

PROBLEMY NIEKONWENCJONALNYCH UKŁADÓW ŁOŻYSKOWYCH

Łódź 09-10 maja 1995 roku

Zbigniew Lawrowski
(Zakład Podstaw Konstrukcji Maszyn i Tribologii
Instytutu Konstrukcji i Eksploatacji Maszyn
Politechniki Wrocławskiej)

BEZOBSŁUGOWE ŁOŻYSKA ŚLIZGOWE

SŁOWA KLUCZOWE

dozór smarowniczy, łożyska bezobsługowe, samosmarowność, pormety, polimery, węglografity, powłoki ze smarów stałych, materiały ceramiczne

STRESZCZENIE

Omówiono podział łożysk z uwagi na warunki smarowania. Szczególną uwagę poświęcono łożyskom bezobsługowym, pracującym przy małych i bardzo małych prędkościach. Wymagają one wykorzystywania, do ich budowy, specjalnych materiałów na panewki. Wartości nośności łożysk bezobsługowych są na ogół małe. Ograniczają je: zapas środka smarnego, zmagazynowanego w panewce, mała odporność cieplna i duże zużycie.

DEFINICJA ŁOŻYSKA BEZOBSŁUGOWEGO

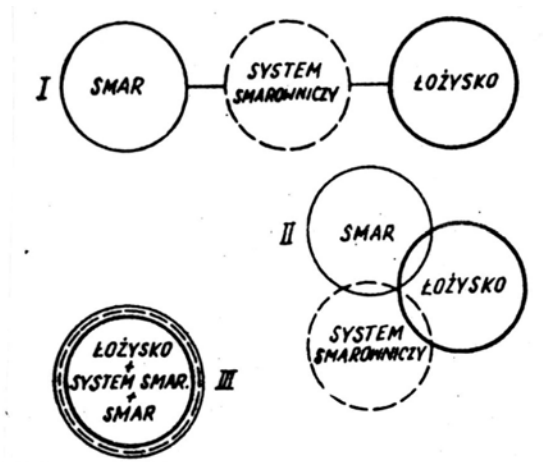
Obsługa łożyska ślizgowego polega na dozorze smarowniczym, tj. na zapewnieniu dostawy środka do szczeliny smarowej. Ze względu na ten dozór można mówić o łożyskach: z dozorem, z dozorem ograniczonym oraz bez dozoru smarowniczego.

Jeśli środek smarny wprowadzany jest do szczeliny smarowej z zewnątrz, ciągle lub okresowo, to mówimy o dozorze, niezależnie od tego, czy smarowanie jest ręczne czy automatyczne. Jeśli natomiast do łożyska nie trzeba doprowadzać środka smarnego lub też trzeba tylko okresowo go uzupełniać, to mówimy o takich łożyskach: w pierwszym wypadku *bez dozoru* zaś w drugim wypadku z *ograniczonym dozorem*. Należy przy tym wyraźnie podkreślić, że chodzi tu o środek smarny w samym łożysku, tj. w obrębie zespołu czopa i panwi a także łożyska z powłoką smarową na czopie. Nie obejmują one łożysk smarownych konwencjonalnie, nawet jeśli środek smarny jest zawarty w obudowie łożyska, np. w łożyskach smarowanych pierścieniem.

Łożyska pierwszej grupy to łożyska smarowane konwencjonalnie. Drugą i trzecią grupę zalicza się do łożysk bezobsługowych.

Na rysunku 1 przedstawiono schematy podstawowych grup łożysk ślizgowych według opisanego wyżej podziału. Rozwinięciem tego schematu jest rysunek 2, z przykładami łożysk wymienionych grup.

Zarówno nazwy, definicje jak i podział przytoczony wyżej - nie są jak na razie, powszechne. Istnieją jednak wyraźne tendencje, powodowane szybkim rozwojem łożysk bezobsługowych, do coraz dokładniejszego wyodrębniania tych łożysk z rodziny łożysk ślizgowych. Przede wszystkim ze względu na ich specyficzne właściwości i zakres zastosowań. I tak np., w słownictwie niemieckim używa się nazw *wartungsfreie Lager* *wartungsarme Lager* a także *Trockengleitlager* oraz *selbstschmierende Gleitlager*, w języku angielskim używa się nazwy *dry bearings* a w rosyjskim *podsiłpniki suchogo trenija*. Wyodrębnia się więc te łożyska albo według sposobu obsługi albo według sposobu działania, to jest, według procesu tribologicznego. W miarę dalszego rozwoju omawianych łożysk osiągnie się prawdopodobnie jednolite i jednoznaczne nazwy.



