

Oton Zahradnik

Instytut Mechaniki i Podstaw
Konstrukcji Maszyn

PORÓWNAWCZE BADANIA SKUTECZNOŚCI USZCZELNIEŃ LABIRYNTOWYCH ŁOŻYSK ORAZ
USZCZELNIEŃ ŁOŻYSK TYPU 2RS ORAZ ZZ

Streszczenie. W pracy przedstawiono założenia kryterialne oceny skuteczności działania uszczelnień, zapis konstrukcji i opis działania stanowiska oraz badanych uszczelnień, podstawowe obserwacje badań, wyniki badań, opracowanie wyników oraz wnioski.

Przedmiot badań

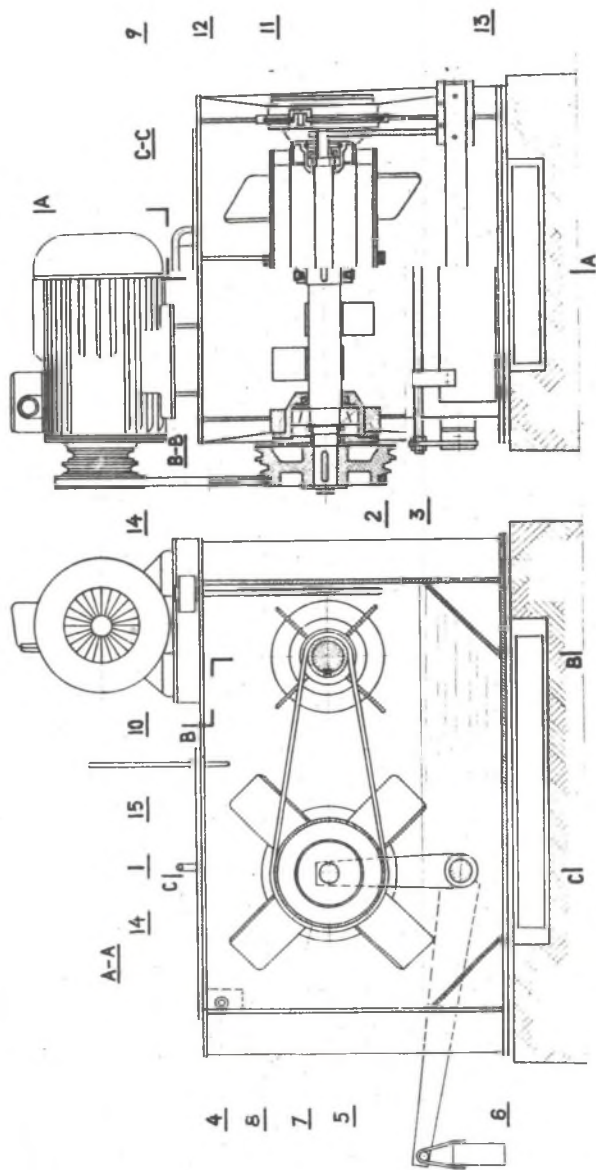
Praca wynikła w związku z propozycją przemysłu, aby zastąpić w konstrukcji krążników uszczelnienia labiryntowe uszczelnieniami łożysk typu 2RS lub ZZ. Zaistniała potrzeba przeanalizowania i porównania skuteczności uszczelnień łożysk typu 2RS oraz ZZ z uszczelnieniami labiryntowymi typu osiowego, zastosowanego w krążnikach produkcji Mikołowskiej Fabryki Maszyn Górniczych.

Badania obejmowały: opracowanie kryterium skuteczności działania uszczelnień, adaptację stanowisk badawczych, badania własne, opracowanie i analizę wyników oraz wniosków.

Metoda badań

Brak danych dotyczących sposobów badań skuteczności uszczelnień spowodował, że przyjęto kryterium oceny skuteczności uszczelnień uwzględniające głównie warunki eksploatacyjne krążników oraz możliwości pomiarowe stanowiska.

