



Problematyka uszczelnień w procesach B+R nad innowacyjnymi wielkogabarytowymi łożyskami wieńcowymi

The problem of sealing in R&D processes involving innovative large-size gear bearings

(1) Stanisław Ziółkiewicz¹, (2) Witold Połec¹, (3) Jan Suroń², (4) Janusz Łyczko², (5) Roman Barwiński², (6) Radosław Chorzępa², (7) Agnieszka Szumierz²

¹ Instytut Obróbki Plastycznej, ul. Jana Pawła II 14, 61-139 Poznań, Poland

² Przedsiębiorstwo Produkcyjno-Usługowo-Handlowe „INTERMECH” Sp. z o.o., ul. Przemysłowa 9b, 37-450 Stalowa Wola, Poland

Informacje o artykule

Zgłoszenie: 2.06.2017

Recenzja: 27.06.2017

Akceptacja: 15.12.2017

Wkład autorów

- (1) Koncepcja, założenia i metodyka badań, nadzór nad badaniami, przygotowanie manuskryptu
- (2) Metodyka prac, koncepcja uszczelnień, konstrukcja oprzyrządowania
- (3) Koncepcja, założenia i metodyka badań, nadzór nad badaniami, przeprowadzenie badań
- (4) Przeprowadzenie badań, redakcja manuskryptu
- (5) Metodyka prac, nadzór nad badaniami, przeprowadzenie badań, redakcja manuskryptu
- (6) Przeprowadzenie badań, redakcja manuskryptu
- (7) Przeprowadzenie badań, redakcja manuskryptu

Streszczenie

W artykule przedstawiono wyniki prac badawczych i rozwojowych dotyczących uszczelnienia wielkogabarytowego łożyska wieńcowego, realizowanych w ramach projektu Programu Operacyjnego Innowacyjny Rozwój, Działanie 1.1.1. pt. „Prace B+R nad innowacyjnymi wielkogabarytowymi łożyskami wieńcowymi na bazie lekkich materiałów konstrukcyjnych”. Problem uszczelnienia łożysk wieńcowych ściśle powiązany jest z problematyką zagwarantowania odpowiedniej żywotności łożyska. Uszczelnienia z jednej strony mają za zadanie utrzymanie smaru wewnątrz układu łożyska i zapobieganie jego wydostaniu się na zewnątrz – zanieczyszczeniu środowiska. Z drugiej strony zadaniem uszczelnienia jest zapobieganie przedostawaniu się błota i wody do środka łożyska, będącymi najczęściej przyczyną szybkiego uszkodzenia łożyska. W przypadku małych średnic istnieje wiele firm oferujących uszczelnienia, specjalizujących się w doborze kształtu, materiału uszczelnienia i wielkości siły docisku. Problem powstaje w przypadku wielkogabarytowych pierścieni uszczelniających, dla których brak wytycznych projektowania i doboru siły docisku wargi uszczelki do powierzchni uszczelnianej. W artykule przedstawiono wymagania stawiane wielkogabarytowemu łożysku i analizę wpływu uszczelnienia na pracę łożyska. Stwierdzono, że istotnym z punktu widzenia projektowania uszczelnienia, jest wyznaczenie prawidłowej siły przylegania do powierzchni uszczelniania. Odpowiedni dobór siły docisku uszczelki jest kompromisem pomiędzy stratami spowodowanymi oporem tarcia a skutecznością uszczelnienia. Dla wyznaczenia optymalnej wartości siły docisku uszczelnienia dla projektowanego wielkogabarytowego łożyska wieńcowego zaproponowano metodykę badań oraz opracowano specjalne stanowisko badawcze.

Słowa kluczowe: wielkogabarytowe łożysko wieńcowe, uszczelnienie, projektowanie, projekt, materiał uszczelnienia, parametry pracy

Article info

Received: 2.06.2017

Reviewed: 27.06.2017

Accepted: 15.12.2017

Authors' contribution

- (1) Concept, assumptions and methodology, research supervision, manuscript preparation

Abstract

This article presents the results of research and development work concerning sealing of a large-size gear bearing, performed within the framework of the Smart Growth Operational Programme, Measure 1.1.1. titled “R&D work on innovative large-size gear bearings based on light structural materials”. The problem of seals in gear bearings is strictly related to the problem of ensuring the proper bearing lifetime. On one hand, seals are tasked with keeping lubricant inside of the bearing's system and preventing its escape to the outside and environmental pollution. On the other hand, seals serve the function of preventing penetration of mud and water into the interior of the bearing,

