

**Stanisław PYTKO<sup>\*</sup>, Paweł PYTKO<sup>\*</sup>, Kazimierz FURMANIK<sup>\*</sup>**

## **TRIBOLOGIA SMAROWANIA GRANICZNEGO**

### **TRIBOLOGY OF THE BOUNDARY LUBRICATION**

#### **Słowa kluczowe:**

tarcie suche, tarcie graniczne, tarcie płynne, budowa warstwy wierzchniej

#### **Key words:**

dry friction, boundary lubrication, liquid friction, structure of the surface layer

#### **Streszczenie**

Autorzy wyjaśnili, kiedy zachodzi tarcie suche i jaki wpływ ma wartość obciążenia na współczynnik tarcia oraz przedstawili, w jakich technicznych warunkach zachodzi tarcie płynne. Tarcie płynne, jak wiemy, jest wtedy, kiedy pomiędzy elementami tworzy się warstwa smarna.

W pracy przedstawiono warunki występowania tarcia granicznego zachodzącego po przerwaniu filmu smarowego oraz omówiono doniesienia literaturowe związane z badanym tematem. Podano, jak powstaje graniczna warstwa w czasie smarowania elementów maszyn oraz jakie

---

<sup>\*</sup> Akademia Górniczo-Hutnicza. Wydział Inżynierii Mechanicznej i Robotyki. al. Mickiewicza 30, 30-059 Kraków, e-mail: s\_pytko@agh.edu.pl.

warstwy powstają po zadziałaniu dodatków przeciwzatarciowych typu EP na bazie siarki.

W oparciu o wyniki badań własności dodatków przeciwzużyciowych i przeciwzatarciowych otrzymane przez innych autorów wyjaśniono, w jakich warunkach zachodzi przejście tarcia płynnego w graniczne. W pracy przedstawiono wykresy wpływu obciążenia i prędkości poślizgu na współczynnik tarcia.

## WPROWADZENIE

W wielu publikacjach i pracach naukowych używany jest termin „smarowanie graniczne”. Tym zjawiskiem i związanym z nim fizyko-tribologicznym określeniem zajmowali się badacze, którzy opracowywali podstawy tribologii. W monografii pod tytułem „Graniczna Smazka” [L. 1] wymienieni są fizycy, chemicy oraz fizykochemicy, którzy zajmowali się tym problemem, a pozycji literaturowych na ten temat jest około 300. Są to, między innymi, prace M. Chrushchova, B. Deriagina, P. Rebintera, F. Boudena, G. Fuksa, B. Kragielskiego, G. Vinogradova, R. Kosteckiego, R. Matvejevskiego, B. Bhushana i innych.

W oparciu o pracę wyżej wymienionych autorów badania własne oraz informacje autorów z wielu dyskusji przedmiotowych można przyjąć, że najgroźniejsza forma zużycia w czasie tarcia elementów zachodzi wtedy, kiedy po przerwaniu filmu smarnego rozpoczyna się proces zacierania wraz z towarzyszącym mu wysokim współczynnikiem tarcia, prowadzący do tarcowego zgrzania (zatarcie), które zazwyczaj eliminuje elementy maszyny z dalszej eksploatacji.

Natomiast w przypadku tarcia suchego, niezwykle ciekawym aspektem jest wzrost współczynnika tarcia wraz ze zmniejszaniem obciążenia, który jest szczególnie widoczny przy obserwacji współpracy elementów w skali mikro, co przedstawiono między innymi w pracy [L. 7]. Powyższe kwestie są niewątpliwie związane z podstawowymi wzorami opisującymi opory ruchu:

$$= \frac{T}{N} \quad (1)$$

Wartości nacisku oraz siły tarcia określa się w tym przypadku z zależności:

$$\begin{aligned} N &= F_R \cdot P_Q \\ T &= F_R \cdot T \end{aligned} \quad (2)$$

gdzie:

$F_R$  – pole rzeczywistej powierzchni styku,

$P_Q$  – naciski jednostkowe w styku,

$\sigma_T$  – naprężenie jednostkowe konieczne dla ścięcia zgrzewanych obszarów.

Podstawiając wzory (2) do zależności (1), otrzymamy wzór na współczynnik tarcia:

$$= \frac{T}{P_Q} \quad (3)$$

Przypominamy te podstawowe wzory z fizyki i tribologii po to, ażeby zrozumieć, że dla obniżenia wartości współczynnika tarcia należy albo zmniejszyć wartość licznika – to jest  $\sigma_T$  albo zwiększyć wartość  $P_Q$

Wiadomym jest, że na ogół chcemy mieć niską wartość współczynnika tarcia ze względu na:

