

PROBLEMY NIEKONWENCJONALNYCH UKŁADÓW ŁOŻYSKOWYCH

Łódź 15-16 maja 1997

Marek Gawliński
Politechnika Wrocławska

USZCZELNIENIE ELASTOMEROWE - WAŁ JAKO SZCZEGÓLNA PARA CIERNA

SŁOWA KLUCZOWE

uszczelnienie, tarcie

STRESZCZENIE

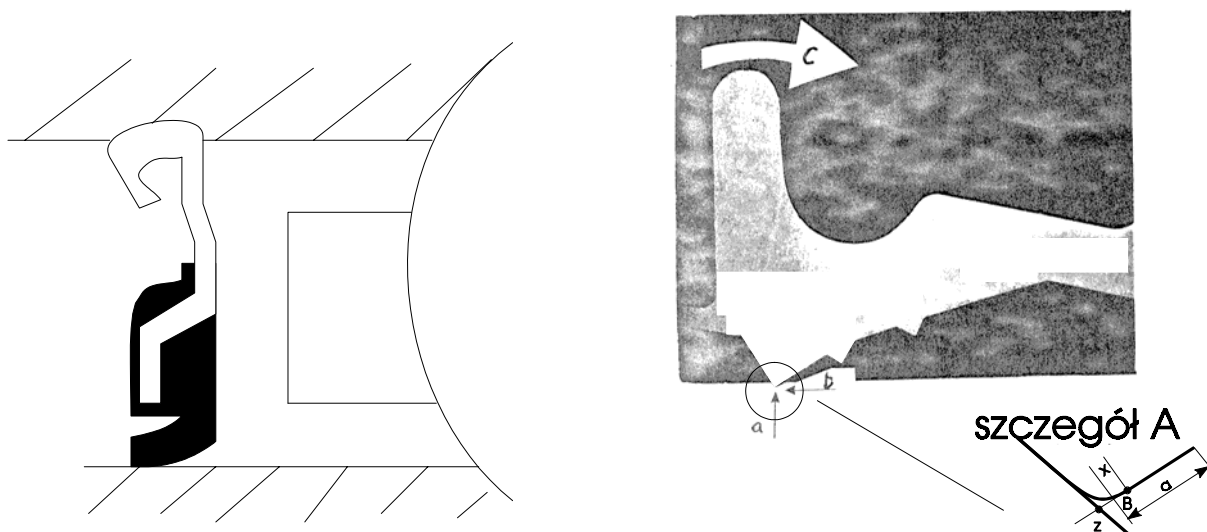
W referacie przedstawiono wyniki badań nad tworzeniem się powierzchni styku pomiędzy wargą uszczelniającą a wałem. Wykazano, iż położenie powierzchni styku zależy od wielu czynników i nie jest łatwe do przewidzenia. Podano przykłady wskazujące na istnienie bezpośredniego związku pomiędzy zużyciem wargi a położeniem powierzchni styku. Otrzymane wyniki świadczą o tym, że para uszczelnienie - wał znacznie odbiega swym zachowaniem od zachowania się większości znanych par ciernych.

1. WPROWADZENIE

Wargowe uszczelnienia elastomerowe stosuje się najczęściej do ochrony łożysk przed negatywnym wpływem otoczenia oraz w celu zapobieżenia wyciekowi czynnika smarnego z węzła łożyskowego. Uszczelnienia te mogą współpracować bezpośrednio z pierścieniem łożyska (rys. 1a) lub z powierzchnią wału, na którym osadzono łożysko (rys. 1b). Z danych firmy SKF [1] wynika, że trwałość łożyska zależy przede wszystkim od jakości uszczelnienia.

Proces uszczelniania zachodzi w obszarze styku wargi uszczelniającej z powierzchnią wału. Oba elementy tworzą unikatowy system cierny, bowiem wykonano je z materiałów różniących się od kilku do kilkunastu rzędów wielkością twardością i modułem sprężystości, a także różniących się zasadniczo teksturą powierzchni. Obciążenie powierzchni trących nie jest przykładane z zewnątrz; ono „tkwi” w konstrukcji uszczelnienia i ujawnia się w chwili osadzenia go na wale. Obciążenie to zależy od profilu wargi, własności elastomeru oraz

różnicy średnic wału i wargi. W parach ciernych, z jakimi najczęściej mamy do czynienia, relacja pomiędzy obciążeniem normalnym a siłą tarcia wyrażona jest poprzez zależność powierzchni styku od obciążenia normalnego.