Jako kryterium oceny skuteczności uszczelnień łożysk przyjęto czas działania krążnika poddawanego działaniu pyłu węglowego do chwili jego zatarcia na stanowisku. Badania przeprowadzono w warunkach laboratoryjnych jako porównawcze. W celu skrócenia czasu badań, uszczelnienia łożysk poddawano działaniu pyłu w atmosferze o stężeniu zapylenia przekraczającym wielokrotnie stężenie występujące w warunkach ich normalnego zastosowania. Oceny skuteczności porównywanych uszczelnień łożysk dokonano na podstawie analizy wyników badań, opierając się na przyjętym kryterium. Analizę wyników przeprowadzono za pomocą statystyki matematycznej przez porównanie średniego czasu działania krążników, stosując metodę testu T.



Rys. 1. Postać konst. stanowiska do poddawania uszczelnień działaniu pyłu

Opis budowy i działania stanowiska

Uszczelnienia poddawano działaniu pyłu węglowego w komorze 1 (rys. 1) Pył wprawiany jest w ruch za pomocą łopatek 4, osadzonych na płaszczy obudowy krążnika 8 oraz łopatek 3, osadzonych na wałku pośrednim 2. Krążnik 9 wraz z obudową osadzony jest w ruchomych podporach. Pozwala to na dodatkowe obciążenie krążnika, niezależnie od ciężaru obudowy, przez naciąg pasków klinowych obciążnikami 6, zawieszonymi na dźwigni 5. Krążnik napędzany jest silnikiem asynchronicznym przez przekładnię paskowo-klinową, pozwalającą na zmianę prędkości obrotowej krążnika.

W celu dokładnego uchwycenia momentu zatarcia krążnika zastosowano układ elektryczny samoczynnie wyłączający silnik napędowy. Samoczynne wyłączenie zapewnia przekaźnik ciepłno-nadmiarowy typu PM-3, współpracujący ze stycznikiem typu MSM-O. W czasie zatarcia krążnika następuje wzrost momentu, co jest powodem pobierania większego natężenia prądu przez silnik. Wzrost natężenia prądu powoduje wychylenie płytek bimetalowych, przez co następuje wyłączenie silnika napędowego z sieci. Współpracujący z przekaźnikiem stycznik nie pozwala na ponowne samoczynne włączenie układu. Umożliwia to pomiar czasu poddawania krążnika działaniu pyłu za pomocą licznika czasu typu LG-s. Niezależnie od opisanego sposobu wyłączenia silnika, stanowisko wyposażono w termostat wyłączający silnik w przypadku przekroczenia określonej temperatury krytycznej, nie pozwalającej na prawidłowe działanie uszczelnień. Stanowisko wyposażone jest w urządzenie grzewcze, utrzymujące stałą temperaturę, za pomocą drugiego termostatu oraz autotransformatora. Do włączania oraz wyłączania układu zastosowano przyciski sterujące. Niezależnie od przedstawionego zadania zastosowany układ zabezpiecza jednocześnie silnik napędowy przed spalaniem w wypadku wyłączenia jednej fazy. Ponadto stanowisko wyposażono w aparaturę do pomiaru stężenia zapylenia.

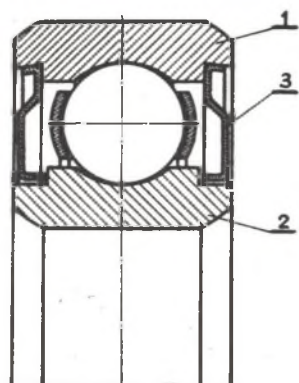
Opis badanych uszczelnień łożysk

a. Uszczelnienie łożysk typu ZZ

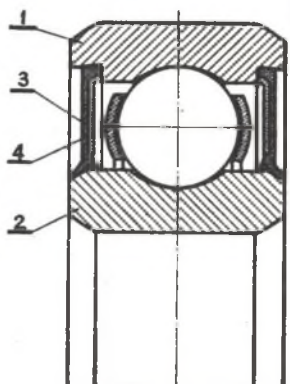
Postać konstrukcyjna łożyska z uszczelnieniem typu ZZ przedstawia rys. 2. Uszczelnienie typu ZZ można zaliczyć do uszczelnień stykowych czołowych. Uszczelnienie łożyska składa się z pokryw 3 wykonanych z blachy stalowej i osadzonych w rowkach stożkowych, wykonanych z obu stron pierścienia zewnętrznego łożyska 1. Osadzenie jest zrealizowane przez wykorzystanie sił sprężystości odpowiednio wytłoczonych pokryw. Styk pokryw ma miejsce na powierzchniach czołowych rowków walcowych wykonanych po obu stronach pierścienia wewnętrznego łożyska 2.

b. Uszczelnienie łożysk typu 2RS.