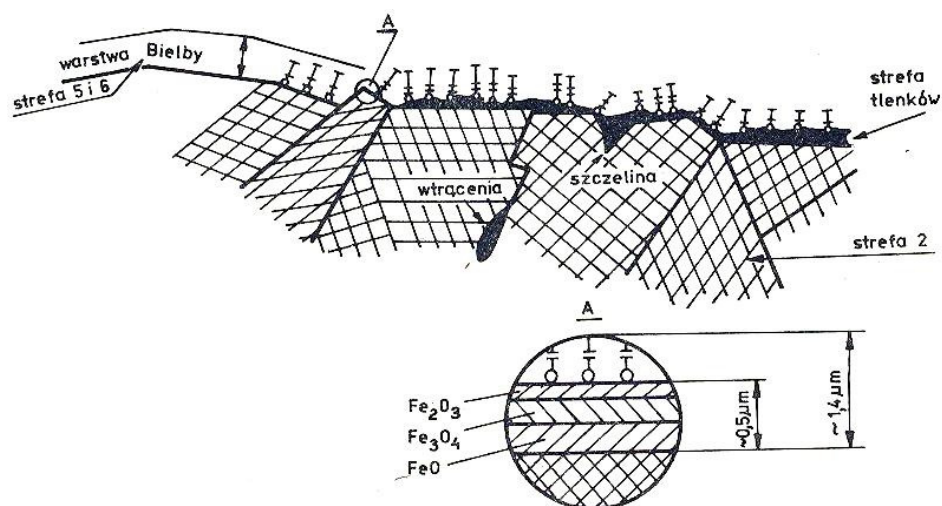
- opory ruchu i związane z tym straty energetyczne,
- zużycie elementów maszyn.

Jak zatem praktycznie można zmniejszyć wartość  $\sigma_T$ ? Można to osiągnąć dwiema metodami:

- przez wytworzenie na powierzchniach elementów maszyn warstw (powłok) o małej wartości  $\sigma_T$  metodami chemicznymi czy też fizycznymi
- albo wprowadzić pomiędzy elementy trące trzecie ciało o małym współczynniku tarcia pomiędzy swoimi warstwami.

Ciałami spełniającymi te wymagania są substancje smarujące. Możemy w oparciu o wzór (3) stwierdzić, że w przypadku tarcia dwóch elementów wykonanych z różnych materiałów współczynnik tarcia będzie najmniejszy, gdy obszary chwilowo zgrzane – gdy zawiedzie smarowanie – będą ścinane pod wpływem małych naprężeń tnących  $\sigma_T$  lub gdy będzie możliwie duże obciążenie bez odkształceń, czyli gdy  $P_Q$  będzie wysokie. Materiałem spełniającym te warunki jest między innymi stop łożyskowy nazywany „białym metalem” albo babbitem. Wiemy również, że działanie dodatków przeciwtarciowych EP (extreme pressure) polega na tworzeniu, w odpowiedniej temperaturze, specjalnych warstw zapobiegających zacieraniu elementów maszyn. Przykład takiej warstwy przedstawiono na **Rys. 5 [L. 6]**. Należy jeszcze zwrócić uwagę na to, że w przypadku elementów trących w atmosferze ziemskiej, na ich powierzchniach, w wyniku działania tlenu z powietrza, powstają, warstwy, które

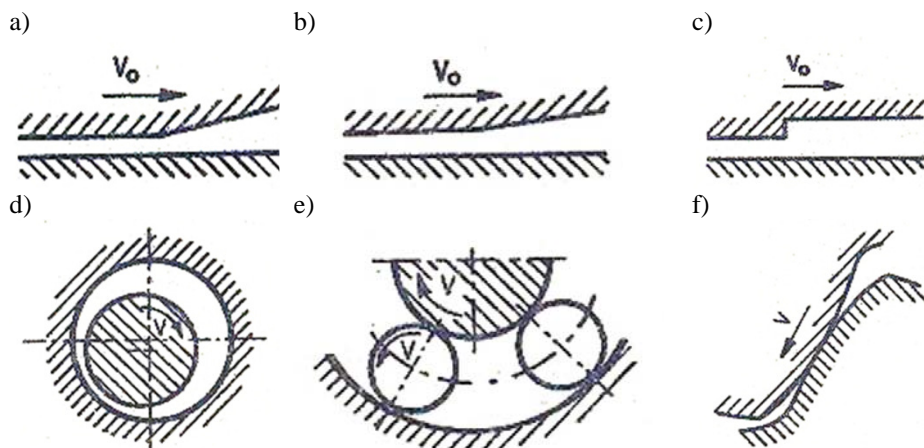
tworzą pewien bufor przed zgrzewaniem się na zimno elementów obciążonych, a tarcie z tymi elementami nazywa się *TARCIEM TECHNICZNIE SUCHYM*. Taka warstwa na powierzchni elementów wykonanych ze stali jest przedstawiona obrazowo na **Rys. 1**.



**Rys. 1.** Powierzchnia elementu stalowego w warunkach atmosfery ziemskiej [L. 5]  
 Fig. 1. The steel element surface in the Earth's atmosphere [L. 5]

Oczywiście w próżni, a także w kosmosie takiej warstwy tlenkowej nie ma, kiedy w wyniku tarcia i zużycia elementów nastąpi odsłonięcie ich warstw wierzchnich. Jak wynika z **Rys. 1**, w atmosferze na elementach wykonanych ze stali tworzą się warstwy tlenkowe, na których zaadsorbowana jest woda ze znajdującej się w powietrzu pary wodnej.

