

PROBLEMY NIEKONWENCJONALNYCH UKŁADÓW ŁOŻYSKOWYCH

Łódź, 15-16 maja 1997 r.

Dariusz M. Bieliński ¹⁾, Andrzej Szkodziński ¹⁾, Włodzimierz Baryń ¹⁾, Ludomir Ślusarski ¹⁾,
Marian Strączyński * ²⁾

¹⁾ Instytut Polimerów Politechniki Łódzkiej, ²⁾ KWB „Belchatów” z siedzibą w Rogowcu

ZASTOSOWANIE GUMY W SKOJARZENIACH RUCHOWYCH

SŁOWA KLUCZOWE

guma, modyfikacja, zużycie ścierne, smarowanie

STRESZCZENIE

Praca przedstawia możliwości zastosowania gumy jako materiału konstrukcyjnego na elementy maszyn pracujące w skojarzeniach ruchowych. Omówiono sposoby poprawy właściwości tribologicznych materiału zarówno na drodze jego modyfikacji jak i zmian konstrukcyjnych węzła tarcia. Podano przykłady konkretnych rozwiązań w postaci uszczelnień dla bezsmarowej pneumatyki przemysłowej, oraz gumowo-metalowych panwi i segmentów łożysk oporowych pracujących w agregatach kopalnianych pomp głębinowych.

1. WSTĘP

Zastosowanie gumy jako materiału konstrukcyjnego na elementy maszyn pracujące w skojarzeniach ruchowych jest ograniczone ze względu na duże opory tarcia i zużycie ścierne. Najbardziej niekorzystny jest moment rozruchu, kiedy to element gumowy pracuje w warunkach tarcia suchego. Ponadto, ze względów konstrukcyjno-eksploatacyjnych bądź ekologicznych stosowanie smarowania nie zawsze jest możliwe.

Bardzo istotnym problemem jest uzyskanie odpowiednich parametrów tribologicznych przy zachowaniu elastyczności. Elastyczność niektórych elementów, np. uszczelnień czy amortyzatorów jest niezbędna dla prawidłowego funkcjonowania urządzenia.

2. PRZEDMIOT I ZAKRES BADAŃ

2.1 Materiały

2.1.1. Uszczelnienia

Przedmiot badań stanowiły wulkanizaty olejoodporne, stosowane jako materiał na uszczelnienia ruchowe w pneumatyce przemysłowej, Tablica 1.

*) Udział w badaniach panwi do łożysk agregatów pompowych.

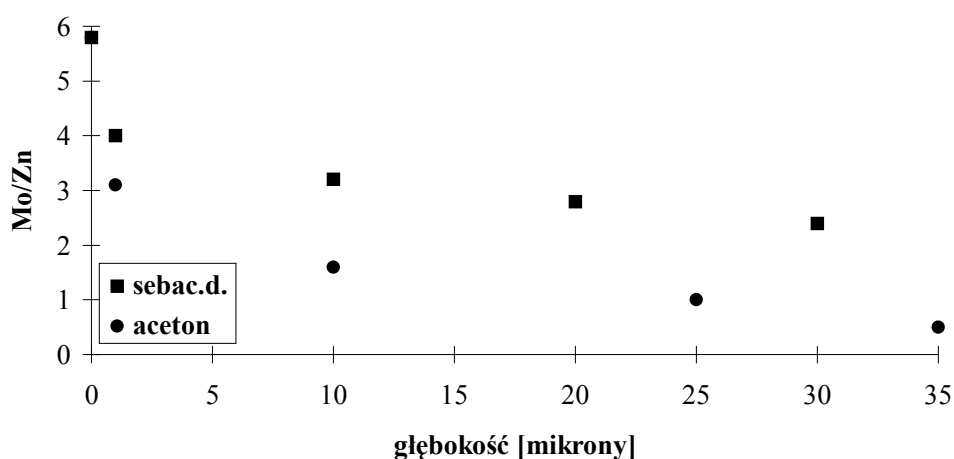
Tablica 1.

