

PROBLEMY NIEKONWENCJONALNYCH UKŁADÓW ŁOŻYSKOWYCH

Łódź, 15-16 maja 1997 r.

Andrzej Raczyński

Zakład Podstaw Konstrukcji Maszyn IKM Politechniki Łódzkiej

ŁOŻYSKOWANIA WIRNIKÓW PRZEPLYWOMIERZY TURBINOWYCH

SŁOWA KLUCZOWE

łożysko, gazomierz, moment tarcia.

STRESZCZENIE

W pracy są przedstawione specyficzne warunki pracy łożyskowań w przepływomierzach gazu a także wymagania stawiane tym łożyskowaniom. Następnie autor uzasadnia wybór określonego rodzaju łożysk, materiału z jakiego są wykonane te łożyska, czynnika smarowego i sposobu smarowania, rodzaju uszczelnień, luzu wewnętrznego, klasy dokładności a także konfiguracji układu łożyskowego.

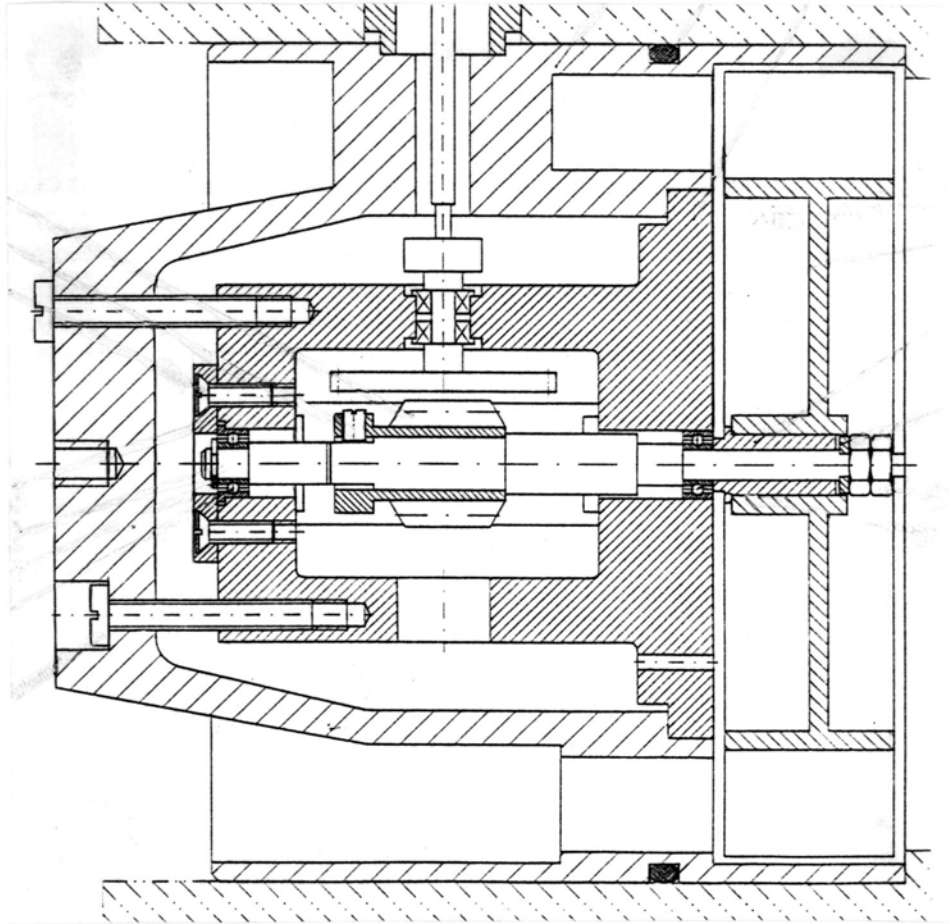
WARUNKI PRACY

Przepływomierze (gazomierze) turbinowe działają na zasadzie wykorzystania proporcjonalności prędkości obrotowej turbinki pomiarowej do wielkości strumienia objętości przepływającego gazu. Turbinka pomiarowa (osiowa) w postaci wirnika z kilkunastoma łopatkami jest ułożyskowana w korpusie omywanym przez przepływający gaz, jak to przedstawia rysunek 1. Z takiej zasady pomiaru wynika dominujący rodzaj obciążenia łożyskowania: jest to obciążenie osiowe o wartości zależnej od spadku ciśnienia na wirniku i wielkości wirnika. Spadek ciśnienia jest zależny od strumienia objętości, prędkości obrotowej wirnika i od konstrukcyjnych cech gazomierza; zwykle jest on rzędu 1 kPa przy największym możliwym strumieniu objętości w warunkach ustalonych.