Odmienne przedstawia się sytuacja w przypadku węzła, w którym pomiędzy elementami trącymi znajduje się warstwa czynnika smarnego. W takich warunkach, zamiast tarcia pomiędzy elementami, występuje tarcie pomiędzy warstwami czynnika smarnego, między którymi opory ruchu są o wiele rzędów mniejsze niż w przypadku tarcia suchego. Aby takie tarcie zaistniało, muszą być spełnione pewne warunki dotyczące kształtów elementów trących oraz parametrów ruchu [L. 5]. Na **Rys. 2** przedstawiono różne kształty elementów współpracujących, które umożliwiają powstanie warstwy smarującej pomiędzy nimi, czyli tak zwanego klina smarnego.



**Rys. 2. Kształty elementów umożliwiające powstanie klina smarnego [L. 5]**

Fig. 2. Various shapes of friction joint elements providing lubricant wedge creation [L. 5]

Oczywiście istotny wpływ na powstanie tarcia płynnego, hydrodynamicznego ma prędkość przesuwu elementów względem siebie. Kiedy prędkość ruchu  $V$  jest mała, klin nie powstaje. Utworzenie klina następuje dopiero wtedy, kiedy prędkość ruchu jest dostatecznie duża. Wielkość klina smarnego zależna jest również od nacisku pomiędzy trącymi elementami i od własności lepkościowych czynnika smarnego. Poniżej przedstawiono pewne podstawy zjawisk tribologicznych, które wyjaśniają proces przejścia tarcia płynnego w graniczne oraz pozwalają zrozumieć pojęcie „granicznego smarowania”.

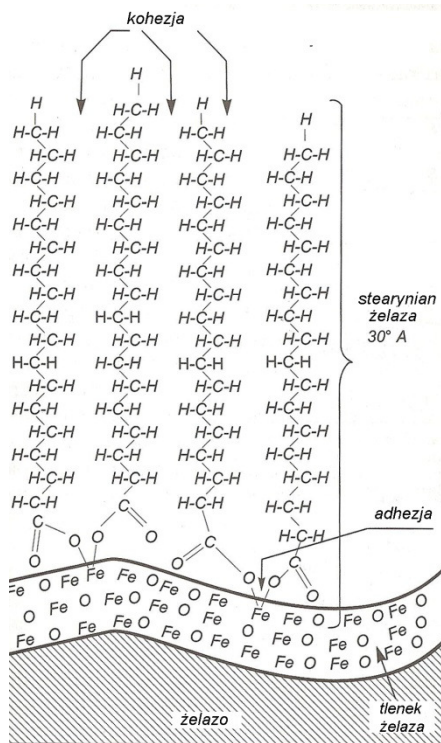
## KONCEPCJA GRANICZNEGO SMAROWANIA

### Koncepcja granicznego smarowania olejami

Kto eksploatuje urządzenie lub maszynę, chciałby, wychodząc z ekonomicznego czy też trwałościowego punktu widzenia, aby w trakcie eksploatacji pomiędzy współpracującymi elementami było tarcie płynne, gdyż gwarantuje ono:

- niewielkie opory ruchu elementów, a więc i niski pobór mocy,
- małą intensywność zużywania części, a więc zwiększoną bezawaryjność oraz trwałość, a tym samym mniejsze koszty eksploatacji.

Jak wiemy z teorii i praktyki przemysłowej, w trakcie pracy elementów maszyn, takich jak: łożyska ślizgowe i toczne, koła zębate, krzywki, pierścienie tulei silnikowych i itp., zachodzą takie sytuacje, kiedy następuje przerwanie filmu smarnego i dochodzi do kontaktu nierówności powierzchni elementów tworzących węzeł tarcia. Bardzo często taka sytuacja spowodowana jest przeciążeniem układu prowadzącym w konsekwencji do np. ugięcia się wału i innych elementów w maszynie, które powoduje zmianę nacisków na inne niż zakładane przez konstruktora. Wówczas na powierzchniach styku powstaje cienka warstewka czynnika smarnego nazywana *GRANICZNA* jak to schematycznie przedstawiono na **Rys. 3**.



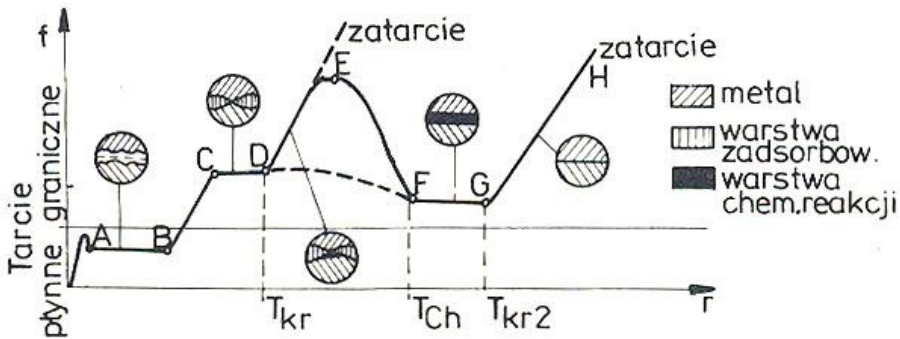
**Rys. 3. Schematycznie przedstawiona warstwa węglowodorów na utlenionej powierzchni elementu stalowego [L. 1]**