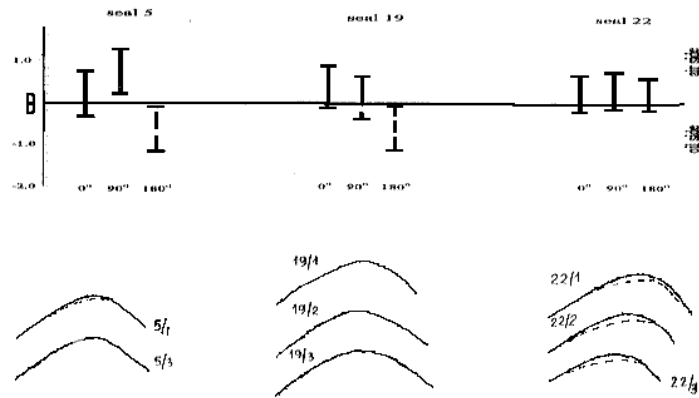
Rys. 1. Wargowe uszczelnienie elastomerowe, a) wbudowane w łożysko, b) samodzielne. A - powiększenie krawędzi uszczelniającej

W parze ciernej uszczelnienie wargowe - wał występują odstępstwa od tej zasady; tej samej sile zacisku wargi na wale mogą odpowiadać różne powierzchnie styku oraz różne wartości siły tarcia. Przyczyn szczególnego zachowania się pary ciernej uszczelnienie - wał należy upatrywać w mechanizmie tworzenia się powierzchni styku.

MECHANIZM TWORZENIA SIĘ POWIERZCHNI STYKU POMIĘDZY WARGĄ A WAŁEM

Profil wargi uszczelnienia odznacza się asymetrią w kierunku osi x . Podczas osadzania na wale dochodzi do rozciągnięcia wargi (a), jej obrotu (c) oraz przemieszczenia (b) względem powierzchni wału (rys. 1b). Krawędź wargi, na której wystąpi styk z powierzchnią wału składa się z odcinków krzywo- i prostoliniowego. Odcinek krzywoliniowy możemy aproksymować fragmentem łuku okręgu o promieniu r od 50 do $80\mu\text{m}$. Położenie obszaru styku na krawędzi uszczelniającej możemy wyrazić względem punktu styczności B (rys. 1b - szczegół A) łuku okręgu z prostoliniową częścią profilu wargi.

Z badań przeprowadzonych na specjalnie do tego celu wykonanym stanowisku z wałem szklanym i układem optycznym do rejestracji obrazu obszaru styku wynika, że w jednym i tym samym uszczelnieniu położenie obszaru styku na krawędzi uszczelniającej może być różne (rys. 2). Położenie powierzchni styku wyrażano względem punktu styczności B i odnoszono je do szerokości powierzchni styku występującej w miejscu pomiaru. Usytuowanie odcinka jednostkowego powyżej osi przechodzącej przez punkt B informuje, w jakiej części szerokości styku powierzchnia styku znajduje się na prostoliniowej części krawędzi wargi. Położenie fragmentu lub całego odcinka poniżej punktu B oznacza, iż część lub całość obszaru styku przypada na części krzywoliniowej krawędzi wargi.

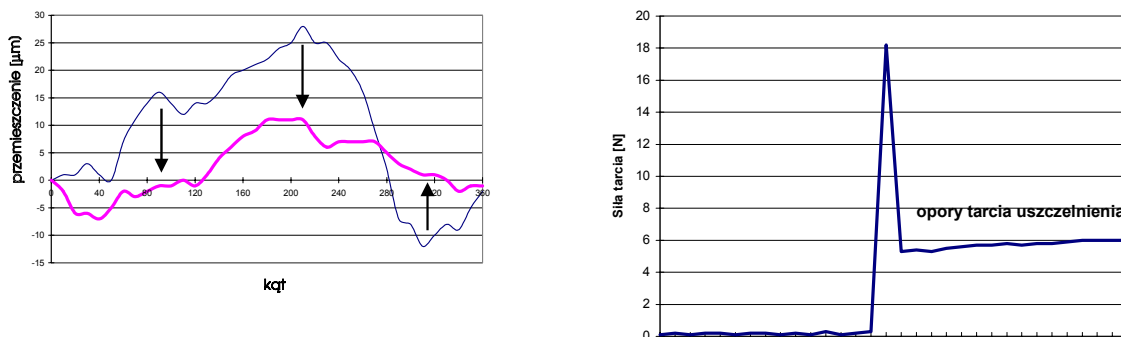


Rys. 2. Położenie powierzchni styku na wardze wybranych uszczelnień i odpowiadające mu zużycie wargi

Rozstęp pomiędzy skrajnymi położeniami obszaru styku na powierzchni wargi dochodzi czasami do 3 szerokości powierzchni styku wargi z wałem. Oznacza to, że w uszczelnieniu dodatkowo występuje asymetria w kierunku obwodowym. Wynika ona przede wszystkim z:

- położenia krawędzi uszczelniającej wargi przed nałożeniem uszczelnienia na wał (rys. 3a),
- kierunku przemieszczania się wargi względem wału podczas montażu uszczelnienia,
- wzajemnego współdziałania poszczególnych części wargi podczas montażu na wale.