Obciążenie promieniowe łożyskowania jest stosunkowo małe i wynika niemal wyłącznie z ciężaru ułożyskowanego zespołu (wirnik, wałek wirnika, kółko zębate lub ślimak, + ewentualnie element do pomiaru prędkości).

Prędkości obrotowe łożysk wirników osiągają wartości 4000 - 12000 obr/min, zależnie od wielkości turbinki. Są to prędkości odpowiadające maksymalnemu przepływowi gazu. Najmniejsze

prędkości nie są określone, ponieważ przepływ gazu przez gazomierz może zmniejszyć się do zera. Pewnym wskaźnikiem najmniejszej prędkości, przy jakiej należy oczekiwać płynnego biegu łożysk, jest zakresowość gazomierza, tzn. stosunek największego do najmniejszego mierzalnego przepływu. Według norm gazowniczych, zakresowość gazomierzy turbinowych może wynosić najwyżej 30.



Rys. 1. Łożyskowanie turbinki gazomierza

Warunki smarowania łożysk wirnika są niekorzystne, gdyż nie jest możliwe zastosowanie ani kąpieli olejowej (zbyt duże opory ruchu) ani cyrkulacji oleju (brak źródła energii). Z zasady stosuje się smarowanie okresowe przez ręczne wtlaczanie do węzłów łożyskowych oleju ze zbiorniczka zainstalowanego na gazomierzu.

Również pod względem czystości warunki pracy łożysk wirników gazomierzy są niekorzystne. Przepływający gaz niesie z sobą wiele zanieczyszczeń z rurociągów. Zanieczyszczenia te mogą trafiać do węzłów łożyskowych, chociaż dokonuje się takich zabiegów konstrukcyjnych, aby cyrkulacja gazu w mechanizmie turbiny omijała łożyska.

Zasadnicze wymagania, jakie są stawiane łożyskom gazomierzy, to: - wieloletnia trwałość,
- jak najmniejszy moment tarcia.

Pierwsze wymaganie jest oczywiste. Drugie wymaganie jest związane z charakterystyką błędu gazomierza: im mniejszy jest moment tarcia, tym bardziej proporcjonalna jest prędkość obrotowa wirnika do strumienia przepływającego gazu. Jest to szczególnie istotne przy małej prędkości obrotowej, gdy energia jaką utyskuje wirnik turbiny od przepływającego gazu przestaje wystarczać na pokonanie oporu łożysk.

WYBÓR RODZAJU ŁOŻYSK

Ze względu na mały moment tarcia w szerokim zakresie prędkości oraz prostotę montażu, najczęściej są stosowane miniaturowe łożyska kulkowe zwykłe. Dominujące w tym zastosowaniu osiowe obciążenie wałka nie jest najkorzystniejsze dla tego rodzaju łożysk, ale jest to uwzględniane przy obliczaniu trwałości. Ponadto odpowiedni dobór luzu łożyskowego może polepszyć warunki pracy tej grupy łożysk.

W przypadku szczególnie dużych obciążeń osiowych (np. w gazomierzach pracujących przy wysokim ciśnieniu) spotyka się zastosowanie łożysk kulkowych skośnych albo kulkowych wzdłużnych. Dużą niedogodnością tych rozwiązań jest jednak konieczność precyzyjnej regulacji luzu montażowego. Ponadto zastosowanie łożyska wzdłużnego wiąże się z tym, że w układzie łożyskowym znajdują się trzy łożyska, co wywołuje zwiększenie oporów ruchu. Jest to dopuszczalne tylko w dużych gazomierzach (o średnicy nominalnej > 200 mm), w których wirnik odbiera wystarczająco dużo energii od przepływającego gazu.

Czasem spotyka się w łożyskowaniach wirników gazomierzy rozwiązanie przeczące podstawowym regułom łożyskowania: zestawienie łożyska kulkowego skośnego z łożyskiem kulkowym zwykłym. Układ taki jest usprawiedliwiony jednokierunkową siłą osiową a cechuje się mniejszym momentem tarcia (przy starannej regulacji luzu łożyskowego) niż układ dwóch łożysk skośnych.

