

Aleksander **KOWAL**
Jacek **SPAŁEK**

BADANIA TARCIA W POŁĄCZENIACH SWORZNIOWYCH

Streszczenie: W artykule przedstawiono ogólną charakterystykę procesu zużycia frettingowego występującego w styku tarciovym elementów typu sworzeń-piasta podlegających wymuszonym siłowo, nieznacznym przemieszczeniom względnym. Zaprezentowano przykładowe zniszczenia powierzchniowe. Przedstawiono wstępne wyniki badań eksperymentalnych związanych z oporami ruchu w połączeniach sworzniowych. Badania przeprowadzono na pulsatorze hydraulicznym przy zastosowaniu specjalnej głowicy badawczej z ośmioma złączami sworzniowymi.

1. WPROWADZENIE

W przypadku skojarzeń elementów maszynowych takich jak połączenia sworzniowe mogą niespodziewanie wystąpić różnorodne przedwczesne uszkodzenia. Przyczyny ich mogą być różne. Np. przy nieznacznym wzajemnym przemieszczeniach dociskanych do siebie elementów złącza, na powierzchniach czopa i piasty po stosunkowo krótkim czasie pracy mogą wystąpić objawy charakterystycznego zużycia [8]. Zużycie to jest skutkiem działania złożonych zjawisk. W Polsce zużycie to przyjęto nazywać frettingiem [7]. Nazwa angielska tego rodzaju zużycia to fretting corrosion [10], niemiecka nazwa: feib(bungs)korrosion, tribokorrosion [1]. Określenia te można tłumaczyć jako korozja drganiowa, oscylacyjna, pulsacyjna, a fretting fatigue jako zmęczenie cierne. W dalszej części używane będą pojęcia korozja frettingowa lub zmęczenie frettingowe.

Jednoznacznie nie opisano dotąd mechanizmu tego rodzaju zużycia. Wiadomo jednak, że warunkiem wystąpienia frettingu jest istnienie względnego i nieznacznego poślizgu i pewnej liczby cykli obciążeń, przy czym w literaturze określa się zakres poślizgu od $0,01\mu\text{m}$ do $500\mu\text{m}$ [4].

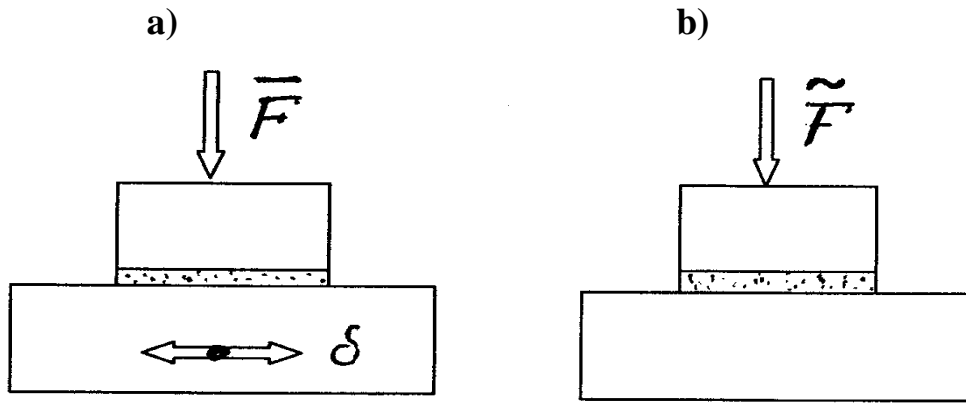
Schematycznie dwa charakterystyczne przypadki sprzyjające powstawaniu frettingu pokazano na rysunku 1.

W przypadku, który obrazuje rysunek 1a, elementy dociskane są siłą stałą, a ich ruch względny jest wymuszony, np. drganiami układu o przemieszczeniach w kierunku stycznym.

W drugim przypadku (rysunek 1b) obciążenie jest zmienne, co powoduje zmienne, odkształcenia sprężyste warstw wierzchnich kontaktujących się elementów, wywołując w strefie styku nieznaczące przemieszczenia o wartości $\pm\delta$.