Rys. 1. Podział łożysk ślizgowych ze względu na obsługę smarowniczą; I - łożyska smarowane konwencjonalnie, II - układ smarowniczy i środek smarny stanowią integralną całość z łożyskiem, III - układ smarowniczy i środek smarny są zespolone

MODEL	czop i panew rozdzielone warstwą smaru dostarczanego z zewnątrz	smar umieszczony w materiale panwi (lub czopu)	panew z materiału samo-smarującego (ms), panew lub czop pokryte ms
SCHEMAT	I	II	III
TARCIE	plynne, mieszane	mieszane, wewnętrzne (w smarach stałych)	wewnętrzne (w smarach stałych) suchotechn..
PRZYKŁADY	 smarowanie pierścieniowe smarowanie ciśnieniowe	 pormety Glacier DX	 smarujące tworzywa szt., węgło-grafit

Rys. 2. Schematy łożysk z grup wymienionych na rys. 1.

OBSZARY ZASTOSOWAŃ ŁOŻYSK BEZOBSŁUGOWYCH

Można wyróżnić trzy obszary zastosowań omawianych łożysk:
 - w urządzeniach, w których nieefektywne jest smarowanie konwencjonalne, np. w niskich lub wysokich temperaturach, w próżni, w środowisku chemicznie aktywnym itp.,

- w maszynach i urządzeniach, w których smarowanie konwencjonalne może zabrudzić wytwór (przemysł: włókienniczy, spożywczy, papierniczy itp.),
- w przypadkach gdy obsługa smarownicza jest niemożliwa, trudna, wątpliwa lub też nieopłacalna są złożone układy smarownicze.

Z tego zestawienia widać, że wyodrębniająca się grupa łożysk bezobsługowych ma zastosowania specjalne, w określonych wypadkach. Nie są więc te łożyska *konkurencyjne* dla łożysk smarownych konwencjonalnie, lecz stanowią ich uzupełnienie. Dobrze jest zdać sobie z tego sprawę i nie traktować łożysk bezobsługowych jako uniwersalne rozwiązanie, dobre we wszystkich wypadkach. Można wtedy uniknąć przykrych rozczarowań, wynikających z przeceniania, przereklamowanych czasami, łożysk bezobsługowych.

Rozwój łożysk bezobsługowych opiera się na przede wszystkim na rozwoju odpowiednich materiałów łożyskowych, zapewniających *samosmarowność*. Konstrukcja takich łożysk jest zazwyczaj pochodną stosownych w nich materiałów.