Niekiedy spotyka się takie konstrukcje łożyskowań, w których występują dwa łożyska kulkowe zwykłe oraz pojedyncza kulka ustawiona w osi wału i podpierająca jego tylne czoło. Przy zapewnieniu dobrego smarowania układ taki może odznaczać się małym momentem tarcia, ale spełnienie warunku dobrego smarowania w postaci zapewnienia ciągłego tarcia płynnego jest bardzo trudne.

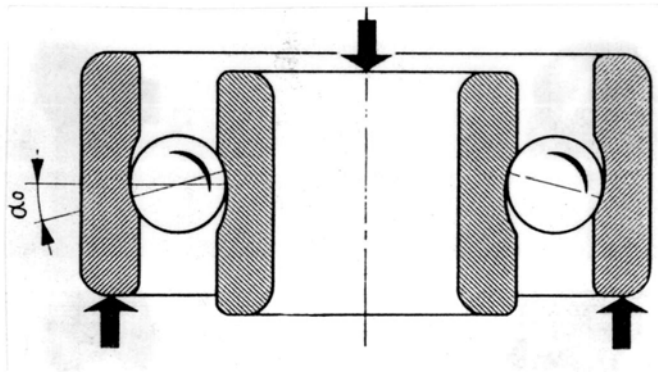
W niedawnym czasie wiązano pewne nadzieje z zastosowaniem w gazomierzach łożysk magnetycznych. Jednakże pewne cechy tego rodzaju łożysk są zbyt kłopotliwe w takim zastosowaniu. Po pierwsze - nieprecyzyjność osiowania wirnika przez łożysko magnetyczne prowadzi do zaburzenia symetrii przepływu gazu przez wirniki, co najczęściej pogłębia niecentryczność na zasadzie dodatniego sprzężenia zwrotnego. Po drugie - w łożyskach magnetycznych gromadzą się zanieczyszczenia ferromagnetyczne, niesione przez gaz płynący rurociągiem.

WYBÓR MATERIAŁU ŁOŻYSK, LUZU WEWNĘTRZNEGO I KLASY DOKŁADNOŚCI

Ze względu na liryiczny skład gazu (udział pary wodnej, niekiedy związki siarki) oraz konieczność długotrwałej pracy bez dobrej osłony olejowej, do budowy łożyskowań w gazomierzach wykorzystuje się łożyska wykonane ze stali nierdzewnej (AISI 440 C). Niektórzy wytwórcy łożysk z tej stali stosują dodatkowo pasywację pierścieni i kulek łożyskowych.

Do zastosowania w środowiskach szczególnie agresywnych chemicznie (np. instalacje biogazu) zaleca się łożyska kulkowe wykonane z materiałów ceramicznych.

Jeżeli do przeniesienia siły osiowej obciążającej wirnik jest wykorzystane łożysko kulkowe zwykłe, to powinno być to łożysko o dużym luzie wewnętrznym. Duży luz wewnętrzny umożliwia takie ustawienie kulek względem bieżni, że powstaje stosunkowo duży kąt działania łożyska, przez co ogranicza się wartość sił nacisku kulek na bieżnię (rys. 2). Dzięki temu uzyskuje się zmniejszenie momentu tarcia i zwiększenie trwałości łożyska.



Rys.2. Kąt działania łożyska kulkowego zwykłego z dużym luzem wewnętrznym obciążonego siłą osiową

Wybór klasy dokładności łożysk jest podyktowany dążeniem do osiągnięcia tzw. „czułości” łożyskowania, czyli możliwości płynnego ruchu obrotowego już przy małym momencie obrotowym i małej prędkości obrotowej. Im mniejszy strumień masy gazu, tym większa musi być czułość łożyskowania, toteż w małych gazomierzach turbinowych (o średnicy nominalnej < 200 mm) stosuje się łożyska klasy dokładności P4 (wg nomenklatury amerykańskiej ABEC 7P), zaś w większych gazomierzach - łożyska klasy PS (ABEC 5 P). Również nominalne ciśnienie instalacji ma wpływ na dobór klasy dokładności; przy dużym ciśnieniu ($p > 6$ MPa) spotyka się łożyska o klasie PS także w mniejszych gazomierzach.