Postać konstrukcyjna łożyska z uszczelnieniem typu 2RS jest przedstawiona na rys. 3. Uszczelnienie typu 2RS można zaliczyć do uszczelnień sty-



Rys. 2 Postać konstrukcyjna uszczelnień łożyska typu ZZ

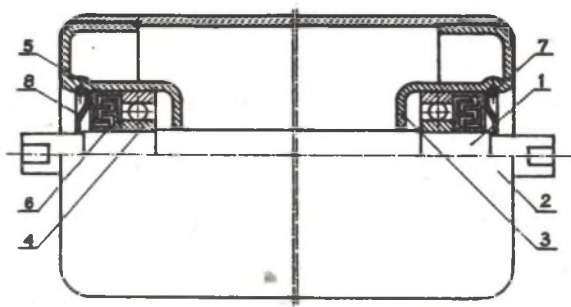


Rys. 3. Postać konstrukcyjna uszczelnień łożyska typu 2RS

kowych promieniowych. Uszczelnienie łożyska składa się z pokryw gumowych 3, wzmocnionych podkładką z blachy stalowej 4. Pokrywy są osadzone w rowkach stożkowych, wykonanych z obu stron pierścienia zewnętrznego łożyska 1. Styk pokryw ma miejsce na powierzchni przejściowej pomiędzy powierzchnią czołową oraz bieżnią pierścienia wewnętrznego łożyska 2.

c. Uszczelnienie łożysk typu labiryntowego

Postać konstrukcyjna uszczelnień labiryntowych jest przedstawiona na rys. 4 (pozycja 5 i 6). Uszczelnienie łożysk typu labiryntowego, w odróżnieniu od uszczelnień łożysk typu ZZ oraz 2RS, jest uszczelnieniem nie wchodzącym w skład elementów łożyska. Uszczelnienie składa się z pierścienia wewnętrznego 6, osadzonego na osi 1 krążnika oraz pierścienia zewnętrznego 5, osadzonego w obudowie łożyska 3. Pierścienie wykonane są z poliamidu. Uszczelnienie osadzone jest w krążniku w położeniu, w którym działaniu pyłu poddawana jest szczelina o małej średnicy. Takie położenie uszczelnień mają krążniki produkowane przez Mikołowskie Zakłady Budowy Maszyn Górniczych.



Rys. 4. Postać konstrukcyjna krążnika $\phi 108 \times 365$ prod. Zakł. Bud. Masz. Gór. w Mikołowie

d. Wszystkie typy uszczelnień są zabezpieczone od zewnątrz dodatkową pokrywą z blachy stalowej, osadzoną w obudowie łożyska 3 za pomocą sprężystego zabezpieczenia z drutu 7, Postać konstrukcyjna pokrywy jest przedstawiona na rys. 4.

Pomiar stężenia zapylenia

Pomiary stężenia zapylenia w stanowiskach przeprowadza się filtrem mierniczym. Pomiar polega na określeniu wagowej ilości pyłu znajdującego się w Nm^3 powietrza. Pył z powietrzem (aerozol) jest zasysany z komory zapylenia przez filtr za pomocą dmuchawy. Ilość powietrza przepływającego przez filtr mierzona jest rotametrem typu RS 331a. Zastosowano filtr mierniczy ze względu na: prosty sposób pomiarów i stosunkowo dużą porównywalność wyników. Ponieważ dotychczas nie udało się jeszcze stworzyć wzorca zapylenia, którego wartość bezwzględna byłaby znana i który gwarantowałby stałość stężenia zapylenia w czasie, dlatego zasadniczym celem pomiarów jest stwierdzenie, czy pomiędzy średnimi z serii pomiarów nie zachodzi istotna różnica na odpowiednim poziomie istotności. Pomiarów stężeń zapylenia w komorze dokonywano w sposób losowy. Niezależnie od pomiarów stężeń zapylenia kontrolowano jego stan wzrokowo. Na podstawie analizy i opracowania wyników za pomocą statystyki matematycznej przez porównanie średnich testem "T" nie stwierdzono istotnej różnicy pomiędzy średnimi z serii pomiarów stężeń zapylenia na poziomie istotności 0,1.