Fig. 3. Schematically presented hydrocarbon layer on the steel element with oxidized surface [L. 1]

W niektórych sytuacjach, aby nie dopuścić do zatarcia elementów maszyn dodaje się do olejów i smarów plastycznych specjalne dodatki,

które mają za zadanie wytwarzać specjalną warstwę o małych wartościach  $\sigma_F$  zmniejszającą współczynnik tarcia i zapobiegającą tym samym zatarciu elementów. Przykładem specjalnych dodatków do olejów jest pakiet EP na bazie siarki, którego składniki w trakcie przeciążenia i wzrostu temperatury wchodzi w reakcję z powierzchnią elementów trących tworząc nowe, łatwo poślizgowe warstwy w miejscu, gdzie mogłoby powstać zatarcie. Jak i kiedy zadziałają takie dodatki w olejach i smarach przedstawiono na **Rys. 4** [L. 4].

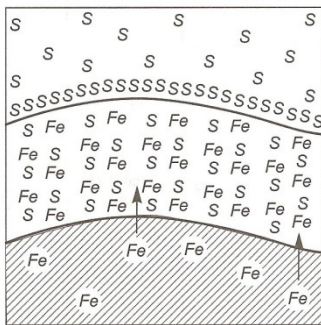
Jak wynika z **Rys. 4**, w momencie rozpoczęcia współpracy elementów trących następuje wzrost temperatury w strefie styku i równocześnie wzrost współczynnika tarcia  $\mu$ , który się stabilizuje w czasie (odcinek AB na **Rys.4**). Jeżeli warunki staną się niewystarczające dla utrzymania smarowania płynnego, wówczas nie tylko wzrośnie współczynnik tarcia do wysokiej wartości – na wykresie punkt C – ale i temperatura  $T$  do wartości  $T_{KR}$ . Jeżeli w tym momencie nie będą działały dodatki typu EP, wówczas dojdzie do zatarcia współpracujących elementów. Jeżeli te dodatki zadziałają, wówczas współczynnik tarcia obniży się i te elementy nie ulegną zatarciu. Takie chwilowe przetrwanie daje możliwość dalszej pracy całego węzła tarcia.



**Rys. 4.** Wykres zależności współczynnika tarcia od temperatury w smarowanym styku elementów trących:  $T_{kr}$  – temperatura krytyczna, kiedy zachodzą pierwsze reakcje dodatków EP,  $T_{ch}$  – temperatura, kiedy zachodzą specjalne reakcje chemiczne dodatków EP,  $T_{kr2}$  – temperatura krytyczna 2, kiedy zachodzą dalsze reakcje dodatków EP [L. 4]

Fig. 4. The diagram of the friction coefficient  $f$  ( $\mu$ ) against the temperature in lubricated friction joint:  $T_{kr}$  – the critical temperature, when the first reactions of EP additives occur,  $T_{ch}$  – temperature, when the chemical reaction of EP additives occur,  $T_{kr2}$  – critical temperature 2, when the further reactions of EP additives occur [L. 4]

Na **Rys. 5** przedstawiono schemat powstania warstwy przeciwwzatarciowej, kiedy dodatkami do olejów są związki siarki.



**Rys. 5.** Schematycznie przedstawiona warstwa na powierzchni stalowego elementu po zadziałaniu dodatku z oleju [L. 1, 3]

Fig. 5. Schematically presented layer on the steel element after oil additives action [L. 1, 3]

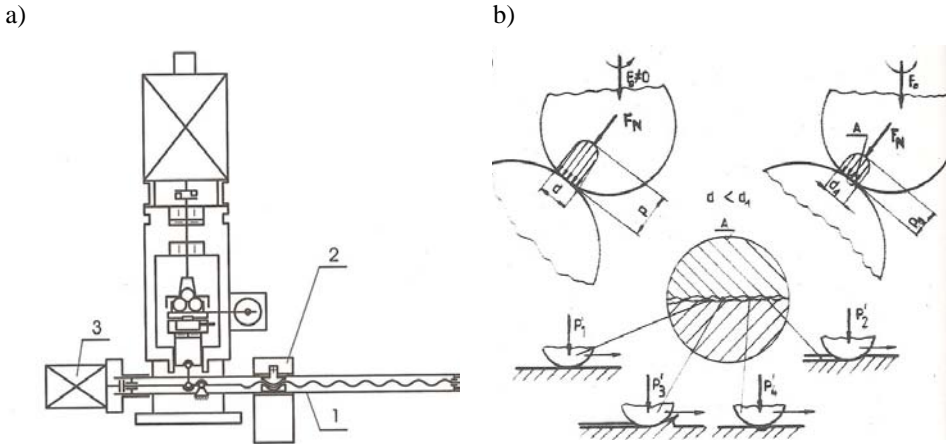
Z **Rys. 5** wynika, że na powierzchni elementu wykonanego ze stali tworzą się siarczki żelaza, które dają możliwości łatwego przemieszczania się elementów i zapobiegają zatarciu, czyli  $\sigma_T$  tej powstałej warstwy jest niskie. Opisana powyżej sytuacja jest przykładem, kiedy powstaje tak zwane tarcie graniczne przy smarowaniu elementów olejami z dodatkami EP albo inaczej – smarowanie graniczne.