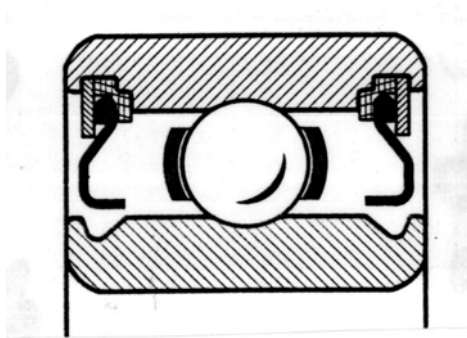
Przy doborze łożysk miniaturowych istnieje pewna dodatkowa możliwość, a mianowicie wybór między łożyskami o większej lub mniejszej liczbie kulek przy tych samych wymiarach łożyska. łożyska o większej liczbie kulek odznaczają się większą nośnością, ale mniejszą czułością i większym momentem tarcia.

SMAROWANIE I USZCZELNIENIE

Jak to już wcześniej zaznaczono, typowym sposobem smarowania gazomierzy jest smarowanie okresowe olejem za pomocą pompki z zaworem jednokierunkowym. Olej jest doprowadzany odpowiednimi kanałami do węzła łożyskowego i wpływa do łożyska, usuwając z niego resztki poprzedniej dawki oleju wraz z zanieczyszczeniami. Stosowane są oleje syntetyczne odznaczające się małą lepkością - rzędu kilkunastu mm^2/s przy 20°C . Mała lepkość jest podyktowana troską o mały moment tarcia łożysk. Z tego samego względu nie stosuje się smarów plastycznych.

Bardzo małe gazomierze, w których nie można pomieścić układu smarowania, są wyposażone w łożyska uszczelnione z fabrycznym zapasem oleju o odpowiedniej lepkości. Uszczelnienie jest z zasady bezstykowe - za pomocą osłon blaszanych (uszczelnienie stykowe wprowadziłoby zwiększony moment tarcia). Dobre wyniki daje też stosowanie uszczelnienia kapilarnego, oferowanego przez niektórych producentów. Jest to uszczelnienie bezstykowe z tak ukształtowanymi osłonami, że w szczelinie między osłoną a ruchomym pierścieniem tworzy się trwały film olejowy, zapobiegający wnikaniu zanieczyszczeń do łożyska (rys.3).

Typowe oleje do mechanizmów precyzyjnych (np. Isoflex PDP 10, Aeroshell-Fluid 12) mogą być stosowane do niemal wszystkich gazów podlegających pomiarowi. W nielicznych tylko wypadkach musi być zastosowany olej o innych właściwościach fizyczno-chemicznych; np. do tlenu stosuje się oleje niepalne.

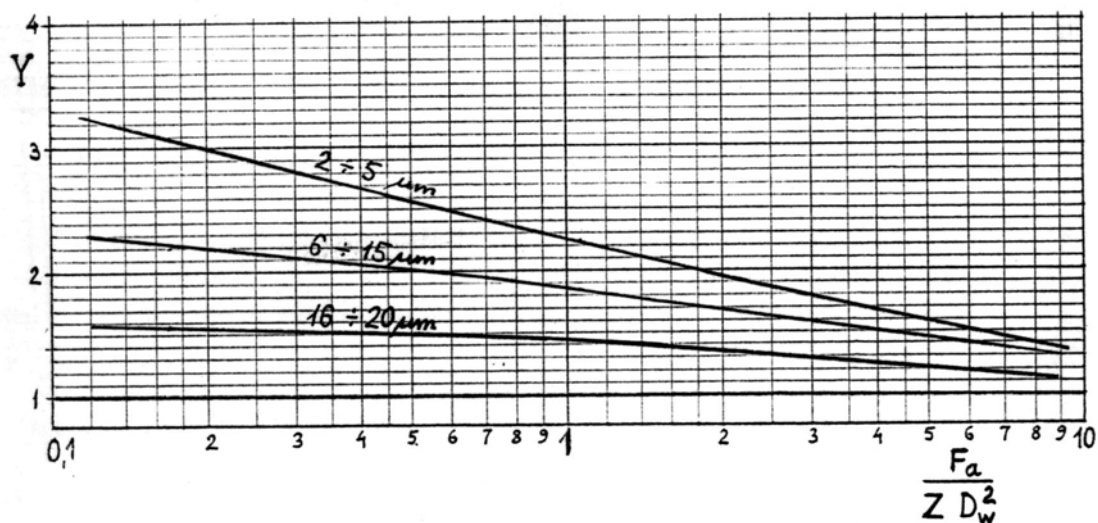


Rys.3. Kapilarne uszczelnienie łożyska [1]