Skład ramowy mieszanek gumowych stosowanych na uszczelnienia ruchowe [1]

L.p.	Składnik	Mieszanka [cz. wag.]	
		I	II
1.	Kauczuk nitylowy ze środkiem sieciującym	100	---
2.	Kauczuk fluorowy	---	100
3.	Tlenki metali	9	5
4.	Napełniacze	30	23
5.	Oleje	---	2
6.	Wosk	2	---
7.	Przyspieszacze	---	3
8.	Środki sieciujące	---	2

Parametry wulkanizacji: T=160 °C, czas I - 6 min.; II - 12 min.

Gotowe elementy poddawano obróbce powierzchniowej metodą „solvent-non solvent” [2], z jednoczesnym wprowadzeniem do warstwy wierzchniej wulkanizatów stałego środka smarnego w postaci MoS₂, grafitu lub ich mieszaniny [3]. W tym celu zostały sporządzone specjalne pasty bądź zawiesiny z udziałem smaru stałego. Dla ich prawidłowego działania, parametry rozpuszczalności elastomeru poddanego obróbce i rozpuszczalnika użytego do przygotowania substancji modyfikującej powinny być do siebie zbliżone. W wyniku spęcznienia warstwy wierzchniej wulkanizatu powstają mikroszczeliny, przez które cząsteczki np. MoS₂ zdolne są do penetracji w głąb materiału poddanego modyfikacji, ulegając mechanicznemu „zakotwiczeniu”. Elementarna analiza mikroskopowa (EDAX) przekroju próbki poddanej obróbce wykazała spadek zawartości MoS₂ wraz ze wzrostem odległości od powierzchni, Rys. 1. Efektywność użytego rozpuszczalnika, pod względem jego zdolności do wprowadzania cząsteczek smaru stałego w głąb materiału, w głównej mierze zależy od jego zdolności spęczniającej, lotności i czasu trwania obróbki.



Rys. 1. Głębokość penetracji cząsteczek MoS₂ w głąb wulkanizatu.

2.1.2. Elementy gumowo-metalowe

Konstrukcja gumowo-oporowych panwi i segmentów łożysk oporowych opiera się na typowej idei - metalowa konstrukcja nośna obłożona warstwą gumy o odpowiednich właściwościach, współpracujące obrotowo z elementem metalowym.

Elementom gumowo-metalowym postawiono wymagania dotyczące:

1. trwałości połączenia guma-metal - wytrzymałość złącza porównywalna z wytrzymałością na rozerwanie użytej gumy,
2. trwałości i odporności powłoki gumowej - min. 2 lata pracy we właściwych sobie warunkach t.j.
 - a) dla panwi zespołu pompowego - środowisko stanowią wody kopalniane o temp. ≈ 16 °C, zanieczyszczone mułami i drobnym piaskiem,
 - b) dla panwi i łożyska oporowego zespołu napędowego - środowiskiem jest gliceryna bądź jej wodne roztwory, zespół roboczy osiąga temp. ≈ 80 °C; max. obciążenie osiowe łożyska oporowego wynosi 55 kN dla najmniejszego łożyska ($\phi_z = 114$ mm).

2.2. Metodyka badań

2.2.1. Parametry wulkanizacji

Parametry wulkanizacji (czas/temp.) oznaczano reometrycznie, wg ISO 3417, za pomocą wulkametru z oscylującym rotorem.

2.2.2. Mikroskopia skaningowa

Stan powierzchni materiału w skali mikro przed i po tarciu obserwowano przy użyciu skaningowego mikroskopu elektronowego (SEM). Głębokość modyfikacji określano na przelomie próbki stosując przystawkę rentgenowską EDAX.

2.2.3. Właściwości mechaniczne

Właściwości mechaniczne wulkanizatów poddanych rozciąganiu oznaczano przy użyciu maszyny wytrzymałościowej, stosując próbki w kształcie wiosełek, wg ISO 37. Wytrzymałość na rozdieranie badano na próbkach typu „portki”, wg ISO 34 a wielkość odkształcenia trwałego przy ściskaniu oznaczano wg ISO 815. Elastyczność, twardość i ścieralność oznaczano odpowiednio wg ISO 4662 (aparat Schob'a), ISO 48 i ISO 4649 (aparat Schopper'a), wykorzystując standardową aparaturę.