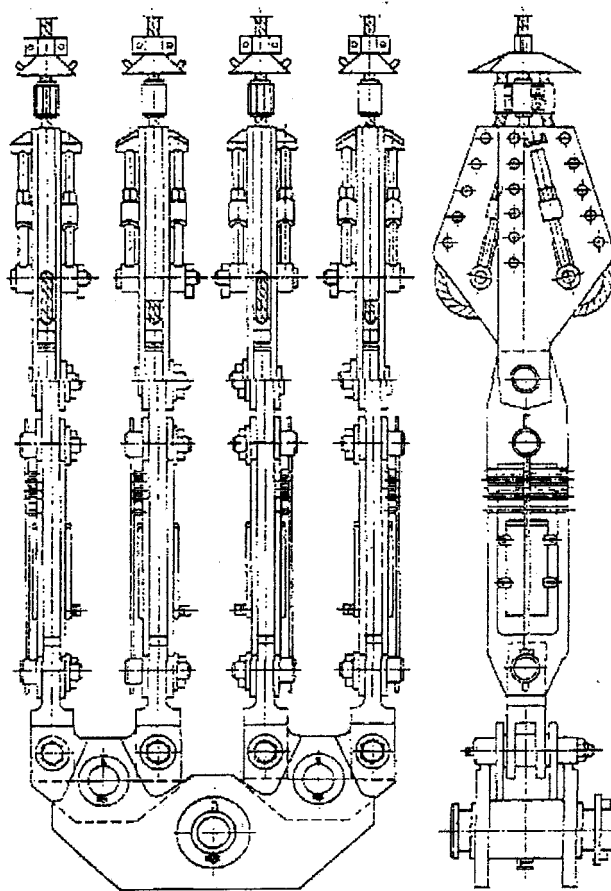
W przypadku małych oscylacyjnych przemieszczeń oraz prędkości kątowych sworzni w otworach obejm (czopa w panwi) można rozważać dwa zagadnienia [9]:

- 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.



Rys.1. Ilustracja przypadków generowania korozji frettingowej:
 a) obciążenie stałe \bar{F} i ruch oscylacyjny o amplitudzie δ
 b) obciążenie zmienne \tilde{F}

Stosowane w budowie maszyn i urządzeń połączenia sworzniowe zazwyczaj są połączeniami ruchowymi o ruchu oscylacyjnym. Przykładami mogą być np. stosowane jednopunktowe zawieszenia wielolinowe (rys. 2), w których drastyczne ograniczenie ruchu może mieć decydujący wpływ na bezpieczeństwo pracy urządzenia wyciągowego.