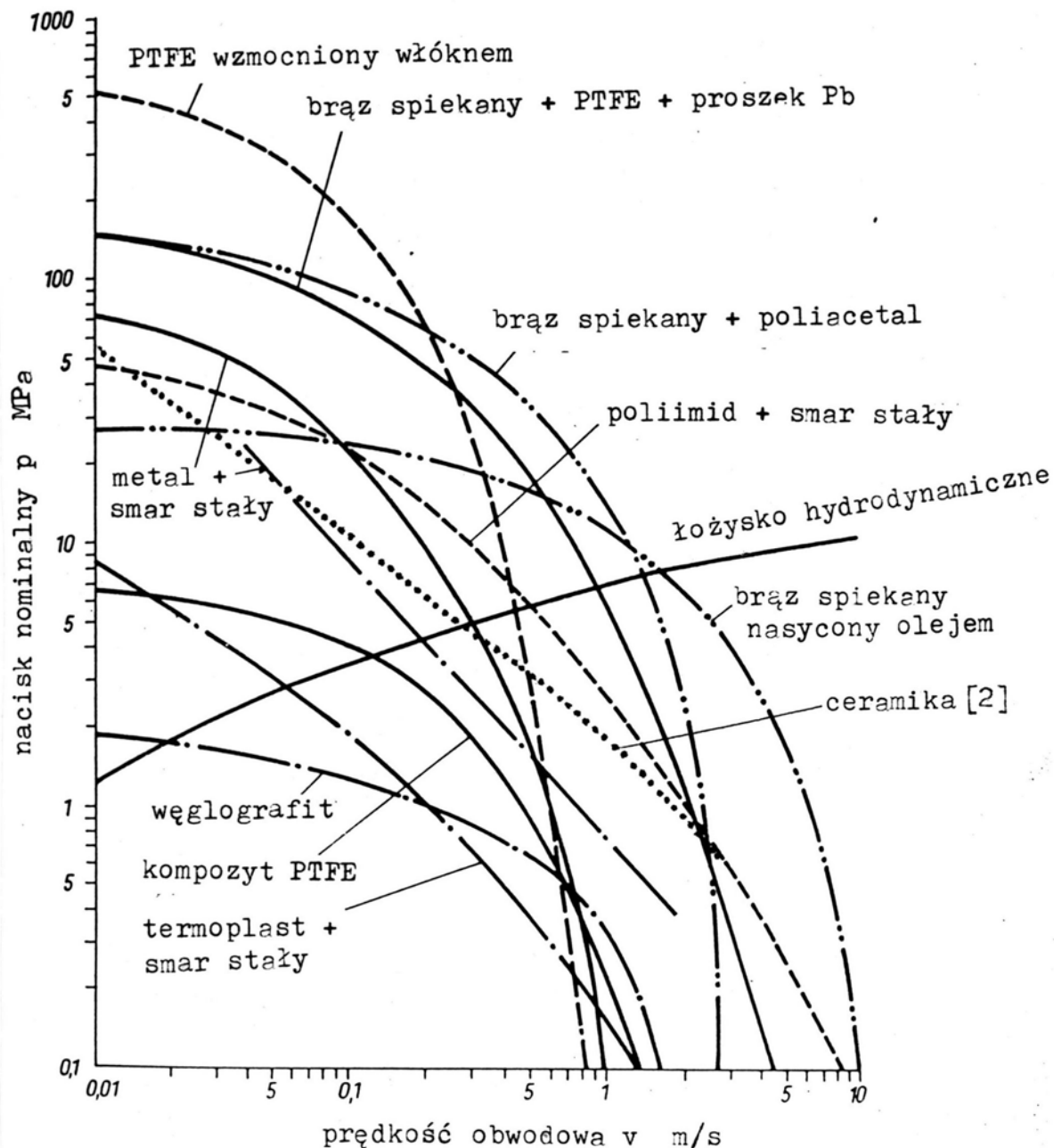
Stosowane obecnie materiały *samosmarawne* do łożysk bezobsługowych można podzielić na *olejowe i bezolejowe* (suche). Do grupy materiałów olejowych należą pormety nasycone olejem zaś do grupy materiałów suchych - polimery i ich kompozyty, węglografity, powłoki ze smarów stałych oraz materiały ceramiczne.

Na rysunku 3 zestawiono krzywe graniczne dla najczęściej spotykanych materiałów na łożyska bezobsługowe. Krzywe, naniesione w układzie współrzędnych $p-v$ (nacisk nominalny-prędkość względna czopa i panwi) przedstawiają dopuszczalne obszary obciążeń łożysk wykonanych z danych materiałów na łożyska bezobsługowe. Krzywe naniesione w układzie współrzędnych p_v (nacisk nominalny - prędkość względna czopa i panwi) przedstawiają dopuszczalne obszary obciążeń łożysk wykonanych z danych materiałów. Za kryterium obciążalności łożysk z tymi materiałami ślizgowymi przyjmuje się zazwyczaj graniczną temperaturę, obciążenie zatarcia i inne. Generalnie można powiedzieć, że powierzchnia pod tymi krzywymi zawiera te wartości par p oraz v , które zapewniają *bezpieczną* pracę łożyska. Trzeba jednak w tym miejscu uczynić pewne zastrzeżenie. Ze względu na poglądowy charakter wykresu i brak szczegółowych kryteriów określania krzywych na nim przedstawionych trzeba wartości tam podane traktować ostrożnie i w konstrukcji łożysk bezobsługowych korzystać raczej z danych doświadczalnych dla poszczególnych materiałów, dla których są podane dokładne warunki badań tych materiałów.