* Autor do korespondencji. Tel.: +48 61 657 05 55; fax: +48 61 657 07 21; e-mail: stziolk@inop.poznan.pl

* Corresponding author. Tel.: +48 61 657 05 55; fax: +48 61 657 07 21; e-mail: stziolk@inop.poznan.pl

- (2) Methodology, concept of sealing, design of equipment
- (3) Concept, assumptions and methodology, research supervision, testing
- (4) Testing, manuscript editing
- (5) Methodology, research supervision, testing, manuscript editing
- (6) Testing, manuscript editing
- (7) Testing, manuscript editing

which is the most frequent cause of rapid bearing damage. In the case of small diameters, there are many companies that offer seals and specialize in selection of the shape and material of the seal and pressing force value. However a problem arises in the case of large-size ring seals, for which there is a lack of guidelines for designing and selection of the pressing force applied to the seal lip to press it down onto the sealed surface. This article presents the requirements posed towards a large-size bearing as well as an analysis of the influence of sealing on the bearing's operation. It was stated that determination of the proper force of adhesion to the sealed surface is significant from the perspective of sealing design. Proper selection of the seal's pressing force is a compromise between losses due to friction and the effectiveness of sealing. Test methodology was proposed and a special testing station was developed to determine the optimal value of seal pressing force for the designed large-size gear bearing.

Keywords: large-size gear bearing, sealing, design, project, sealing material, operating parameters

1. WSTĘP

Lekkie wielkogabarytowe łożyska wieńcowe (LWŁW) są szczególnymi wyrobami w grupie produktów określanymi ogólnie mianem łożysk. Wyróżniają się tym, że są projektowane i produkowane pod konkretne przeznaczenie, a w wielu przypadkach muszą spełniać ponadstandardowe wymagania, wynikające z potrzeby zapewnienia odpowiednich parametrów eksploatacyjnych produktu finalnego. W procesie projektowo-wykonawczym tego typu konstrukcji często nie ma możliwości zastosowania standardowych rozwiązań, co powoduje, że wszystkie zagadnienia techniczne muszą być rozwiązywane przez multidyscyplinarne zespoły inżynierów specjalizujących się w procesach projektowania, wytwarzania i badania prototypów.

W niniejszym artykule zaprezentowano wyniki badań realizowanych przez P.P.H.U. „INTERMECH” Sp. z o.o. w Stalowej Woli w ramach projektu dotyczącego innowacyjnego wielkogabarytowego łożyska wieńcowego. Obejmują one częściowy obszar projektowania i badania dotyczące skutecznego uszczelnienia wielkogabarytowego łożyska przed wpływem warunków atmosferycznych.

2. DEFINICJA PROBLEMU

Celem realizacji projektu pt. „Prace B+R nad innowacyjnymi wielkogabarytowymi łożyskami wieńcowymi, na bazie lekkich materiałów

1. INTRODUCTION

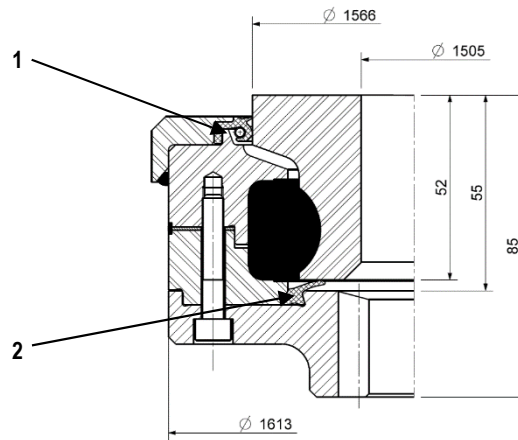
Light, large-size gear bearings (LLGB) are special products in the group of products generally termed bearings. They are distinguished by the fact that they are designed and manufactured for a specific purpose, and in many cases, they must meet above-standard requirements arising from the need to ensure the proper operating parameters of the final product. In the process of designing and manufacturing constructions of this type, it is often not possible to apply standard solutions, which means that all technical issues must be solved by interdisciplinary teams of engineers specializing in prototype designing, manufacturing and testing processes. This article presents the results of studies conducted by P.P.H.U. „INTERMECH” Sp. z o.o. in Stalowa Wola as part of a project concerning an innovative, large-size gear bearing. These studies cover the part of designing and testing concerning effective sealing of the large-size bearing against the influence of weather conditions.