2.2.4. Właściwości tribologiczne

Współczynnik tarcia i zużycie ścierne wulkanizatów oznaczano przy użyciu aparatu „pin on disc” o zmodyfikowanej konstrukcji węzła tarcia, przystosowanej do badania materiałów elastycznych [4].

2.2.5. Próby wytrzymałościowe i eksploatacyjne

Uszczelnienia bezsmarowe, zamontowane w elementach mikroautomatyki pneumatycznej badano na stanowisku laboratoryjnym (MERA-PiAP Warszawa) przy następujących parametrach pracy:

1. częstotliwość przełączeń zaworów - max. 2 Hz
2. różnica ciśnień w uszczelnianym węźle - max. 1.5 MPa
3. dopuszczalny spadek ciśnienia w węźle - 0.2-0.3 MPa/s
4. temperatura pracy - -20-+50 °C.

W przypadku segmentów łożyska oporowego badania prowadzono na specjalnym stanowisku (KWB Bełchatów), rejestrującym charakterystyki prądowo-napięciowe silnika napędowego w funkcji obciążenia osiowego łożyska oporowego, zadawanego hydraulicznie.

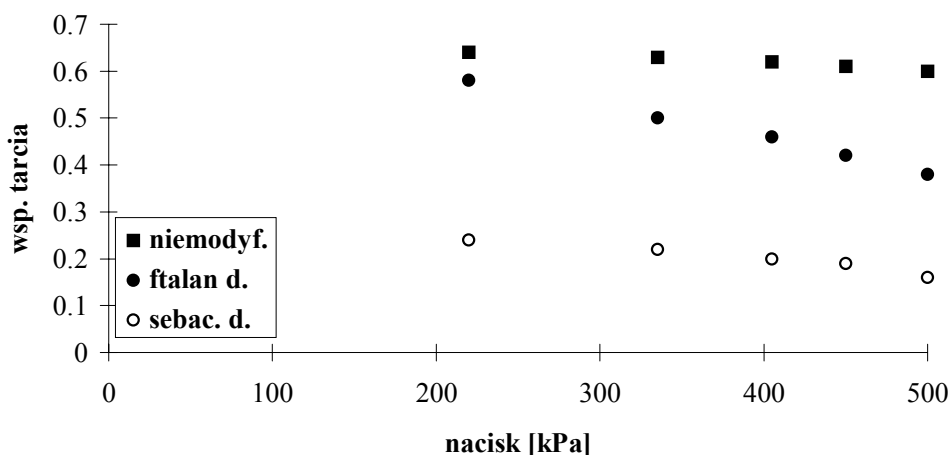
Łożyska promieniowe (panwie), zamontowane w agregatach głębinowych poddawano standardowym testom montażowym wykorzystując stanowisko z basenem wodnym. Stanowisko to pozwalało rejestrować charakterystyki prądowo-napięciowe silnika zatopionego w basenie agregatu w momencie rozruchu jak i stabilnej pracy.

3. WYNIKI BADAŃ i DYSKUSJA

3.1. Uszczelnienia

Poprzez dobór rozpuszczalnika oraz kontrolę czasu trwania obróbki można sterować głębokością modyfikacji, Rys. 1. Aceton szybciej wprowadza cząstki MoS_2 w głąb materiału, ale jego zdolność do głębszej modyfikacji jest ograniczona dużą lotnością. Ftalan lub sebacynian dibutyłowy, spęczniając gumę w wolniejszym tempie umożliwia jednak, dzięki mniejszej lotności, na wprowadzenie cząstek smaru stałego głębiej. Z drugiej jednak strony powstaje problem pozbycia się plastyfikatora ze spęcznionej warstwy wierzchniej, gdzie jego obecność jest niekorzystna z tribologicznego punktu widzenia, oraz zatrzymania modyfikacji na danej głębokości. W tym celu modyfikowaną powierzchnię przemywano eterem dietylowym, który rozpuszczając ftalan czy sebacynian łatwo ulegał odparowaniu.