Abstrahując od szczegółowych wartości podanych na tym wykresie, można z niego odczytać następujące istotne spostrzeżenia:

- Obszar obciążalności przedstawionych materiałów zawiera się w granicach małych i średnich prędkości; jest to uwarunkowane niezbyt dużymi możliwościami odprowadzania ciepła.
- Obciążalność tych materiałów przy bardzo małych prędkościach jest stosunkowo duża i różnicuje się właśnie - w zależności od rodzaju materiału - dla bardzo małych prędkości.
- Naniesiona na wykresie linia nośności łożyska ślizgowego smarowanego hydrodynamicznie (dla średniego oleju), w porównaniu z pękiem krzywych nośności łożysk z materiałami *samosmarującymi* pokazuje wyraźnie obszar zastosowań tych materiałów: łożyska bezobsługowe z materiałami wymienionymi przykładowo na wykresie wypełniają obszar nacisków i prędkości w których łożyska hydrodynamiczne są mniej efektywne; chodzi przede wszystkim o łożyska działające przy małych i bardzo małych prędkościach. Jest to obok powodów wymienionych na wstępie tego punktu - jeszcze jeden powód stosowania łożysk bezobsługowych z materiałami *samosmarującymi*.

Samosmarowność materiałów stosowanych na łożyska bezobsługowe ma jeszcze jedną zaletę. Materiały z tą cechą, zastosowane w łożyskach smarownych konwencjonalnie, istotnie podwyższają ich niezawodność: w okresie niedosmarowania przeciwdziałają one ich zatarciu.



Rys. 3. Obciążalność materiałów stosowanych na łożyska bezobsługowe [1]

CHARAKTERYSTYKA MATERIAŁÓW NA ŁOŻYSKA BEZOBSŁUGOWE

Wśród materiałów zawierających w swej strukturze olej najszersze zastosowanie mają pomety żelazne i brązowe, nasycone różnymi gatunkami olejów. Olej zawarty w porach wydziela się podczas pracy łożyska wskutek różnicy rozszerzalności cieplnej matrycy metalowej i oleju. Podczas postoju olej ze szczeliny smarowej resorbuje się do porów ścianki łożyska. Łożyska tego rodzaju działają w umiarkowanych warunkach pracy: p_{max} od 3 do 5 MPa (zależnie od oleju) oraz $v_{max} = 5$ m/s. Iloczyn $p v$, charakteryzujący natężenie cieplne łożyska wynosi od 1,5 do 3 MPa m/s. W łożyskach tych na ogół nie dopuszcza się temperatury wyższej niż 80°C, ze względu na możliwość nadmiernego wydzielania się oleju i wyciekania z łożyska a także ze względu na jego przyspieszone starzenie.

Na trwałość tego rodzaju łożysk wpływają: przeciążenia, utrata oleju wskutek parowania (*efekt wentylacyjny* przy intensywnym przepływie powietrza przez łożysko), starzenie oleju. Łożyska z pormetów nie są odporne na obciążenia dynamiczne, szczególnie na uderzenia.

Tendencje rozwojowe łożysk z pormetów wynikają z potrzeby: zwiększenia nośności i zwiększenia trwałości. Zwiększenie nośności uzyskuje się przez wzmocnienie matrycy, dzięki zastosowaniu odpowiednich proszków i odpowiedniego procesu wytwórczego oraz przez sterowanie rodzajem porowatej struktury, zawierającej olej. Także dobór oleju ma istotne znaczenie na nośność tych łożysk. Zwiększenie trwałości uzyskuje się przez zwiększenie zapasu oleju w ścianie lub na zewnątrz niej, stosowanie oleju z inhibitorami utleniania a także zastosowanie odpornego na zużywanie materiału metalowej matrycy.

Zamiana oleju na smar stały, zawarty w porach pormetów stanowiła znaczący krok w rozwoju łożysk bezobsługowych. Materiały firmy Glacier, typu DU i DX cechują się kompozycją ślizgową w postaci porowatej matrycy, nasyconej policzterofluoroetylenem z proszkiem ołowiu DU lub poliacetalem z proszkiem ołowiu DX. Łożyska z materiału DX cechują się ponadto wgłębieniami na powierzchni roboczej, które zapełnia się przy montażu smarem plastycznym. Porównawcze badania obydwu tych materiałów, przeprowadzone w naszym laboratorium wykazały, że przy pracy bez dodatkowego smarowania łożyska z panewkami DX były znacznie lepsze od panewek DU. Badania prowadzono na łożysku o ruchu wahadłowym, przy nacisku 20 MPa i średniej prędkości ślizgania 0,006 m/s. Średnica łożyska wynosiła 40 mm, tyle samo jego długość a luz łożyskowy wynosił 1,25%. Po okresie wstępnego docierania współczynnik tarcia wykazywał następujące wartości: dla materiału DU - 0,09, dla materiału DX - 0,07. Po 60.000 cykli materiał DU wykazał zużycie 60pm natomiast materiał DX nie wykazał prawie żadnego zużycia.