2. DEFINITION OF THE PROBLEM

The goal of the project titled “R&D work on innovative large-size gear bearings based on light

konstrukcyjnych, jest opracowanie innowacyjnego łożyska wieńcowego o wymiarach przedstawionych na rys. 1.

structural materials” is to develop an innovative gear bearing of the dimensions presented in Fig. 1.



Rys. 1. Przekrój lekkiego wielkogabarytowego łożyska wieńcowego:

1 – pierścień uszczelniający zewnętrzny, 2 – pierścień uszczelniający wewnętrzny

Fig. 1. Cross-section of light large-size gear bearing: 1 – exterior ring seal, 2 – interior ring seal

Łożysko zabudowane będzie w urządzeniu stojącym na wolnym powietrzu i ma spełnić następujące parametry środowiskowych warunków pracy:

- zakres temperatur pracy: od -30 do +70°C;
- temperatura przechowywania: -40°C;
- prędkość obrotowa łożyska: 10 obr/min;
- odporność na:
 - smary stałe,
 - wodę i powietrze do temperatury +100°C,
 - środki odkażające na bazie alkoholu,
 - środki myjące i odtłuszczające o odczynie kwasowym i zasadowym;
- zapylenie powietrza ~ 5 g/m³ max 15h pracy;
- długotrwałe przechowywanie na wolnym powietrzu – min. 12 miesięcy;
- poprawna praca między wymianą uszczelnień – 5 000 h.

Ponadto, łożysko zabudowane jest na konstrukcji podatnej na obciążenie znaczną siłą osiową i promieniową. Z analizy obciążeń konstrukcji urządzenia wynika, że przy maksymalnych dopuszczalnych chwilowych obciążeniach konstrukcji, łożysko może ulec odkształceniom sprężystym dochodzącym do kilku milimetrów. To sprawia, że konstrukcja łożyska i uszczelnienia muszą gwarantować skuteczną ochronę

The bearing will be installed in a machine standing outdoors and is to meet the following environmental operating parameters:

- *working temperature range: from -30 to +70 °C;*
- *storage temperature: -40 °C;*
- *bearing revolutions: 10 rpm;*
- *resistance to:*
 - *solid lubricants,*
 - *water and air up to a temperature of +100 °C,*
 - *alcohol-based disinfectants,*
 - *cleaning and degreasing agents with acid and base reactions;*
- *air dustiness ~ 5 g/m³ over a maximum of 15h of work;*
- *long-term storage outdoors – at least 12 months*
- *correct operation between seal changes – 5,000 h.*

Moreover, the bearing is installed on a construction susceptible to load under large axial and radial force. Analysis of the loads acting on the machine’s structure shows that, at maximum tolerable instant loads on the structure, the bearing may undergo elastic deformations reaching up to several millimeters. This means that the construction of the bearing and sealing must guarantee effective protection of rolling elements.

elementów tocznych. Jednocześnie dobór materiałów na uszczelnienie musi chronić przed uszkodzeniem podczas znacznych odkształceń łożyska w niskich (ujemnych) i wysokich temperaturach pracy. Od skuteczności uszczelnienia zależy trwałość łożyska, a w omawianym przypadku wynosi ona min. 30 lat.

Problem uszczelnienia układów obrotowych o małych gabarytach (do 300 mm) jest łatwiejszy do rozwiązania, ze względu na fakt, że na rynku istnieje wielu producentów i dystrybutorów znormalizowanych zestawów uszczelniających. W takich przypadkach konstruktor, znając warunki oraz parametry pracy łożyska, może z katalogu dobrać uszczelnienie, zapewniając wymagane warunki zabudowy konstrukcji. Zdecydowanie trudniejsza jest sytuacja w przypadku uszczelnienia układów obrotowych o dużych gabarytach. W takim przypadku, wszystkie problemy techniczne, od zaprojektowania do wykonania wyrobu gotowego, producent łożyska musi rozwiązywać we własnym zakresie.