Smarowanie graniczne możemy określić w oparciu o wykresy otrzymane w czasie badania czynników smarnych na aparacie czterokulowym, którego schemat przedstawiono na **Rys. 6a**. Na **Rys. 7** [L. 8] przedstawiono zmiany momentu tarcia uzyskane w czasie badania na aparacie 4-kulowym z wykorzystaniem metody z ciągłą zmianą obciążenia górnej kulki.

Interesujące jest to, że w miarę wzrostu obciążenia, a zarazem powiększania śladów wytarcia, moment tarcia rośnie proporcjonalnie do obciążenia górnej kulki. W pewnym momencie wzrostu obciążenia górnej kulki, co powoduje wzrost nacisku, następuje nagły wzrost momentu tarcia – na **Rys. 7** punkt 1. Jest to moment przejścia tarcia płynnego w graniczne, któremu towarzyszy wzrost momentu tarcia  $M_t$  do takiej wartości, że wytworzone ciepło i temperatura powodują zadziałanie do-

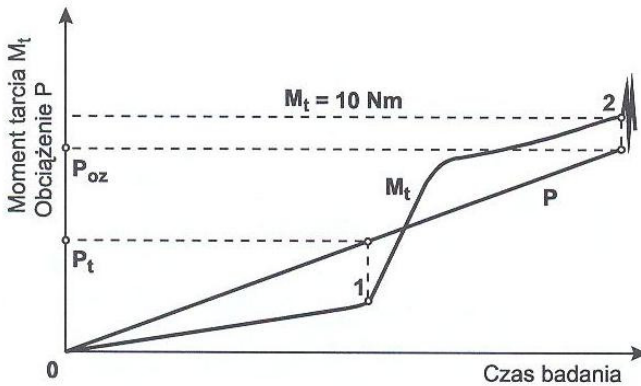


datków w oleju. Kiedy powstałe warstwy na powierzchniach wytarcia o wartościach tarcia  $\sigma_t$  przestają równoważyć siły tarcia, wówczas dochodzi do zgrzania się kulek, czyli do zatarcia pokazanego w punkcie 2 na Rys. 7.



Rys. 6. Schemat kinematyczny aparatu czterokulowego T-02 produkcji ITeE – PIB: 1 – dźwignia, 2 – obciążnik, 3 – silnik przesuwający obciążnik [L. 8] a), b) różne możliwe stany zużycia na powierzchni styku kulki górnej z dolną

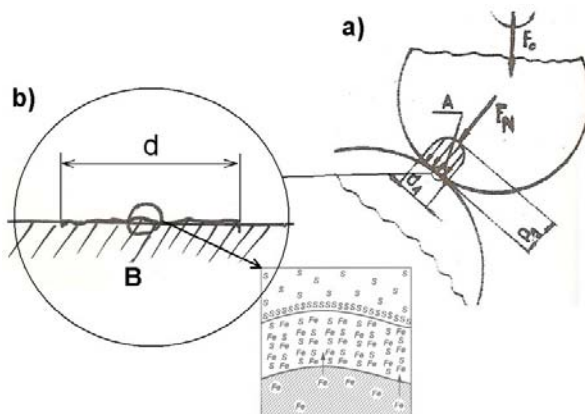
Fig. 6. The kinematic diagram of the T-02 four-ball test machine made by ITeE – PIB: 1 – lever, 2 – load, 3 – motor shifting the load [L. 8] a), b) various wear stages in the contact between the upper and lower balls



Rys. 7. Wykres momentu tarcia w zależności od obciążenia górnej kulki na aparacie czterokulowym [L. 8]

Fig. 7. Diagram of the friction torque against the friction joint load measured by means of the four-ball test machine [L. 8]

Na **Rys. 8** przedstawiono ślad wytarcia na kulce dolnej oraz tworzące się, w wyniku reakcji dodatków EP, warstewki przedstawione na **Rys. 5**, oznaczone literą B na powiększeniu śladu wytarcia.