DOBÓR WIELKOŚCI ŁOŻYSK MINIATUROWYCH KULKOWYCH DO OKREŚLONYCH WARUNKÓW

Wielkość łożyska dobiera się według ogólnych zasad ze względu na trwałość zmęczeniową lub nośność spoczynkową. Jedynym elementem odróżniającym te obliczenia od obliczeń dla łożysk kulkowych zwykłych jest sposób wyznaczania obciążenia zastępczego w przypadku złożonego stanu obciążenia, bowiem w łożyskach miniaturowych spotyka się różne współczynniki przylegania kulki do bieżni zależnie od serii łożysk, średnicy kulek a także zależnie od producenta. Im mniejszy jest ten współczynnik, tym mniejszy jest kąt działania łożyska przy określonym obciążeniu osiowym, czyli tym większe naciski kontaktowe przy porównywalnym obciążeniu. Ma to oczywisty wpływ na trwałość zmęczeniową łożyska. W obliczeniach należy posłużyć się wykresami współczynnika obciążenia zastępczego Y przedstawionymi w katalogach producentów w zależności od obciążenia osiowego, średnicy i liczby kulek oraz luzu promieniowego (np. [1], patrz rys. 4) lub w zależności od obciążenia osiowego, serii łożyska i nośności spoczynkowej (np. [2]).

W niektórych rodzajach gazomierzy, gdy siły obciążające łożysko w ruchu ustalonym są znacznie mniejsze od obciążeń chwilowych, decydująca o doborze łożyska okazuje się nie nośność ruchowa (związana z trwałością), ale nośność spoczynkowa.



Rys.4. Charakterystyki współczynnika Y dla łożysk firmy RMB

OBLICZANIE MOMENTU TARCIA

Ogólna metoda obliczania momentu tarcia, publikowana w katalogach łożysk tocznych (np. [3]) nie potwierdza się w odniesieniu do łożysk miniaturowych. Powodem jest to, że zjawisko drugo- lub trzeciorzędne w dużych łożyskach, nabierają pierwszorzędного znaczenia w skali łożysk miniaturowych (np. adhezja metali, napięcie powierzchniowe). Dobre wyniki w odniesieniu do łożysk kulkowych promieniowych i kulkowych skośnych, potwierdzone eksperymentalnie, daje wzór zaproponowany przez Kusznierewicza [4]:

$$M = 0,25 \cdot 10^{-7} \cdot v \cdot n \cdot (D_{wA} D_{zA} + D_{wB} D_{zB}) + b P_z$$

gdzie: v [mm^2/s] - lepkość kinematyczna oleju w temperaturze pracy, n [obr/min] - prędkość obrotowa łożyskowania,

D_w, D_z [mm] - średnice bieżni zewnętrznej i wewnętrznej kolejnych łożysk (A i B) układu,

b - współczynnik zależny od klasy dokładności łożysk:

dla klasy P4 $b = 0,002$,

dla klasy PS $b = 0,0025$,

P_z [N] - zastępcze obciążenie łożyskowania, obliczane zależnie od ilorazu osiowego i promieniowego obciążenia łożyska A (ustalającego) oraz kąta działania tego łożyska α_0

$$\begin{aligned} \text{jeśli } F_a/F_r < \alpha_0, & \text{ to } P_z = \sqrt{F_{rA}^2 + F_{aA}^2} + F_{rB} \\ \text{jeśli } F_a/F_r \geq \alpha_0, & \text{ to } P_z = F_{aA} / \sin \alpha_0 + F_{rB}. \end{aligned}$$

LITERATURA

1. Catalogue **RMB** nr H8E, Bienne/Suisse
2. FAG - Łożyska toczne, program podstawowy, katalog WL 41510/2 P 1A 3. SKF - General Catalogue 4000 / II E
4. Kusznierewicz Z.: Opory ruchu niedociążonych łożysk kulkowych o małych wymiarach. Praca doktorska, Politechnika Warszawska 1980.

BEARING SYSTEMS IN GAS RATE-OF-FLOW METERS

Summary

The paper presents peculiar conditions of the work of bearing systems in gas rate-of-flow meters as well as the requirements that the systems have to meet. The author presents the reasons for choosing the particular kind of bearings and the material they are made of, the lubricant and the way of lubricating, the kind of seals, inner clearance, the class of accuracy and the configuration of the bearing system.

Recenzent: Prof. dr inż. Zbigniew Lawrowski