3. ZAŁOŻENIA DO PROJEKTU USZCZELNIENIA ŁOŻYSKA WIELKOGABARYTOWEGO

Ważnym zadaniem prac konstrukcyjnych dotyczącym łożyska wielkogabarytowego jest zaprojektowanie uszczelnienia osłaniającego układ toczny łożyska o wymiarach i geometrii jak na rys. 1. Prawidłowe uszczelnienie zapewniają dwa wielkogabarytowe pierścienie uszczelniające o różnych wymiarach i kształtach geometrycznych – zewnętrzny 1 i wewnętrzny 2.

Ze względu na bardzo duże gabaryty części uszczelniających przyjęto założenie, że uszczelnienia powinny być wykonane z półfabrykatów sznurowych o odpowiednich kształtach geometrycznych, z materiałów spełniających założone warunki techniczne. W kolejnej fazie procesu należy wykonać pierścienie o wymiarach zapewniających skuteczne uszczelnienie, aby nie nastąpił znaczny wzrost oporów tocznych łożyska. Zgodnie z informacjami [1] straty oporu tarcia dla łożysk o średnicy 200 mm dochodzą do 350 W, przy prędkości obrotowej 12 obr/min.

At the same time, the materials selected for sealing must protect against damage during significant deformations of the bearing at low (negative) and high working temperatures. The lifetime of the bearing depends on the effectiveness of the sealing, and in the case under consideration, the lifetime is at least 30 years.

The problem of sealing revolving systems with small overall dimensions (up to 300 mm) is easier to solve due to the fact that there are many manufacturers and distributors of standardized sealing sets on the market. In such cases, the designer can select seals from a catalogue if they know the operating conditions and parameters of the bearing, thus ensuring the required conditions of installation. The situation becomes decidedly more difficult in the case of sealing revolving systems with large overall dimensions. In this case, all technical problems, from designing to manufacturing of the ready product, must be solved independently by the bearing's manufacturer.

3. ASSUMPTIONS FOR SEALING DESIGN OF LARGE-SIZE BEARING

An important part of designing work concerning a large-size bearing is to design sealing that shields the bearing's rolling system, with dimensions and geometry as in Fig. 1. Proper sealing is ensured by two large-size ring seals with different dimensions and geometrical shapes – exterior ring 1 and interior ring 2.

Due to the very large size of sealing parts, it was assumed that seals are to be made from semi-finished cord products of the appropriate geometrical shapes, from materials meeting the assumed technical conditions. In the next phase of the process, rings with dimensions ensuring effective sealing are to be made, so that a significant increase of the bearing's rolling friction does not occur. According to information [1], friction losses for bearings with a diameter of 200 mm reach up to 350 W at revolutions of 12 rpm. Friction is affected by factors such as: seal-

Wpływ na opór tarcia mają takie czynniki, jak: konstrukcja i materiał uszczelnienia, siły zacisku sprężyny, temperatura, prędkość obrotowa, konstrukcja wału i rodzaj smaru [1]. Dobór siły przylegania uszczelnienia do powierzchni stanowi kompromis pomiędzy skutecznością uszczelnienia a wywołanymi oporami tarcia. W literaturze nie znaleziono wytycznych do projektowania uszczelnień dla wielkogabarytowych układów obrotowych. Należy przypuszczać, że wiedza ta stanowi *know-how* wyspecjalizowanych firm oferujących rozwiązania uszczelnień specjalnych.

W procesie projektowania i produkcji uszczelnienia w ramach realizowanego projektu bazowano na informacjach zawartych w opracowaniu WW Projekt pt. „Pierścienie uszczelniające wałki obrotowe typu Simmering” [2] oraz materiałów reklamowych producentów uszczelnień standardowych [1–4].

Przeprowadzono analizę teoretyczną różnych parametrów technicznych pod względem zapewnienia skuteczności działania uszczelnienia, przy założonych warunkach eksploatacji łożyska. Jednym z istotnych elementów w pierwszej fazie projektowania było rozeznanie polskiego rynku w zakresie możliwości pozyskania różnych materiałów na uszczelnienia, ich własności oraz możliwości techniczno-produkcyjnych producentów krajowych. Uznano ponadto, że dla prawidłowego zaprojektowania geometrii i wymiarów uszczelnienia niezbędne jest wykonanie badań przemysłowych na specjalnym stanowisku badawczym, w celu ustalenia właściwego doboru napięcia krawędzi warstwy uszczelniającej, w zależności od zmiany oporu toczenia. Zaplanowano, że badania te będą wykonane w firmie P.P.H.U. „INTERMECH” Sp. z o. o. Artykuł przedstawia prace wykonane na obecnym etapie realizacji projektu.