Okazuje się, że krawędź uszczelniająca w uszczelnieniu wargowym może być odchylona od hipotetycznej płaszczyzny, przechodzącej przez dowolnie wybrany punkt na krawędzi i prostopadłej do jego osi symetrii. Odchylenie to może być skierowane zarówno w stronę zajmowaną przez czynnik roboczy, jak i w stronę otoczenia. Z przeprowadzonych pomiarów nie wynika, by istniała ścisła relacja pomiędzy wartością odchylenia krawędzi uszczelniającej w pierścieniu swobodnym a wartością rozstępu położenia powierzchni styku na wardze. Okazało się, że większy wpływ ma kierunek ruchu względnego wargi i wału podczas osadzania uszczelnienia na wale. Przykład przedstawiony na rysunku 3 dowodzi, że wargę na znacznej części swego obwodu - przemieszczała się w kierunku przeciwnym do ruchu wału. Świadczy o tym położenie krawędzi przed i po montażu uszczelnienia na wale (rys. 3a). Danemu przemieszczeniu się wargi towarzyszył wzrost siły tarcia, rejestrowanej podczas osadzenia uszczelnienia na wale (rys. 3b).



Rys. 3. Położenie krawędzi uszczelniającej przed i po montażu uszczelnienia oraz towarzysząca mu siła tarcia

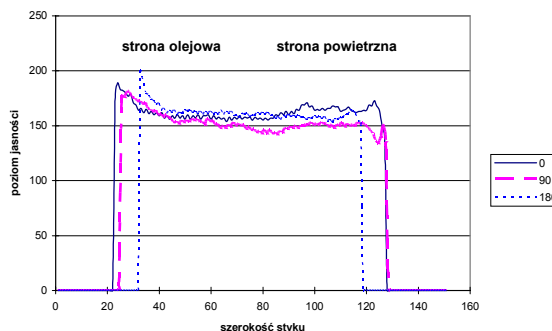
W wielu przypadkach stwierdzono również zgodność kierunków ruchu wału i wargi. Analiza wyników pomiaru położenia krawędzi wskazuje na pewną prawidłowość: rozstęp położenia powierzchni styku na całym obwodzie wargi był mniejszy w tych przypadkach, w których stwierdzono przemieszczenie się wargi w kierunku przeciwnym do ruchu wału.

ZWIĄZEK POŁOŻENIA OBSZARU STYKU NA WARDZE Z NACISKIEM

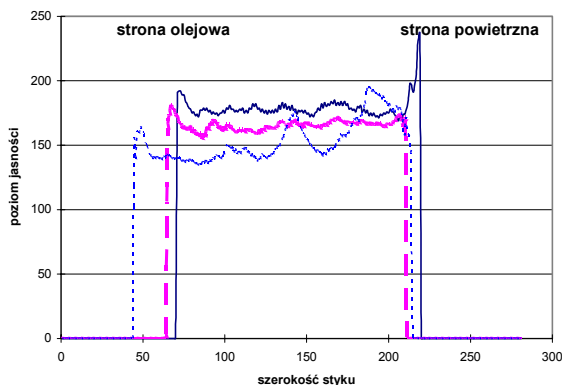
Należy oczekiwać, iż występowanie styku wargi z wałem w różnych miejscach krawędzi uszczelniającej prowadzi do zmienności nacisku stykowego w kierunku obwodowym. W tym celu przeprowadzono analizę obrazów powierzchni styku wargi z wałkiem szklanym. Obraz rejestrowano na taśmie wideo w trzech miejscach na obwodzie, a następnie poddawano obróbce komputerowej. Program umożliwiał rozróżnienie stopni jasności analizowanego obrazu w skali 0-250 punktów. Im większy nacisk w danym miejscu styku, tym większa ilość rzeczywistych punktów styku i tym większe rozproszenie światła, a w rezultacie niższy poziom stopni jasności. Badanie tego typu umożliwia jakościową ocenę warunków styku.