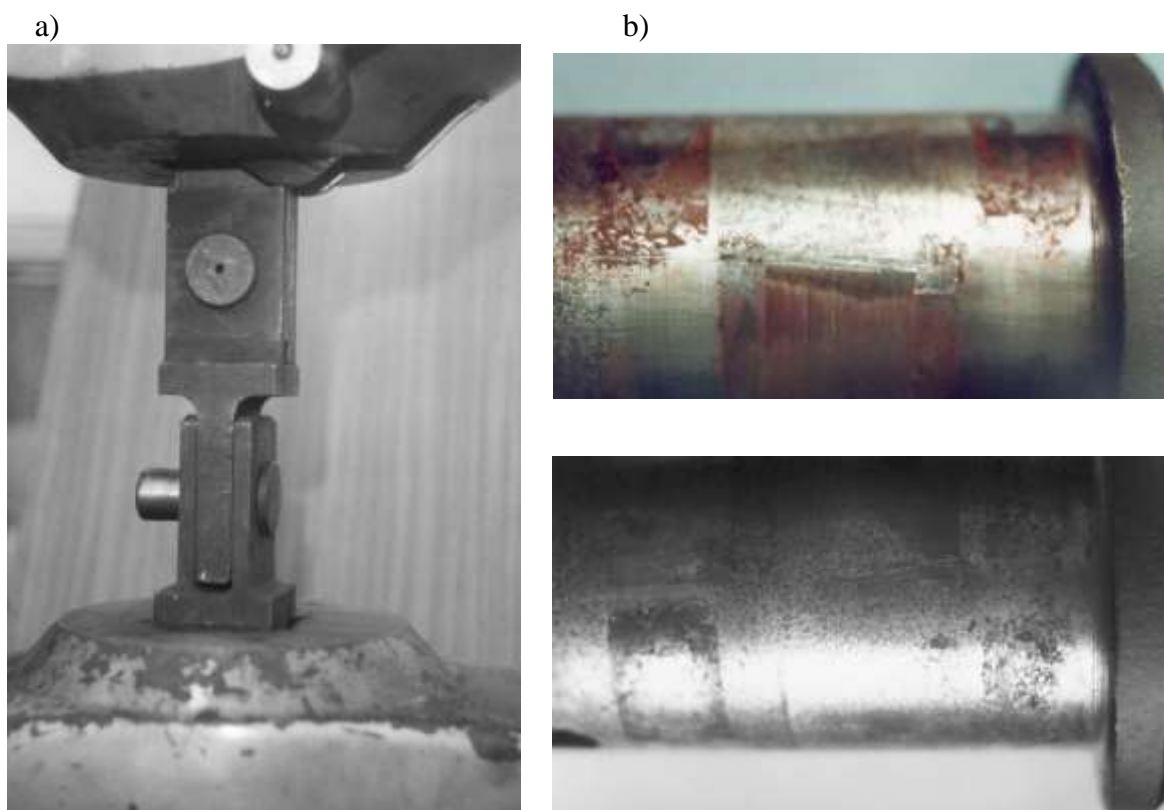


Rys.2. Przykład jednopunktowego zawiesia czterolinowego produkcji Rybnickiej Fabryki Maszyn

2. OBIEKT BADAŃ

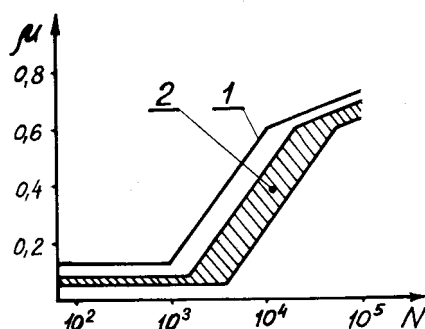
Zastosowane rozwiązanie sposobu badań zużycia w połączeniach sworzniowych polegało na tym, że w głowicy hydraulicznej maszyny wytrzymałościowej zamontowano oryginalne zawiesie i poddano rozciąganiu siłą zmienną [5] (rys. 3a).

W ten sposób w strefie styku elementów złącza uzyskano oscylacyjne przemieszczenia sprężyste w kierunku obwodowym. Te nieznaczne przemieszczenia powodowały powstawanie korozji frettingowej na określonych powierzchniach sworzni i otworów w obejmach [6] (rys. 3b).



Rys.3. Ilustracja badanego fragmentu wielolinowego, jednopunktowego zawiesia naczynia wyciągowego zamocowanego w hydraulicznym pulsatorze (a) oraz korozji frettingowej zlokalizowanej w polu styku sworznia i piasty (b)

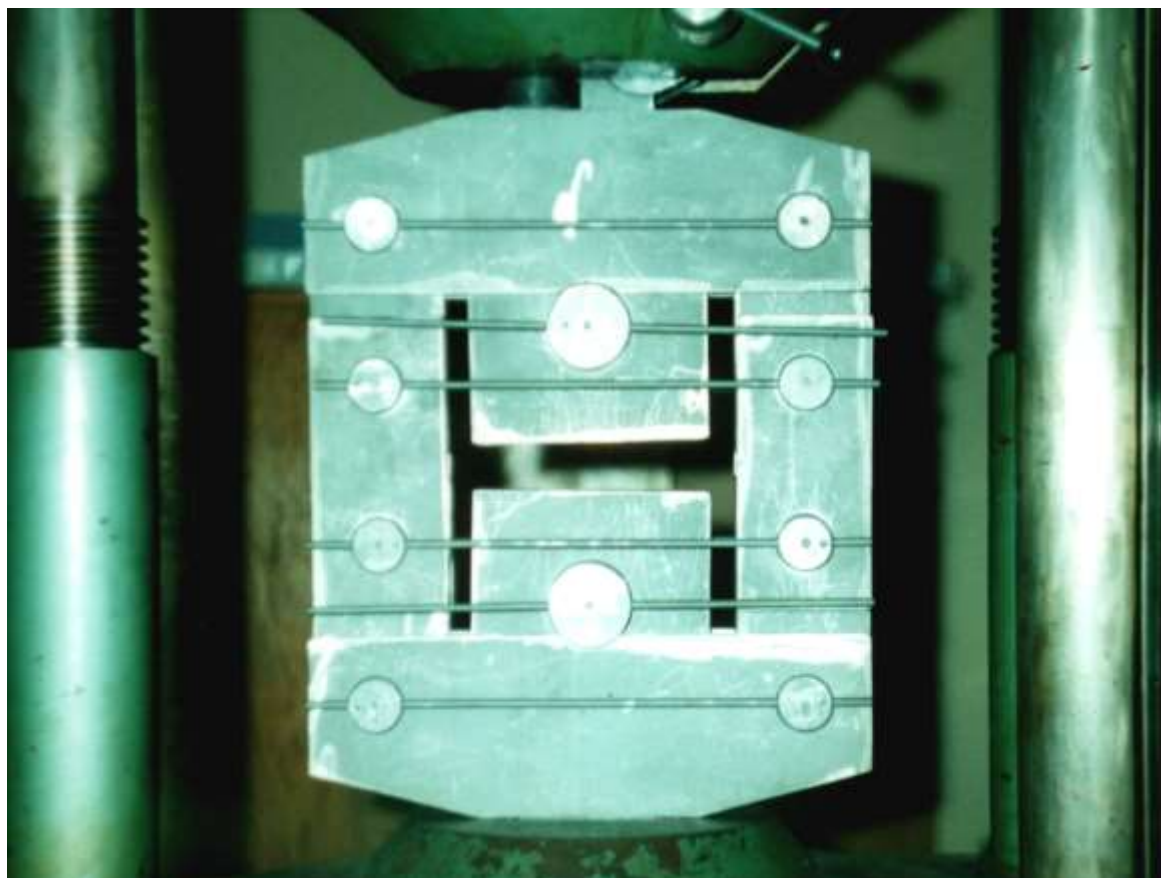
Przeprowadzone badania połączeń walcowych [2] wykazały, że wprowadzenie warstwy pośredniczącej smaru ma istotny wpływ na stopień zużycia frettingowego. Z porównania pola zużycia wynika, że zastosowanie smarów łagodzi zużycie frettingowe. Wyniki te można interpretować następująco: zastosowanie smarowania opóźnia moment inicjacji korozji frettingowej a charakter jej przebiegu jest podobny jak dla złącza technicznie suchego (bez smaru) i złącza ze smarowaniem, przy czym po większej liczbie cykli zmian obciążenia różnice w stopniu zużycia maleją (rys. 4).