Podstawowe warunki badań

Badano uszczelnienia w krążnikach	ϕ 108 mm
Prędkość obrotowa pierścienia zewnętrznego uszczelnienia	580 obr/min.
Średnia prędkość obwodowa pierścienia zewnętrznego	1 m/sek.
Obciążenie krążnika	20 kG
Zastosowany smar w uszczelnieniu labiryntowym ŁT2 o penetracji po ugniataniu	220/25°C
Temperatura badań	30 ÷ 40°C
Zastosowane łożyska krążnika	6204
Średnie stężenie zapylenia	7,50 g/Nm^3

Charakterystyka pyłu węglowego:

Klasa ziarnowa	+ 0,2 mm	0,2 - 0,1	0,1 - 0,06	- 0,06
Udział w %	1,81	4,04	5,50	88,65

Do badań użyto pyłu węglowego z kopalni węgla kamiennego "GLIWICE" o gęstości $\rho = 1,28 \text{ g}/\text{cm}^3$.

Przyjęta hipoteza H_0

$$\bar{x}_1 = \bar{x}_2.$$

Hipotezą H_0 jest to, że próbki które dały średnie \bar{x}_1 i \bar{x}_2 przynależą do jednej populacji.

Wyrażenie na liczbę T_t do określenia istotnej różnicy między dwiema średnimi jest następujące:

$$T_t = \frac{|\bar{x}_1 - \bar{x}_2|}{\bar{s}(x) \left(\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right)^{\frac{1}{2}}},$$

gdzie

$\bar{x}_1; \bar{x}_2$ - wartości średnie,

$n_1; n_2$ - liczby pomiarów,

$\bar{s}(x)$ - łączne oszacowanie odchylenia standardowego.

Wyrażenie na łączne oszacowanie odchylenia standardowego:

$$\bar{s}(x) = \sqrt{\frac{\sum x_1^2 - \frac{(\sum x_1)^2}{n_1} + \sum x_2^2 - \frac{(\sum x_2)^2}{n_2}}{n_1 + n_2 - 2}},$$

gdzie

$$\sum x_i^2 = \sum x_i^2 - \frac{(\sum x_i)^2}{n_i}.$$

Wartości testu T_t wykazujące istotne różnice na odpowiednich poziomach istotności α pomiędzy porównywanymi typami uszczelnień

Porównywane typy uszczeln.	Obliczone wart. testu T_t	Wartości T_t z tablic	Poziom istot. α dla wart. T_t z tablic
ZZ - 2RS	1,604	1,372	0,2
ZZ - Lab.	3,567	3,169	0,01
2RS - Lab.	5,812	4,578	0,001

Celem określenia wpływu temperatury działania uszczelnień na ich skuteczność wyznaczono istotność jej wpływu.

Istotność korelacji pomiędzy czasem skutecznego działania uszczelnień a średnią temperaturą działania wyznaczono za pomocą współczynnika korelacji według zależności

$$r = \frac{\sum' x_i y_i}{(\sum' x_i^2 \cdot \sum' y_i^2)^{\frac{1}{2}}},$$

gdzie

$$\sum' y_i^2 = \sum y_i^2 - \frac{(\sum y_i)^2}{n_i}$$

$$\sum' x_i y_i = \sum x_i y_i - \frac{\sum x_i \sum y_i}{n_i}$$

Wartości współczynnika korelacji r oraz poziomy ich istotności α

Typ uszczel.	Oblicz.wart. współcz. r korel.	Wartość r z tablic	Poziomy istotności α odpow. wart. f z tablic
ZZ	- 0,879	0,811	0,05
2RS	- 0,667	0,606	0,20
lab.	- 0,780	0,729	0,10