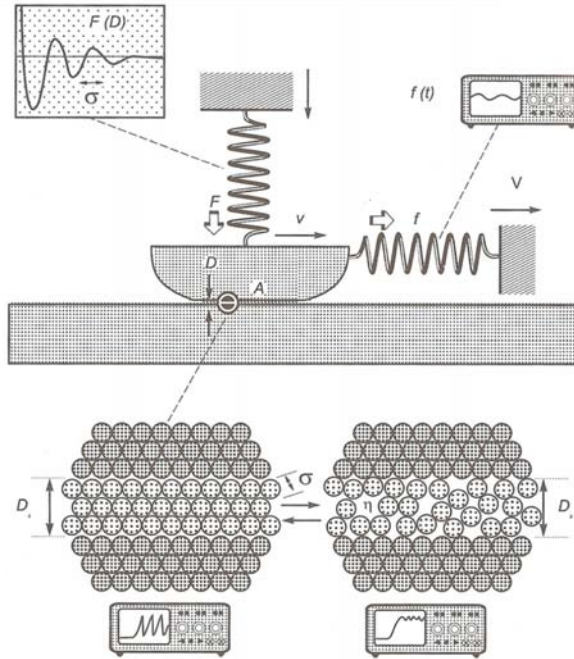
**Rys. 8.** Styk kulki górnej z dolną: a) ślad wytarcia, b) powiększenie śladu wytarcia z punktem B, w którym zachodzą reakcje z dodatkiem EP

Fig. 8. Contact of the upper and the lower ball: a) wear track, b) the magnification of the wear track with the B point where the action of the EP

W inny sposób przedstawił smarowanie graniczne Bushan i inni w pracy [L. 10], jak widać na **Rys. 9**. Autorzy uważają, że w momencie rozpoczęcia tarcia i przesuwu z prędkości  $V = 0$  do wartości  $V$ , w czynniku smarnym następuje nie tylko zawahanie się siły nacisku, ale powstają naprężenia  $\sigma$  pomiędzy molekułami oleju i z warstwy o grubości oleju  $DS$  powstaje warstwa o grubości  $DK$  Wraz z tą zmianą zmienia się także współczynnik tarcia  $f$ , co widać na obrazach monitorów przedstawionych na **Rys. 9**.

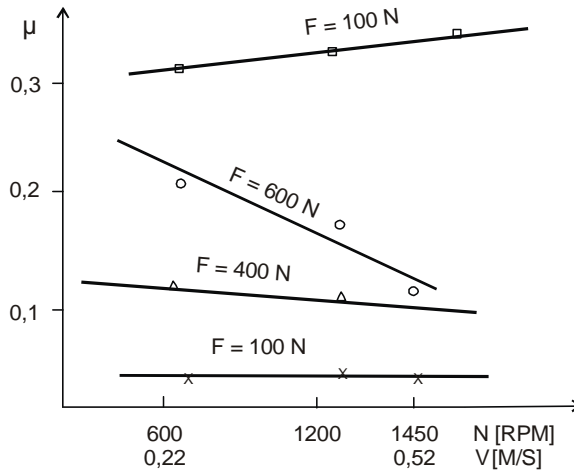
Ciekawe badania wykonano też na aparacie czterokulowym w Berlińskiej Akademii (BAM). Mogą one wskazywać moment przejścia z tarcia płynnego w graniczne dla różnych wartości obciążenia górnej kulki, ale przy różnych obrotach, co automatycznie zmieniało wartość prędkości przemieszczania się kulki górnej po kulkach dolnych. Wyniki tych badań przedstawiono na **Rys. 10** [L. 6].

Jak wynika z wykresów na **Rys. 10**, w przypadku obciążenia górnej kulki siłą 100 N w miarę wzrostu obrotów lekko wzrastał współczynnik tarcia  $\mu$ , natomiast przy obciążeniu 600 N w miarę wzrostu obrotów współczynnik tarcia  $\mu$  zmniejszał się. Z tego faktu wynika, że wytarcia wstępne spowodowało rozłożenie nacisku na kulkach w warunkach tarcia płynnego.



**Rys. 9. Schemat granicznego smarowania przedstawiony w pracy [L. 10]**

Fig. 9. Diagram of boundary lubrication illustrated in the work [L. 10]

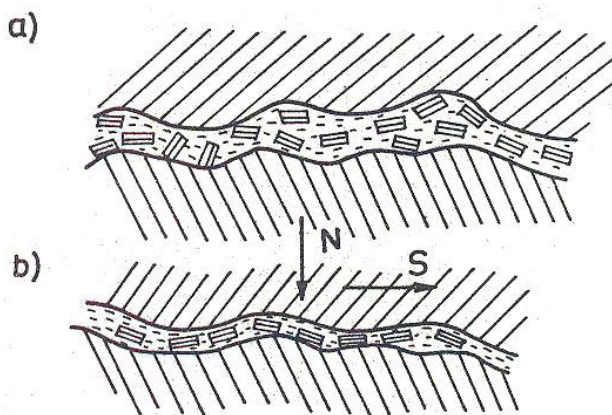


**Rys. 10. Wykresy wartości współczynnika tarcia przy różnych obciążeniach i prędkościach obrotowych górnej kulki na aparacie czterokulowym [L. 6]**

Fig. 10. Diagrams of the friction coefficient against various loads and rotational speeds of upper ball on the four-ball test machine [L. 6]