Do grupy samosmarujących materiałów suchych (bezolejowych) zaliczają się: materiały oparte na polimerach, węglografity, powłoki i materiały ceramiczne.

Z podgrupy polimerów najszersze zastosowanie znalazły: policzterofluoroetylen (PTFE), poliamidy (PA), polioksymetyleny-poliacetale (POM) oraz rzadziej stosowane: polietyleny i poliwęglany. Ze względu na stosunkowo małą wytrzymałość stosuje się je albo w postaci kompozytów, wzmocnionych różnymi włóknami i proszkami (np. proszkami metalowymi ułatwiającymi odprowadzanie ciepła) albo jako smar stały - wypełniacz kompozytów metalowych (dotyczy to głównie PTFE).

Tarcie suche polimerów jest na ogół małe. Należy jednak mieć na uwadze, że ze względu na lepkosprężystość tych materiałów współczynnik tarcia bardzo silnie zależy od odkształcenia i histerezy sprężystej. W szczególności wartość tego współczynnika zależy od prędkości poślizgu. Tak np. PTFE wykazuje przy bardzo małych prędkościach i dużych naciskach współczynnik tarcia rzędu 0,05-0,10 ale przy dużych prędkościach jego wartość może wzrosnąć nawet do 0,3. Wypełnienie PTFE innym smarem stałym, np. dwusiarczkiem molibdenu, może skutecznie zmniejszyć tarcie w dużym zakresie poślizgu.

Obecnie zaznacza się intensywny rozwój kompozytów z użyciem polimerów. Tworzenie kompozytów wypełnianych, warstwowych oraz wypełnianych i warstwowych równocześnie - umożliwia dostosowanie tych materiałów do potrzeb łożyskowania bezobsługowego.

Obok wspomnianych polimerów termoplastycznych na materiały łożyskowe stosuje się żywice termoutrwalne, głównie jako lepiszcza różnych materiałów (np. tekstolitu, lignofolu, węglografitów itp.).

Węglografity - materiały samosmarujące stanowiące kompozycję węgla technicznego i grafitu oraz (zwykle) wypełniacza lub lepiszcza - stosuje się w warunkach specjalnych: w łożyskach bezobsługowych działających w wysokich temperaturach. Materiał ten cechuje się, oprócz dużej odporności na ciepło (odporność ta jest głównie uzależniona od lepiszcza), dobrą przewodnością cieplną, stosunkowo małą rozszerzalnością cieplną, opornością chemiczną i dobrami właściwościami ślizgowymi. Przy tarcu suchym współczynnik tarcia

o stal wynosi 0,1-0,3 zaś przy tarcii mieszanej 0,05-0,10. Dobre właściwości ślizgowe grafitu ujawniają się w obecności wody lub przynajmniej w wilgotnym otoczeniu. Wadą tych materiałów jest stosunkowo mała wytrzymałość. Rozwój węglografitów idzie w kierunku zwiększenia ich odporności cieplnej i wytrzymałości przez stosowanie odpowiednich rodzajów lepiszcza.

Powłoki ze smarów stałych, tworzone różnymi sposobami na powierzchniach elementów ślizgowych, także na panwiach lub czopach łożysk bezobsługowych, znajdują w ostatnich latach coraz szersze zastosowanie. Stosuje się przede wszystkim dwusiarczki molibdenu i dwusiarczki wolframu. Powłoki te cechują się dużą obciążalnością (cienka warstewka na pokładzie stalowym), możliwością stosowania dużych prędkości poślizgu (dobre przewodzenie ciepła, bo cienka powłoka). Odporność powłoki na ciepło zależy przede wszystkim od lepiszcza. Tendencje rozwojowe powłok samosmarnych polegają na doborze wytrzymałego cieplnie lepiszcza oraz poszukiwaniu rozwiązań konstrukcyjno-materiałowych zapewniających odpowiednią trwałość powłok i zabezpieczenie węzła tarcia przed awarią w wypadku zużycia lub przerwania powłoki.