Na rys. 4 przedstawiono rozkład stopni jasności wzdłuż szerokości powierzchni styku (wzdłuż osi x) uszczelnienia, w którym rozstęp położenia powierzchni styku był bliski zeru. Można zatem przyjąć, że wartość i rozkład nacisku powinny być stałe na całym obwodzie wargi uszczelniającej. A zatem, skoro stopnie jasności są miarą nacisku stykowego, to w miejscach pomiaru powinniśmy otrzymać podobne rozkłady stopni jasności. Wykresy na rys. 4 potwierdzają przyjęte założenie.

Rys. 4. Rozkład stopni jasności w trzech miejscach na obwodzie uszczelnienia



Kolejny wykres (rys. 5) dotyczy rozkładu stopni szarości jasności zarejestrowanych w uszczelnieniu, w którym rozstęp skrajnych położenia powierzchni styku wynosił 1,5 szerokości styku.



Rys. 5. Rozkład stopni jasności w uszczelnieniu z rozstępem położenia powierzchni styku

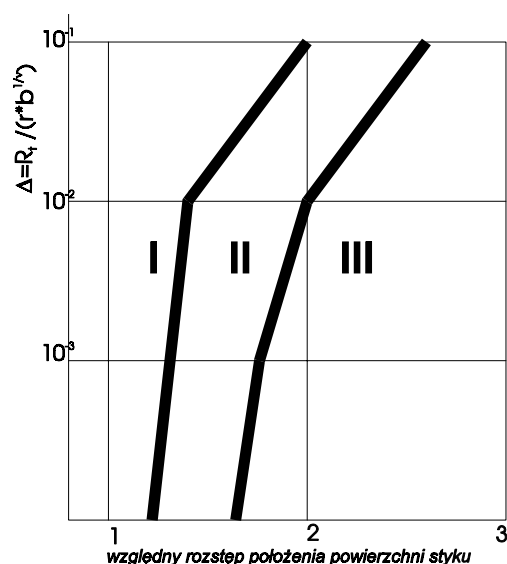
Zmienności położenia powierzchni styku powinna odpowiadać zmienność wartości i rozkładu nacisku stykowego, a to znajduje potwierdzenie w zróżnicowaniu poziomu stopni jasności w trzech analizowanych miejscach na obwodzie.

Powyższe rozkłady otrzymano dla uszczelnień, w których siła wywierana przez wargę na wał była praktycznie taka sama.

ZWIĄZEK ZUŻYCIA WARGI Z POŁOŻENIEM OBSZARU STYKU NA KRAWĘDZI USZCZELNIAJĄCEJ

Zwiększenie rozstępu położenia powierzchni styku na wardze prowadzi do zwiększenia momentu tarcia uszczelnienia. Istnieje jednak pewna graniczna wartość tego rozstępu - dla danej chropowatości powierzchni stalowego wału - powyżej której wartość momentu stabilizuje się (lub spada) natomiast pojawia się nierównomierne zużycie wargi. Wyjaśnienie tego zjawiska wiąże się z występowaniem lokalnych sił stycznych i odpowiadających im lokalnym deformacjom warstwy powierzchniowej gumy. Nacisk, w połączeniu z teksturą powierzchni wału decydują o głębokości wnikania poszczególnych nierówności. Wejście i wyjście nierówności ze styku wywołuje zmienność lokalnych sił stycznych i odpowiadających im deformacji. Zależnie od stopnia zmienności i przeważającego kierunku działania stycznych sił lokalnych może dojść do powstania drgań, przemieszczeń bądź przechylenia pewnej części wargi. Mechanizm ten pozwala wyjaśnić występowanie wzrostu/spadku zużycia wargi przy nieziennej wartości współczynnika tarcia.

Badania zużycia krawędzi uszczelniającej wargi prowadzono w uszczelnieniach współpracujących z wałkami o chropowatościach $R_a = 0.12; 0.35; 0.63 \mu\text{m}$, odpowiednio. Dysponując profilami oryginalnych i zużytych krawędzi uszczelniających, danymi o rozstępie położenia powierzchni styku i teksturze powierzchni można było zbudować wykres (rys. 7), informujący o stopniu zużycia wargi na jej obwodzie.