Omówienie badań

Duży rozrzut wyników należy tłumaczyć stochastycznym charakterem struktury geometrycznej uszczelnień. Mimo rozrzutu uzyskane wyniki wykazują w sposób jednoznaczny istotną różnicę pomiędzy średnimi z okresów działania krążników z badanymi uszczelnieniami łożysk. Na podstawie badań stwierdzono, że krótsze okresy skutecznego działania uszczelnień łożysk typu ZZ i 2RS w stosunku do uszczelnień typu labiryntowego są spowodowane wnikaniem pyłu, w przypadku:

- uszczelnień łożysk typu ZZ przez szczelinę, wytworzoną w miejscu niedokładnego styku osłony blaszanej z wewnętrznym pierścieniem łożyska;
- uszczelnień łożysk typu 2RS przez szczelinę wytworzoną w wyniku wytarcia, pęknięć, wykruszeń lub odstawania przyłg osłon z gumy,
- uszczelnień labiryntowych poprzez szczelinę labiryntu.

Ziarna pyłu wnikające do wnętrza labiryntu i łożysk osadzają się na skutek sił adhezji w smarze, tworząc mieszaninę smaru i pyłu. Wzrost ilości pyłu w smarze powoduje wzrost objętości i gęstości mieszaniny. Działanie pyłu oraz wyparowywanie oleju ze smaru w wyniku podwyższonej temperatury jest powodem stopniowego zagęszczania się mieszaniny. W następstwie występuje wzrost oporu elementów tarcznych, powodując dalszy wzrost temperatury. W wyniku takiego działania po pewnym okresie czasu tworzą się suche warstwy spieczonej mieszaniny smaru i pyłu na powierzchniach we-

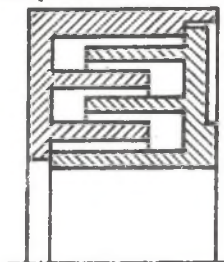
wewnętrznych pierścieni łożysk oraz w przypadku uszczelnień labiryntowych także w labiryncie. Występujące drgania oraz naciski powodują pęknięcia i wykruszanie się mieszaniny. Wytworzone grudki i odpryski spieczonej i rozwałcowanej mieszaniny powodują zablokowanie elementów tocznych. Zatarcie następuje z braku możliwości usunięcia grudek i odprysków z bieżni przez elementy toczne, ze względu na ograniczoną pokrywami objętość łożyska.

W przypadku zastosowania uszczelnień labiryntowych tego rodzaju proces zatarcia łożysk jest mniej prawdopodobny. Tylko w jednym przypadku na 36 możliwych stwierdzono ślady obrotów pierścienia wewnętrznego łożyska względem wałka.

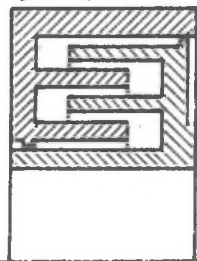
Nie stwierdzono natomiast śladów obrotów pierścienia zewnętrznego łożyska względem gniazda krążnika, jak również pierścieni uszczelnień labiryntowych względem wałka i gniazda. Wskazuje to na właściwy dobór pasowania łożysk i pierścieni uszczelnień labiryntowych, zarówno na pierścieniach wewnętrznych jak i zewnętrznych.

Dokonane obserwacje jak i wyznaczone poziomy istotności korelacji wskazują, że im wyższa temperatura, tym skuteczność uszczelnień maleje.

W celu powiększenia skuteczności dotychczas stosowanych uszczelnień labiryntowych zaleca się zwiększyć długość labiryntu, poprzez zwiększenie szerokości uszczelnień oraz zastosować przyłgi osiowe lub promieniowe, zmniejszające miejscową szerokość szczeliny na wlocie i wylocie labiryntu. Proponowane zalecenia przedstawiają rys. 5 i 6.