Cząstki smaru stałego ulegając mechaniczemu „zakotwiczeniu” w warstwie wierzchniej elastomeru, przyczyniają się do obniżenia składowej histerezyjnej siły tarcia, co znajduje odzwierciedlenie w znacznym, w niektórych przypadkach nawet kilkakrotnym, obniżeniu współczynnika tarcia, Rys.2.



Rys. 2. Wpływ modyfikacji z zastosowaniem MoS_2 na właściwości tribologiczne gumy stosowanej na uszczelnienia; $v=0.30$ m/s, $T=25\pm 5$ °C.

Mimo obecności na powierzchni materiału mikroszczelin wypełnionych smarem stałym, nie zaobserwowano zwiększonego zużycia ściernego gumy. Dynamiczne odkształcenia powierzchni materiału, towarzyszące procesowi tarcia elastomeru, tzw. mechanizm „slip-stick” [5], nie występują. Tarcie przebiega na zasadzie poślizgu pomiędzy warstwami smaru stałego, dzięki czemu unika się deformacji materiału i praktycznie ogranicza do zera jego zużycie ściernie, Tablicy 2.

Zużycie ściernie wulkanizatów poddanych obróbce jest o rząd wielkości mniejsze niż dla próbek niemodyfikowanych. Pod tym względem modyfikacja na powierzchni przynosi dużo lepsze efekty niż modyfikacja polegająca na sporządzaniu mieszanin zawierających MoS_2 .

Tablica 3.

Zużycie ściernie wulkanizatów „na uszczelnienia””; $v=0.30$ m/s, $T=25\pm 5$ °C, $t=12$ h

L.p.	Substancja modyfikująca	Zużycie $\Delta V/V_0$, [%]
1.	Bez modyfikacji	20.0
2.	Zawiesina MoS ₂ w acetonie	0.4
3.	Pasta MoS ₂ we ftalanie dibutylovym	2.0
4.	Pasta MoS ₂ we ftalanie dioktylovym	4.0
5.	Pasta MoS ₂ w sebacynianie dioktylovym	0.2

Zużycie ściernie wulkanizatów poddanych obróbce jest o rząd wielkości mniejsze niż dla próbek niemodyfikowanych. Pod tym względem modyfikacja na powierzchni przynosi dużo lepsze efekty niż modyfikacja „w masie”, polegająca na sporządzaniu mieszanin zawierających MoS₂.

3.2 Elementy gumowo-metalowe

Głębinowe agregaty pompowe służą do transportu wód ze znacznych głębokości. Mają postać wydłużonego, stalowego cygara umieszczonego w cylindrycznej sztolni wodnej, podzielonego funkcyjnie na dwa zespoły: napędowy i pompowy.

Zespół napędowy składa się ze stalowej, hermetycznej obudowy, wewnątrz której znajduje się silnik elektryczny, którego wał wraz z wirnikiem, poprzez ochronne tuleje stalowe łożyskowany jest promieniowo za pomocą panwi gumowo-metalowych; osiowo zaś wsparty jest poprzez stalową tarczę na wielosegmentowym gumowo-metalowym łożysku oporowym o specjalnej konstrukcji. Wał silnika sprzężony jest z wałem zespołu pompowego, stąd łożysko oporowe nie tylko przenosi ciężar całego zespołu ruchomego, ale i reakcję pracującej pompy. Zespół napędowy zalewany jest gliceryną techniczną lub jej wodnym roztworem, spełniającym rolę medium smarującego dla par ciernych oraz chłodziwa odbierającego ciepło wydzielane przez pracujący silnik. Konstrukcja zespołu pozwala na wymuszoną cyrkulację chłodziwa od wewnątrz do zewnętrznych kanałów obudowy, pozwalając tym samym odbierać ciepło przez omywające obudowę wody kopalniane. Dzięki temu temperatura robocza zespołu napędowego ustala się w granicach ≈ 80 °C. Aby zapobiec przenikaniu zanieczyszczonych mułami i piaskiem wód kopalnianych do wnętrza zespołu, posiada on kompensator ciśnieniowy, którego zadaniem jest wyrównywanie ciśnienia wewnętrznego panującego w zespole z ciśnieniem zewnętrznym, panującym na głębokości zanurzenia agregatu pompowego. System ten powinien zapewnić całkowitą hermetyzację układu.