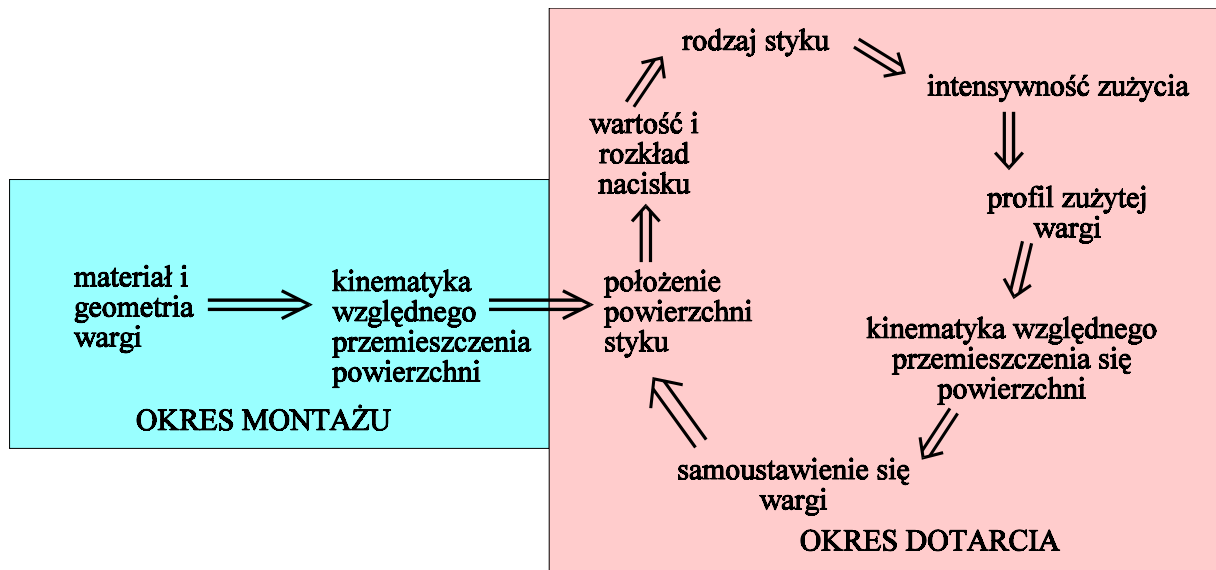
Rys. 7. Zależność stopnia zużycia od rozstępu położenia powierzchni styku

Obszar I informuje o dopuszczalnym rozstępie położenia powierzchni styku, koniecznym do uzyskania - dla danej chropowatości powierzchni wału - równomiernego

zużycia wargi. Obszar II dotyczy uszczelnień o większym rozstępie; w tych uszczelnieniach stwierdzono zużycie na całym obwodzie wargi, ale o różnym stopniu i położeniu. Dalsze zwiększanie rozstępu położenia powierzchni styku (obszar III) prowadzi do sytuacji, w której działanie stycznych sił lokalnych wywołuje drgania wargi i zupełny brak zużycia jej powierzchni na pewnej części obwodu. Im gładza powierzchnia, tym węższy zakres rozstępu dla otrzymania danego stopnia zużycia.

OSOBLIWOŚĆ PARY CIERNEJ USZCZELNIENIE - WAŁ

Wyniki prowadzonych badań wskazują na możliwość wystąpienia zdarzeń, których kolejność decyduje o jakości pracy pary uszczelnienie - wał.



Rys. 8. Sekwencja zjawisk występujących w okresie montażu i dotarcia pary: uszczelnienie-wał

Z przedstawionego schematu wynika, że zdarzenia z okresu montażu uszczelnienia mają ogromny wpływ na jakość pracy uszczelnienia, bowiem w tym okresie ustala się położenie powierzchni styku na wardze. Położenie to determinuje nacisk jednostkowy i zużycie wargi a przez to i jej kolejne położenie względem wału. Tak więc, szczególność pary ciernej polega na:

- braku możliwości przewidzenia położenia obszaru styku, mimo przestrzegania procedury montażu,
- występowania ścisłego związku, pomiędzy położeniem powierzchni styku a wartością nacisku,
- na dużej zmienności lokalnych sił stycznych, w obszarze całego styku wargi z wałem.

LITERATURA

1. Katalog łożysk tocznych firmy SKF 1991

ELASTOMERIC SEAL-SHAFT AS A PECULIAR FRICTIONAL PAIR

Summary

The paper presents the results of experimental investigations on the creation of the contact area between sealing lip and the shaft. It is shown that position of contact area depends on many factors and is not easy to predict. There are examples indicating the direct relation between lip wear rate and the position of contact area. All results show that the pair: sealing lip - shaft behaves in quite a different way than most of known frictional pairs.

Recenzent: Prof. dr hab. inż. Jan Burcan

Podziękowanie

Autor składa podziękowanie mgr inż. J. Roguli za pomoc w prowadzonych eksperymentach oraz w przygotowaniu materiału do druku.