Rys.4. Ilustracja zmian współczynnika tarcia w połączeniu sworzniowym w zależności od liczby cykli zmian obciążenia [3]: 1 –styk suchy, 2 –styk smarowany

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 ruchomych niebezpieczne mogą być już nieznaczne, (o niewielkiej głębokości) zmiany powierzchniowe. Natomiast wzrost współczynnika tarcia może być przyczyną utraty możliwości względnego ruchu sworznia w obejmach.

Stwierdzić też należy, że jednorazowe smarowanie złącza nie ma znaczącego wpływu na wartość trwałej wytrzymałości zmęczeniowej sworznia, ponieważ wskutek wzrostu współczynnika tarcia połączenie znacznie wcześniej traci swą funkcję ruchową; często już po kilku godzinach pracy [2].



Rys.5. Schemat zamocowania głowicy badawczej w pulsatorze

Badania tarcia w połączeniach sworzniowych

Ze względu na duże rozmiary i duże koszty stosowanych w urządzeniach wyciągowych zawiesi, skonstruowano i wykonano urządzenie modelowe w postaci głowicy badawczej, w której można badać jednocześnie osiem sworzni.

Głowicę badawczą zamontowaną w pulsatorze hydraulicznym ze zmiennym sinusoidalnie cyklem obciążenia przedstawiono na rysunku 5.

3. WYNIKI BADAŃ

Pomiary oporów obrotu sworzni w otworach obejm pod obciążeniem przeprowadzono z użyciem klucza dynamometrycznego z zegarowym miernikiem momentu (momentu tarcia).

Po 10^4 liczbie cykli harmonicznym zmiennym obciążeniu w zakresie od 10 kN i do 40 kN, pierwszy ruch obrotowy sworzni w obejmach wymagał przyłożenia określonej wartości momentu obrotowego. Te mierzone statyczne momenty tarcia, nazwane momentami szczytu, były większe od momentów tarcia rejestrowanych przy następnych ruchach obrotowych sworzni.

Na podstawie zmierzonych momentów przy obciążeniu statycznym zadawanym w zakresie od 10 kN do 40 kN można było wyznaczyć wartości współczynników tarcia (tablica 1, tablica 2).