Materiały ceramiczne, które ostatnio znajdują także zastosowanie w łożyskach ślizgowych cechują się przede wszystkim dużą obciążalnością i odpornością na zużycie a także odpornością cieplną. Najczęściej stosuje się spieki z tlenku aluminium A1203. Ze względu na swoją twardość materiał ten wymaga także dużej twardości czopa. W takim układzie łożyska z panwiami ceramicznymi mogą pracować na sucho, jednakże przy stosunkowo dużym współczynniku tarcia (0,85-0,55) przy prędkościach poślizgu w zakresie odpowiednio 0,5-4,5 m/s [2]. Natomiast w warunkach tarcia mieszane, przy smarowaniu olejem współczynnik tarcia do wartości 0,1-0,09 przy prędkości w zakresie 0,5-1,0 m/s. Interesujące są wyniki badań tarcia materiałów jednoimiennych A1203/A1203: na sucho współczynnik tarcia wynosił 1,09-1,06 ($v=0,5-1\text{m/s}$) ale przy smarowaniu wodą już tylko 0,06-0,03 ($v=0,5-3\text{ m/s}$) a przy smarowaniu olejem 0,06-0,02 ($v=0,5-1,0\text{ m/s}$). Na podstawie tych danych można konkludować, że stosunku do innych materiałów stosowanych na łożyska bezobsługowe-ceramika spełnia tylko warunek nośności i odporności cieplnej. Natomiast gorzej jest z przeciwciernością. Można ten materiał uznać raczej za przydatny do łożysk z ograniczonym dozorem niż na łożyska bez nadzoru.

PODSUMOWANIE

Cech charakterystyczną łożysk bezobsługowych jest materiał łożyskowy, zapewniający im samosmarowność. Materiał ten może być nasycony olejem bądź też posiadać w swej strukturze smar stały. Niektóre materiały łożyskowe (węglografity, powłoki przeciwcierne) są równocześnie środkami smarnymi.

Łożyska bezobsługowe mają rację bytu w określonych zastosowaniach, przede wszystkim tam, gdzie niemożliwe jest lub nieopłacalne stosowanie smarowania konwencjonalnego. Stanowią one uzupełnienie łożysk smarowanych konwencjonalnie w obszarach małych prędkości ślizgania i dużych nacisków.

Kombinacja łożyska smarowanego konwencjonalnie z użyciem materiałów *samosmarujących* jest szczególnie korzystna tam, gdzie materiał ten może zapewnić *przeżycie* awarii układu smarowniczego, tj. zastąpić chwilowo właściwe smarowanie.

Nośność łożysk bezobsługowych jest stosunkowo mała. Ograniczają ją: mały zapas środka (np. w łożyskach porowatych), mała odporność cieplna (np. materiałów opartych na tworzywach sztucznych), zużywalność (np. powłoki przeciwcierne). Ograniczenia te sprawiają, że większość współczesnych łożysk bezobsługowych, bez dodatkowego smarowania, może działać tylko w następujących zakresach: p_{\max} od 2 do 100 MPa przy $v \leq 50,01\text{ m/s}$, v_{\max} przy $p \leq 0,2\text{ MPa}$, $(pv)_{\max}$ od 1,5 do 2,0 MPa/ms-1.

Rozwój łożysk bezobsługowych i ich zastosowań będzie zależał od polepszenia własności materiałów *samosmarujących*, przede wszystkim zaś: wytrzymałości, odporności cieplnej, odporności na zużycie i właściwości ślizgowych.

LITERATURA

1. Evans, D.C., Senior, G.S.: Self-lubricating materials for plain bearings. *Tribology International*, 1982, nr 5, s. 243-248
2. Bartz, W.J. i inni: Selbstschmierende und wartungsfreie Gleitlager, *Expert herlag, Ehningen, 1993*

DRY SLIDING BEARINGS

SUMMARY

The author classifies bearings on the basis of the kind of lubrication applied to them. Special attention is paid to bearings that do not require lubricating working at low and very low velocities. What they do require, as far as their construction is concerned, is using special materials in the production of bush bearings. The values of capacity of such bearings are, predominantly, low. They are limited by: the margin of lubricating agent, low thermal resistance and extensive wear.

Recenzja: prof. dr hab. inż. Jan Burcan