### Koncepcja granicznego smarowania smarami plastycznymi

Bardzo często elementy maszyn są smarowane smarami plastycznymi z dodatkami grafitu lub dwusiarczku molibdenu. Wtedy warstwa smarująca przedstawia się, jak obrazowo to przedstawiono na **Rys. 11**. Należy też wiedzieć, że w przypadku smarowania smarami plastycznymi, wytworzenie dość grubej warstwy smarującej jest trudniejsze niż w przypadku smarowania olejami. Zatem w wielu sytuacjach dodajemy do smarów plastycznych np. grafit, pełniący rolę zagęszczacza, niezależnie od tego na jakiej bazie są zbudowane. Dodawane krystaliczne pierwiastki lub związki, jak na przykład grafit (C) lub dwusiarczek molibdenu ( $\text{MoS}_2$ ) lub rzadziej wolfram, tworzą buforową warstwę zapobiegającą zatarciu elementów maszyn. Także w warunkach dużych nacisków i małych prędkości poślizgu pomiędzy elementami maszyn, te krystaliczne pierwiastki lub związki układają się na chropowatej powierzchni elementów i tworzą warstwę o małej wartości  $\sigma_F$  czyli obniżającą współczynnik tarcia  $\mu$ .

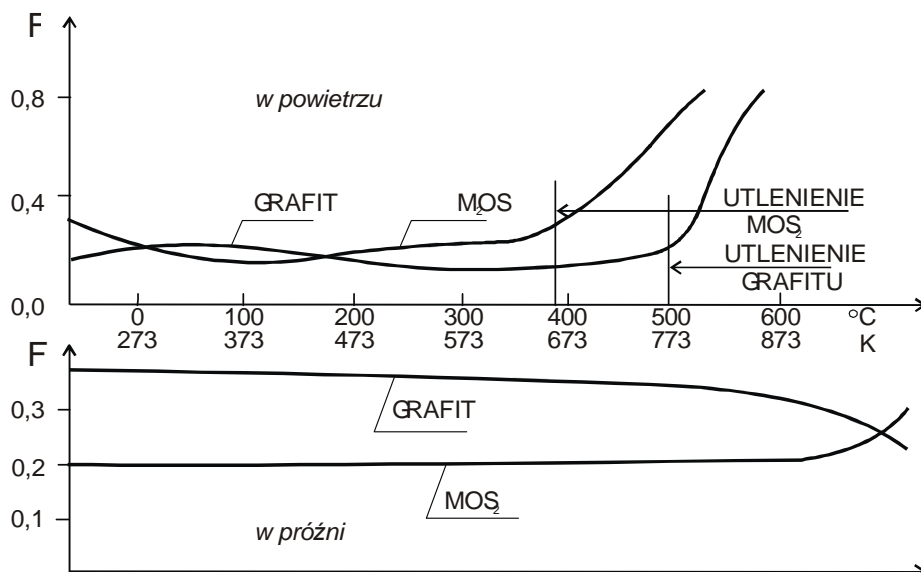


**Rys. 11.** Warstwy smaru z dodatkami kryształów: a) przy dostatecznej warstwie smarnej, b) przy granicznej warstwie smarnej [L. 5]

Fig. 11. The grease layers with additives of crystals: a) with an appropriate lubricant film b) under the boundary lubrication conditions [L. 5]

Dwusiarczek molibdenu jako substancja smarna był szeroko wprowadzany i badany w latach 60. XX wieku. Ze względu na budowę, przedstawioną na **Rys. 11**, posiada on, podobnie jak grafit, tę własność, że tworzy warstwę na powierzchni smarowanych elementów o małej wartości  $\sigma_T$  tym samym obniża współczynnik tarcia  $\mu$ .

Należy jednak pamiętać, że dodatki, o których mowa, mają swoje granice stosowania w zależności od temperatury, jak przedstawiono na wykresach **Rys. 12**. Po przekroczeniu pewnych wartości temperatur tracą one swoje własności obniżając wartość współczynnika tarcia, a niekiedy zwiększając go.

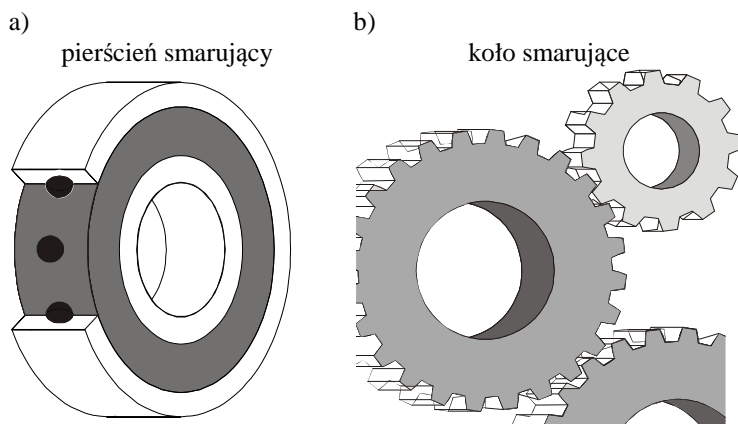


**Rys. 12.** Wykres wartości współczynnika tarcia ( $\mu$ ,  $f$ ) w zależności od temperatury dla grafitu i dwusiarczku molibdenu [L. 5]

Fig. 12. The diagram presenting the coefficient of friction ( $\mu$ ,  $f$ ) for the graphite and for the  $\text{MoS}_2$  as a function of the temperature [L. 5]

### Koncepcja granicznego smarowania smarami stałymi

W technice zdarzają się takie przypadki, kiedy smarowanie olejami i smarami plastycznymi nie jest możliwe. W takich sytuacjach możemy elementy maszyn smarować smarami stałymi, jak to przedstawiono na **Rys. 13**. Wtedy jeden z elementów zestawu wykonany jest ze smaru, np. grafitu z lepiszczem i ścierając się powoduje nakładanie bardzo cienkiej warstewki czynnika smarnego o małej wartości  $\sigma_T$ , tym samym obniżając współczynnik tarcia  $\mu$ .