Zespół pompowy składa się ze stalowej obudowy, wewnątrz której znajduje się wał z osadzoną na nim konstrukcją kaskadowej pompy odśrodkowej. Wał, poprzez ochronne tuleje stalowe łożyskowany jest promieniowo w panwiach gumowo-metalowych. Panwie te, z założenia smarowane pompowanymi wodami, pracują w bardzo trudnych warunkach ciernych, bowiem mimo stosowania w zespole pompowym pakietu filtrującego w strefie ssania, pompowane wody niosą ze sobą muły i drobiny piasku.

3.2.1 Właściwości wulkanizatów

Ramowe składy mieszanek, oraz właściwości mechaniczno-trybologiczne gumy stosowanej w układach łożyskowych podano w Tablicy 3.

Tablica 3.

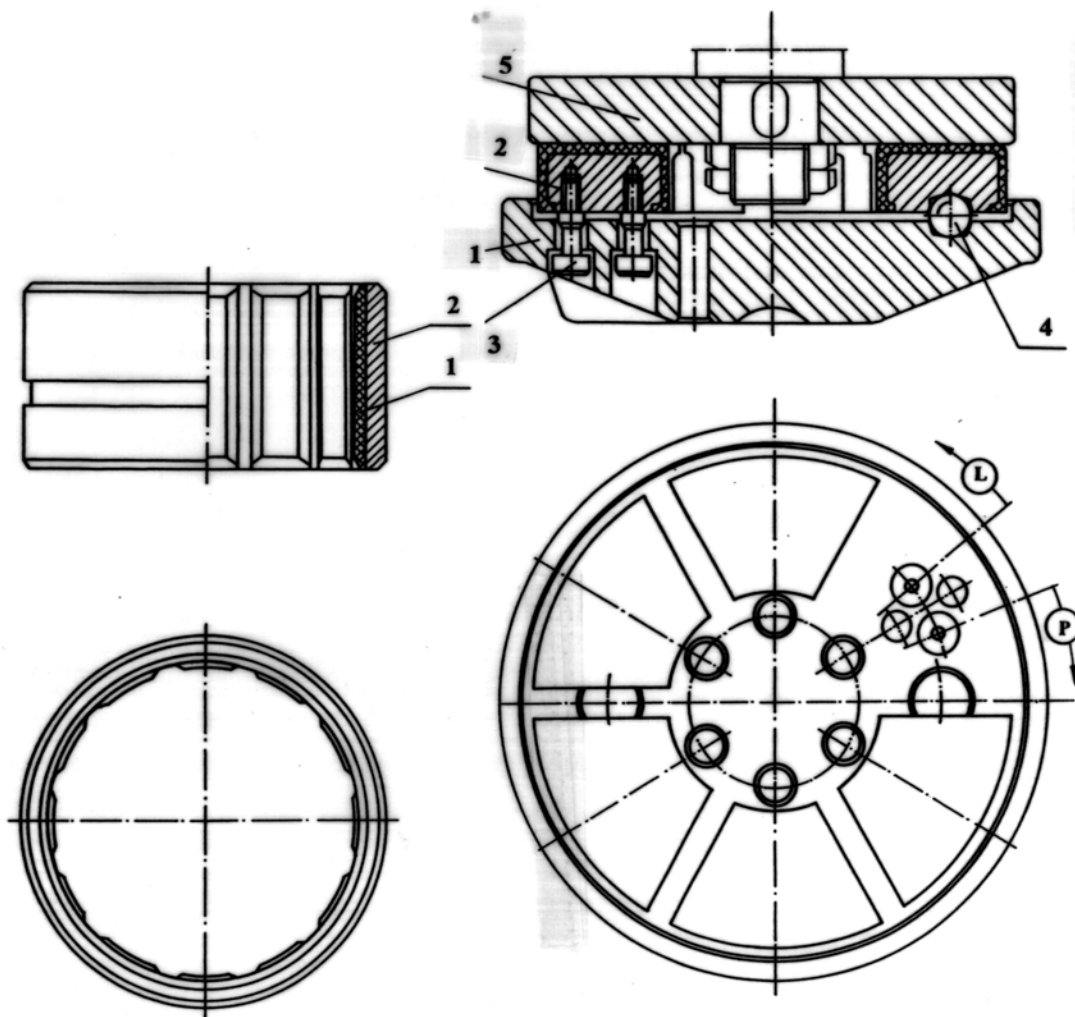
Ramowy skład mieszanek gumowych przeznaczonych na wykładziny panwi i segmentów łożyska oporowego głębinowych agregatów pompowych oraz właściwości wykładzin [6, 7]

