciążenia: a) wg [12], b) ilustracja wyników badań własnych wg [4], gdzie 1 – styk suchy, 2 – styk smarowany

Fig. 8. Characteristics of friction factor variations in the joint, related to the number of load changes, a) [12], b) illustration of the results of author's examinations [4], where 1 – dry contact, 2 – lubricated contact

Z uwagi na oczekiwaną wytrzymałość zmęczeniową, gdzie wymagana jest duża liczba cykli zmian obciążenia (np. $2 \cdot 10^6$), na zużycie związane z działaniem korozji frettingowej, jednorazowe posmarowanie współpracujących powierzchni nie ma znaczącego wpływu, ponieważ połączenie znacznie wcześniej traci swą funkcję ruchową, często już po kilku godzinach pracy, np. przy średnicy sworznia 50 mm i obciążeniu $2 \cdot 10^5 / 2 \cdot 10^4$ N [2].

Ze względu na duże rozmiary oryginalnych zawieszek, a także ze względu na ich duże koszty, skonstruowano i wykonano urządzenie w postaci głowicy badawczej, w której można umieścić jednocześnie osiem sworzni.



Rys. 9. Głowica badawcza w pulsatorze

Fig. 9. Researching head in a pulsator

Głowicę badawczą zamontowaną w pulsatorze – prasie hydraulicznej o zmiennym obciążeniu pokazano na rysunku 9.

Widoczne na rysunku 9 pręty łączące parami sworznie zabezpieczały stałość ich położenia względem obejm.

Na tym stanowisku badawczym przeprowadzono wstępne pomiary oporów ruchu obrotowego sworzni w otworach obejm pod obciążeniem. Znajdując, za pomocą klucza dynamometrycznego z zegarowym miernikiem momentu, w tym przypadku momentu tarcia, można było wyznaczyć wartość współczynnika tarcia.

W przypadku małych oscylacyjnych przemieszczeń oraz prędkości kątowych sworzni w otworach obejm (czopa w panwi) można rozważać dwa zagadnienia [11]:

- przejście od stanu spoczynku (tarcie statyczne) do stanu początkowego ruchu (tarcie kinetyczne),
- oddziaływanie tzw. warstw granicznych na powierzchniach czopa i panwi utworzonych na drodze sorpcji fizycznej lub chemisorpcji określonych „składników” smaru, a ściślej „składników” bliskiego otoczenia strefy tarcia.

Tablica 1

Wartości średnich momentów tarcia oraz współczynników tarcia μ [6]

Sposób smarowania i liczba cykli zmian obciążenia	Obciążenie 20000 N		Średni moment tarcia w N·m przy obciążeniu 30000 N	Średni moment tarcia w N·m przy obciążeniu 40000 N	Współczynnik tarcia μ	
	Średni mom. tarcia szczytowego w N·m	Średni moment tarcia w N·m			Statyczny szczytowego	Statyczny zwykły
Bez smarowania – powierzchnie suche, 0 cykli	--	75,20	115,06	150,12	--	0,15
Bez smarowania – powierzchnie suche, 10000 cykli, (4/1 T)	102,50	70,00	108,75	143,75	0,20	0,14
Elaskon II STAR, 10000 cykli (4/1 T)	112,50	87,50	125,00	158,75	0,22	0,17
ŁT4S2, 10000 cykli (4/1 T)	90	77,50	125,00	150,00	0,18	0,15
Liten ŁT-42, 10 ⁴ cykli (4/1 T)	125	80	117,50	150	0,25	0,16

Tablica 2

Wartości momentów tarcia ścinających szczipienia przy obciążeniu 20000 N					
Bez smarowania		Połączenia smarowane			Uwagi dot. smaru
0 cykli	10000 cykli	10000 cykli	60000 cykli	120000 cykli	
76,5	95	95	110	115	Bez smaru
82,5	90	110	110	125	Elaskon SK-0
71,5	105	110	120	130	Elaskon II Star
70,0	95	95	102	110	Liten EP-2
72,5	95	110	125	130	Bez smaru
77,5	105	125	110	125	Liten ŁT-42 Rowki w czopie
77,5	90	115	120	110	Elaskon II Star Rowki w czopie
77,5	80	90	90	90	ŁT4S2

Interpretacja wstępnych wyników pomiarów momentów tarcia zawarta w tablicach 1 i 2 jest na obecnym etapie badań dość trudna ze względu na niewielką liczbę prób, a także ze względu na małą liczbę cykli zmian obciążenia i bardzo małą wartości tego obciążenia.