Rys. 5. Postać konstrukcyjna uszczelnienia labiryntowego z przyłgami osiowymi



Rys. 6. Postać konstrukcyjna uszczelnienia labiryntowego z przyłgami promieniowymi

Zalecenie wynika z przeprowadzonych poprzednio badań wpływu postaci konstrukcyjnej na skuteczność uszczelnień labiryntowych (2), które wykazały, że ziarna mniejsze od pewnej zastępczej średnicy granicznej mają tendencję do przemieszczania się w kierunku przeciwnym do kierunku działania siły odśrodkowej. Wypełniający labirynt smar ogranicza ilość i wielkość wchodzących do wnętrza uszczelnienia ziarn pyłu. Ograniczone w przeważającej części pod względem ilości i wielkości ziarna (w przypadku zastosowanego położenia wlotu szczeliny labiryntu, poddawanego działaniu pyłu umiejscowionego na średnicy mniejszej) nie mają tendencji do wnikania w głąb labiryntu. Zastosowanie miejscowych przyłg ogranicza zarówno wy-

plyw smaru z uszczelnień, jak również wnikanie pyłu, różnego co do wielkości i ilości ziarn. Ze względu na szybkie wytarcie przylg wskutek ich małych powierzchni zastosowanie przylg nie powinno dopuścić do zatarcia uszczelnień w przypadku zmiany ich objętości.

Wnioski oraz zalecenia konstrukcyjne

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz dokonanej analizy wyników stwierdzono:

- uszczelnienia labiryntowe wykonane z poliamidu posiadają istotnie większą skuteczność działania w stosunku do uszczelnień łożysk typu ZZ i 2RS na poziomie istotności $\alpha = 0,01$, natomiast nie ujawniono różnic w skuteczności działania pomiędzy uszczelnieniami łożysk typu ZZ i 2RS na obranym poziomie istotności;
- nie stwierdzono także śladu zatarcia pomiędzy pierścieniami uszczelnień labiryntowych, badanych w zakresie temperatur od 30 do 40°C;
- pasowanie łożysk, jak również pierścieni uszczelnień labiryntowych należy uznać za właściwe;
- im wyższa temperatura pracy łożyska, tym mniejsza skuteczność działania uszczelnień.

W celu polepszenia jakości działania łożysk zaleca się:

- stosować uszczelnienia labiryntowe jako uszczelnienia łożysk krażników;
- zwiększyć długość labiryntu przez zwiększenie szerokości uszczelnień;
- zastosować przylgi osiowe lub promieniowe zmniejszające szerokość szczelin na wlocie i wylocie labiryntu;
- stosować takie położenie uszczelnień labiryntowych, aby wlot szczeliny labiryntu poddawany działaniu pyłu znajdował się na średnicy mniejszej.

LITERATURA

1. W.Volk: Statystyka stosowana dla inżynierów, WNT, Warszawa 1965.
2. O. Zahradnik: Opływ cech konstrukcyjnych na skuteczność uszczelnień labiryntowych łożysk. Zeszyt nr 1/35 Instytutu Mechaniki i Podstaw Konstrukcji Maszyn, Gliwice 1971.

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ДЕЙСТВИИ ЛАБИРИНТНЫХ УПЛОТНЕНИИ
И УПЛОТНЕНИИ ТИПА ZSR И ZZ ЛАРИ КОМОДЛИН, КОВ

Р е з ю м е

В статье представлено критерии оценки результативности действия уплотне-
нии, конструкторские чертежи, опис действия стандов испытываемых уплотнении
основные наблюдения исследовании а также обработку результатов и предло-
жения.

COMPARATIVES INVESTIGATIONS THE EFFICENCY OF LABYRINTH SEALS OF
BEARINGS AND SEALS OF BEARINGS TYPE ZRS AND ZZ

S u m m a r y

The paper represents a method of estimate efficiency operations of
seals. Besides drawings and the description of the construction of tes-
ting station and of the investigated seals, the testing conditions, fun-
damental obserwations, results of the tests, analiyse results, final con-
clusions and constructional recommendations.