Tablica 1. Wartości średnich momentów tarcia oraz odpowiadających im współczynników tarcia

Warunki tarcia, liczba cykli zmian obciążenia	Obciążenie złącza 20 kN		Średni moment tarcia przy obciążeniu 30 kN	Średni moment tarcia przy obciążeniu 40 kN	Statyczny współczynnik tarcia	
	Średni statyczny moment tarcia szczytu	Średni statyczny moment tarcia			adhezyjnego szczytu	ślizgania
	N·m	N·m			μ_{sc}	μ
Bez smarowania –powierzchnie suche, stan początkowy	--	75,20	115,06	150,12	--	0,15
Bez smarowania –powierzchnie suche, 10000 cykli	102,50	70,00	108,75	143,75	0,20	0,14
Elaskon II STAR, 10000 cykli	112,50	87,50	125,00	158,75	0,22	0,17
ŁT4S2, 10000 cykli	90	77,50	125,00	150,00	0,18	0,15
Liten ŁT-42, 10000 cykli	125	80	117,50	150	0,25	0,16

Tablica 2. Wartości momentów tarcia (N·m) ścinających szczerzenia przy obciążeniu 20 kN dla różnych warunków tarcia (smarowania)

Połączenie bez smarowania		Połączenie smarowane			Rodzaj smaru
0 cykli	10000 cykli	10000 cykli	60000 cykli	120000 cykli	Uwagi
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	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

4. PODSUMOWANIE

- Porównanie zużycia frettingowego badanych elementów złącza sworzniowego, skłania do stwierdzenia, że smarowanie współpracujących powierzchni przy użyciu zastosowanych środków smarnych nie ma znaczącego wpływu na trwałość połączenia.
- Na podstawie wykonanych prób testujących, można stwierdzić, że zastosowana głowica badawcza pozwala na obniżenie oporów ruchu w połączeniach sworzniowych jako funkcji obciążenia oraz charakteru i liczby jego zmian.

Wstępne wyniki pomiarów wykazują, że wartości współczynników tarcia uzyskane w przypadku smarowania połączenia są nieco wyższe niż przy pracy połączenia na sucho. Wynika z tego, że przy małych obciążeniach jednostkowych ujawnia się istotny wpływ oddziaływań adhezyjnych warstwy smaru z powierzchnią tarcia elementów złącza sworzniowego.

5. LITERATURA

- [1] ESSLINGER V.: Praeventive Massnahmen zur Vermeidung von Reibkorrosion. Tagungsband zur Statsseminar Reibkorrosion 1994, EMPA Duebendorf, 06.12.1994.
- [2] KOWAL A., MIKUŁA S.: 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 1998, stron 28, nie publikowana.
- [3] KOWAL A., SPAŁEK J.: Korozja frettingowa w ruchowych skojarzeniach sworzniowych. Tribologia nr 5 / 2002.
- [4] KOWAL A., STRZELECKI S.: 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 2000.
- [5] KOWAL A.: Badania wstępne oporów ruchu oscylacyjnego w połączeniach sworzniowych. X Jubileuszowa Międzynarodowa Konferencja: Trwałość elementów i węzłów konstrukcyjnych maszyn górniczych TEMAG 2002, Ustroń, X. 2002.
- [6] KOWAL A.: Obszar zagrożenia korozją frettingową w połączeniach o kształcie walcowym. VII Konferencja: Trwałość elementów i węzłów konstrukcyjnych maszyn górniczych TEMAG'99, Ustroń, listopad 1999.
- [7] NEYMAN A., ŁUBNIEWSKI M.: Fretting w łożyskach ślizgowych –aspekty materiałowe. Tribologia nr 4/1999(166), s. 559-567.
- [8] PYTKO S., SZCZEREK M.: Fretting –forma niszczenia elementów maszyn. Tribologia (138) nr 6/1994, s. 673-693.
- [9] SPAŁEK J., KOWAL A.: Specyfika procesu tarcia i smarowania węzłów konstrukcyjnych o małych amplitudach przemieszczeń i prędkości ruchu oscylacyjnego. Tribologia nr 4 / 2002.
- [10] WATERHOUSE R. B.: The Effect of Surface Condition on Fretting Fatigue, with Particular Reference to Roping Steel. Tagungsband zur Statsseminar Reibkorrosion 1994, EMPA Duebendorf, 06.12.1994.

STUDIES OF FRICTION IN PIN JOINTS

Abstract: The paper presents general characteristics of fretting wear occurring in area of contact in hub and pin type elements subjected to forced slight relative displacements. Examples of surface wear are presented. Initial results are given of experimental research on motion resistance in pin joints. Experiments were conducted on a hydraulic pulsator with a special test head with eight pin joints.

Recenzent: prof. dr hab. inż. Andrzej WILK