Panwie zespołu pompowego		Panwie i segmenty łożyska oporowego zespołu napędowego	
Składnik	Skład (%)	Skład (%)	Składnik
Kauczuk butadienowo akrylonitrylowy	48,66	48,10 - 50,50	Terpolimer etylenowo-propylenowy
Napełniacz (sadze)	29,20	30,30 - 36,10	Napełniacz (sadze)
Grafit techniczny	14,60	2,40 - 2,53	Grafit techniczny
Aktywatory wulkanizacji	2,92	5,30 - 5,56	Aktywatory wulkanizacji
Przyspieszcze wulk. + siarka	1,70	4,48 - 4,80	Środki wulk./modyfikatory wulkanizacji
Przeciwutleniacze	0,49	0,72 - 0,75	Przeciwutleniacze
Zmiękczacze	2,43	2,9 - 5,56	Plastyfikatory
<i>Razem</i>	100,00	100,00	<i>Razem</i>
Wartość $t = 20^{\circ} \text{C}$	Własność fizyko - mechaniczna	Wartość	
		$t = 20^{\circ} \text{C}$	$t = 90^{\circ} \text{C}$
220	Wydłużenie względne przy zerwaniu, ϵ_r , [%]	270 - 475	240 - 340
30	Wydłużenie trwałe po zerwaniu, ϵ_{tr} , [%]	8 - 20	10 - 30
19,5	Wytrzymałość na rozciąganie R_r , [MPa]	10,8	5,0
9,0 17,0	Napężenie (moduł) przy rozciąganiu, [MPa] 100 % 200 %	2,3 - 2,7 4,3 - 9,0	2,3 - 2,6 3,9 - 4,8
34,0	Wytrzymałość na rozdzieranie R_{rd} , [kN/m]	11,8 - 12,3	9,6 - 10,1
76	Twardość, [$^{\circ}\text{ShA}$]	73 - 76	-
14	Elastyczność, [%]	16 - 20	-
20	Odkształcenie trwałe po ściskaniu, $\epsilon_{ct 100^{\circ} \text{C}/72 \text{ h}}$, [%]	14	18 - 30
204	Ścieralność wg Schopper'a, [mm^3]	206 - 210	-
0,48	Kinetyczny współczynnik tarcia o stal (na sucho)	0,56	-
0,15	Kinetyczny współczynnik tarcia o stal (zwilż. 30% wodnym r-rm gliceryny)	0,18	-
$1,48 \times 10^{-7}$	Zużycie cierne o stal, [g/mh] (zwilż. 30% wodnym r-rm gliceryny)	$1,62 \times 10^{-7}$	-

3.2.2. Konstrukcja panwi elementów gumowo-metalowych [6]

Konstrukcję panwi łożysk promieniowych przedstawia Rys. 3. Charakterystyki eksploatacyjne elementów wykonanych w Instytucie Polimerów P.Ł. wykazały pełną zgodność z charakterystykami wyrobów niemieckich o podobnym przeznaczeniu.