**Rys. 13. Przykłady smarowania elementów smarami stałymi: a) powierzchnie robocze łożyska tocznego, b) powierzchnie robocze zębów koła zębatego [L. 9]**

Fig. 13. Examples of the lubrication of the machine elements with solid lubricants a) work surface of the rolling bearing, b) work surface of the gear-wheel teeth [L. 9]

## PODSUMOWANIE

Jak wynika z opisu tarcia granicznego i podanych wyżej przykładów, z granicznym smarowaniem spotykamy się bardzo często w technice. Aby jednak nie dochodziło do zatarcia elementów maszyn, co jest zużyciem katastroficznym, wymagającym w wielu przypadkach usunięcia danego elementu z maszyny, do olejów dodajemy specjalne dodatki przeciwzatarciowe i przeciwzużyciowe, których efekty działania możemy zbadać na aparacie czterokulowym o symbolu T-02 produkcji ITeE – PIB w Radomiu.

W przypadku smarowania smarami plastycznymi tarcie graniczne, podobnie jak przy olejach, zachodzi, kiedy zbliżenie powierzchni elementów jest tak duże, że dodatki EP w olejach tych smarów tworzą warstwy zapobiegające zatarciu. W przypadku smarowania smarami plastycznymi z dodatkami w postaci grafitu, dwusiarczku molibdenu lub wolframu na powierzchniach tworzą się z tych dodatków warstwy o bardzo małych wartościach sił ścinania zapobiegające zatarciu.

W przypadku smarowania smarami stałymi, jak pokazano na **Rys. 13**, mamy właściwie cały czas smarowanie graniczne, ponieważ stosujemy takie smarowanie przy małych prędkościach poślizgu. Tego

typu smarowanie daje zabezpieczenie przed zatarciem elementów współpracujących. Należy wiedzieć, że w czasie współpracy kontaktowej elementów grubość warstwy smarującej wynosi kilka mikrometrów. Najważniejsze w czasie smarowania jest to, aby nie doszło do zetknięcia się elementów przez dłuższy czas i żeby pomiędzy elementami powstała warstwa zapobiegająca zgrzaniu się występów nierówności elementów maszyn.

## LITERATURA

1. Bujanovski I.A., Fuks I.G., Shabalina T.N.: Granichnaja Smazka. Wyd. Neft i Gaz Moskva 2002.
2. Czichos H.: Film Failure of slipping Hertzian Contacts. The influence of Contact Geometry. Proc. of the JSLE -ASLE Intern. Lubricatiion Conference. Tokio, 1975.
3. Godfrey D.: Boundary Lubrication. Proc. Simp. "Interdisciplinary approach to friction and wear". Washington-NASA 1968.
4. Matvejevski R.M., Bujanovski I.A.: Protivo zadirnaja stoikost smazochnych sred pri trenii v rezhimie granichnoj smazki. Wyd. Nauka, Moskva 1978.
5. Pytko S.: Podstawy tribologii i techniki smarowania. Wyd. AGH, Kraków 1989.
6. Pytko S.: Methods of tests with application of four-ball machine. Proc."Trobotechnika v teorii a praxi" Karlowe Wary 1989 t. 1, s. 35-44.
7. Rymuza Z., Pytko S.: Scaling in friction experiment. Proc. First Intern. Brazilian Conference on Tribology. Rio de Janeiro 2010.
8. Szczerek M., Tuszyński W.: Badania tribologiczne-zacieranie. Wyd. Inst.Techn. Eksploatacji Radom 2000.
9. Kragielski I.V.: Trenije i iznos. Moskva 1968.
10. Bhushan B., Israelachvili J., Landman Uzi.: Nanotribology: Friction, wear and lubrication at the atomic scale. Nature 1995, vol. 374.

**Recenzent:**  
**Witold PIEKOSZEWSKI**

## Summary

**After explaining the occurrence of dry friction conditions and how loads influence the friction coefficient, the authors described the technical conditions under which the liquid lubrication takes place.**

**Liquid friction occurs when the lubricant film is formed between the machine elements. In the paper, the conditions of lubricant film disruption leading to boundary lubrication are presented with a discussion of the standpoints in literature concerning the aspect of boundary lubrication. The mechanism of boundary layer creation between the friction joint elements is described. The formation of the layers being an effect of EP sulphur based additives action is also presented.**

**Based on other research results concerning the properties of antiwear and (antiseizure) extreme pressure oils additives, the conditions of boundary friction occurrence are explained. In the paper, the diagrams showing the load and sliding speed influence on the coefficient of friction are also presented.**