3. Podsumowanie

1. Porównawcze oszacowanie zużycia powierzchni elementów walcowych przez korozję frettingową skłania do stwierdzenia, że smarowanie współpracujących powierzchni przy użyciu klasycznych środków smarnych nie ma znaczącego wpływu na trwałość połączenia ruchowego, ponieważ korozja frettingowa występuje po stosunkowo małej liczbie cykli zmian obciążenia przy odpowiednio dużych naciskach jednostkowych.
2. Na podstawie wykonanych prób testujących stanowisko badawcze można stwierdzić, że nadaje się ono do badań związanych z szacowaniem wpływu korozji frettingowej na opory ruchu w połączeniach sworzniowych.
3. Wstępne wyniki pomiarów wykazują, że wartości współczynników tarcia w przypadku zastosowania smarów w połączeniu są nieco większe od współczynników tarcia przy pracy połączenia na sucho. Z powyższego wynika, że przy niewielkich obciążeniach jednostkowych wpływ oddziaływań adhezyjnych z warstwą smaru łącznie z potrzebą jego ścinania jest istotny.

LITERATURA

1. Brząkalik G., 1999: Porównanie zawiesznień wielopunktowych z jednopunktowymi w górniczych urządzeniach wyciągowych wielolinowych. Praca dyplomowa inżynierska, promotor prof. J. Antoniak, Instytut Mechanizacji Górnictwa, Politechnika Śląska, Gliwice, luty.
2. Esslinger V., 06.12.1994: Praeventive Massnahmen zur Vermeidung von Reibkorrosion. Tagungsband zur Statseminar Reibkorrosion 1994, EMPA Duebendorf.
3. Kowal A., Mikuła S., 1998: Sprawozdanie z pracy BW-515/RG-0/98 Politechniki Śląskiej pt.: Badania wpływu środka smarnego na zużycie elementów maszyn współpracujących z nieznacznymi przemieszczeniami. Gliwice, grudzień, stron 28, niepublikowana.
4. Kowal A., Spalek J., 2002: Korozja frettingowa w ruchowych skojarzeniach sworzniowych. Tribologia nr 5.
5. Kowal A., Strzelecki S., 2000: Problems of fretting corrosion on the contact surfaces of machine elements. Materiały; 9th Nordic Symposium on Tribology NORDTRIB 2000, Volume 3, s. 905-914. Porvoo, Finland, 11-14 June.
6. Kowal A., 2002: Badania wstępne oporów ruchu oscylacyjnego w połączeniach sworzniowych. X Jubileuszowa Międzynarodowa Konferencja: Trwałość elementów i węzłów konstrukcyjnych maszyn górniczych TEMAG 2002, Ustroń.
7. Kowal A., 1999: Obszar zagrożenia korozją frettingową w połączeniach o kształcie walcowym. VII Konferencja: Trwałość elementów i węzłów konstrukcyjnych maszyn górniczych TEMAG'99, Ustroń.
8. Michlingk Th., Gerber H.W., Mertens H., 1999: Wellen-Flanschkupplungen mit Reib- und Formscluß. Auslegung für Betriebs- und Sonderlasten. Konstruktion 1/2, s. 25-31.
9. Neyman A., Łubniewski M., 1999: Fretting w łożyskach ślizgowych – aspekty materiałowe. Tribologia nr 4/(166), s. 559-567.
10. Pytko S., Szczerek M., 1994: Fretting – forma niszczenia elementów maszyn. Tribologia (138) nr 6, s. 673-693.
11. Spalek J., Kowal A., 2002: Specyfika procesu tarcia i smarowania węzłów konstrukcyjnych o małych amplitudach przemieszczeń i prędkości ruchu oscylacyjnego. Tribologia nr 4.
12. Waterhouse R. B., 1994: The Effect of Surface Condition on Fretting Fatigue, with Particular Reference to Roping Steel. Tagungsband zur Statseminar Reibkorrosion 1994, EMPA Duebendorf.

Recenzent: Prof. dr inż. Włodzimierz Sikora

Abstract

The specific kind of damage is a fretting corrosion. The general characteristics of fretting consumption process appearing in the friction contact of the elements bolt- hub type, relative to small forced movements has been presented. Thanks to geometric analysis of the

connection, the areas of the fretting corrosion on the contacting cylinder surfaces have been stated.

The sample experimental examinations' results, confirming the localisation of the teoretically stated areas of fretting destruction have been shown.

The sample surface damages have been shown. The initial results of the experimental researches connected with the movement resistances that are friction moments in bolt connections have been presented.

The measurements of the friction moment were made on a head with the eight bolt joints which was statically loaded in the hydraulic press where the bolt joints loaded earlier were the sinusoid-variable force with the given number of loads' changes cycles.

The measurements of the friction moment were made using a dynamometric key with the clockwork moment meter. The measured values of the friction moment let us assign the values of friction coefficients for the technically dry connections, lubricated with the chosen lubrication means.