Porównawcze próby segmentów łożysk oporowych wykonanych w Instytucie Polimerów P.Ł., we współpracy z KWB „Bełchatów” wykazały stratność mocy, kształtującą się na poziomie 600-700 W, przy poborze mocy przez napęd równej 500 kW [8, 9]. Dla porównania, stratność mocy w łożyskach oporowych agregatów wytwarzanych uprzednio w kraju sięgała w tych warunkach 10 kW. Wobec korzystnie wypadających prób eksploatacyjnych dokonano, wspólnie z KWB „Bełchatów”, przekonstruowania geometrii segmentu łożyska oporowego. Uruchomiono produkcję zunifikowanego typoszeregu segmentów, umożliwiającego stosowanie w agregatach pompowych wytwarzanych przez różnych producentów, stosujących silniki lewo- i prawoobrotowe, Rys.4.



Rys. 3. Konstrukcja gumowo-metalowej panwi pompy/silnika. łożyska
1. panew 2 obudowa

Rys. 4 Konstrukcja gumowo - metalowego segmentu uniwersalnego oporowego silnika. 1 Podstawa, 2 segment, 3 śruba gniazdowa, 4 kulka łożyskowa, 5 tarcza ślizgowa

4. WNIOSKI

1. Istnieją możliwości poprawy właściwości tribologicznych gumy nie wiążące się z utratą jej „ogólnej” elastyczności, na drodze modyfikacji powierzchni materiału jak i zmian konstrukcji węzła tarcia.
2. Głębokość modyfikacji warstwy wierzchniej gumy poprzez wprowadzenie smaru stałego metodą „solvent-non solvent” zależy od charakterystyki termodynamicznej użytego rozpuszczalnika oraz czasu trwania obróbki.
3. Obniżenie współczynnika tarcia, towarzyszące fizycznej modyfikacji powierzchni gumy, jest w głównej mierze rezultatem spadku histerezyjnej składowej siły tarcia. W tym przypadku osłabienie warstwy wierzchniej nie powoduje wzrostu zużycia ściernego, z uwagi na odmienny od „typowego” mechanizm procesu zużycia.
4. Guma o specjalnych właściwościach może być z powodzeniem stosowana, przy odpowiedniej konstrukcji węzła tarcia, na wykładziny panwi łożysk eksploatowanych w szczególnie trudnych warunkach, np. środowisku gorącej wody, zanieczyszczonej drobinami piasku i mułu.

LITERATURA

1. Ślusarski L., Bieliński D.M., Janczak T.: Patent PL-168619 B1 (29.03.96).
2. Chen J.H., Ruckenstein E.: J. Appl. Polym. Sci., Vol. 45, (1992), s. 377-386.
3. Bieliński D.M., Ślusarski L., Janczak K.J., Loden A.: Wear, Vol. 169, (1993), s. 257-263.
4. Bieliński D.M., Janczak K.J., Janczak T., Ślusarski L.: Polimery, Vol. 10, (1991), s. 380-384.
5. Schallamach A.: Wear, Vol. 1, (1958), s. 883-891.
6. Janczak T., Krupecki A., Szkodziński A., Ślusarski L., Wagenknecht J.: Patent PRL-127148 (14.12.84).
7. Ślusarski L., Szkodziński A., Baryń W., Strączyński M., Okoń Z., Moczyński M.: Patent PRL-144270 (08.08.90).
8. Sprawozdanie z pracy I-20/ZK-257/WD/87 - dla KWB „Bełchatów”.
9. Strączyński M., Urbański P.: praca nie opublikowana.

THE APPLICATION OF RUBBER FOR MOVING FRICTION PAIRS

Summary

The paper presents possibilities of rubber application for moving friction pairs of machine elements. The ways to improve tribological performance of the material by modifying rubber as well as the constructional changes of the friction pair have been discussed. Some examples of the existing applications, e.g. seals not demanding lubrication for industrial pneumatics or rubber-metal journal and thrust bearings, working in deep-well pump sets, have been described in details.

Recenzent: Prof. dr inż. Zbigniew Lawrowski