4. PIERŚCIEŃ 1 – USZCZELNIENIE ZEWNĘTRZNE

Przy uszczelnieniu łożyska od strony zewnętrznej występuje typowy przykład uszczelnienia wałka obrotowego o dużej średnicy. Zatem

ing design and material, spring clamping force, temperature, revolutions, shaft design and lubricant type [1]. Selection of the force of adhesion between a seal and the surface is a compromise between the effectiveness of sealing and friction induced. No guidelines for designing seals for large-size revolving systems were found in the literature. One may presume that this knowledge constitutes the know-how of specialized companies offering special sealing solutions.

In the process of designing and manufacturing of seals as part of the project, the information contained in the document by WW Project titled “Ring seals of Simmering revolving shafts” [2] and the advertising materials of standard seal manufacturers [1–4] were used as the basis.

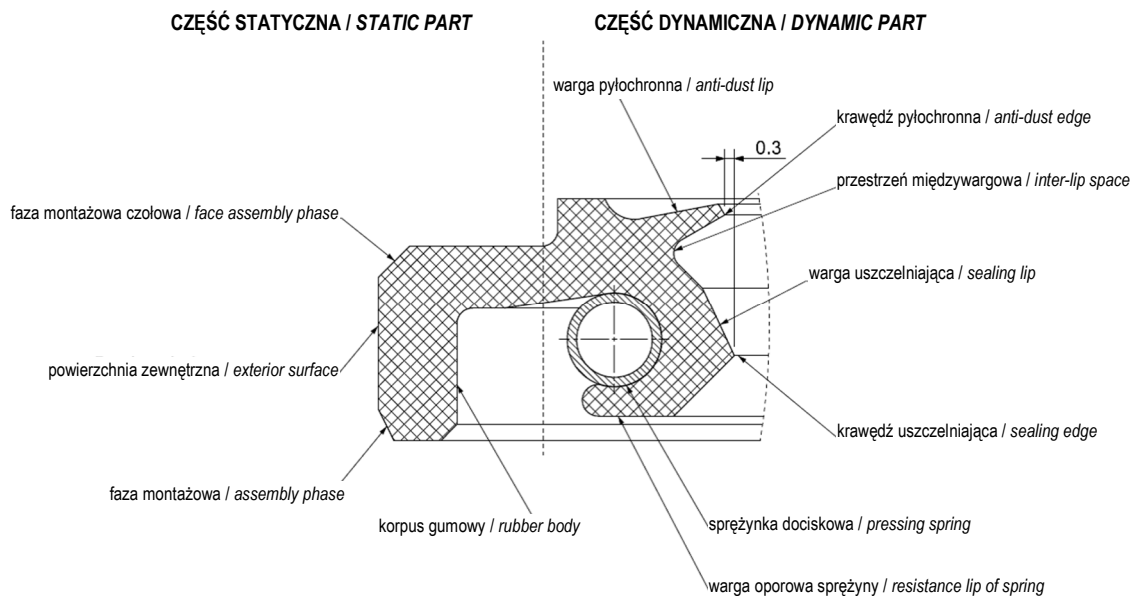
Theoretical analysis of various technical parameters was conducted from the perspective of ensuring effectiveness of sealing under the assumed operating conditions of the bearing. An important part of the first designing phase was to research the Polish market with respect to the possibility of acquiring various materials to be used as seals, the properties of these materials, and the technical and production capacities of domestic manufacturers. Moreover, it was acknowledged that, to properly design the geometry and dimensions of sealing, it is necessary to perform industrial tests on a special testing station in order to determine the proper tension of sealing lip edge depending on changes in rolling friction. These tests were planned for performance at P.P.H.U. „INTERMECH” Sp. z o.o. This article presents the work performed at the project’s current stage.

4. RING 1 – EXTERIOR SEALING

Sealing of the bearing from the exterior side is a typical example of sealing a revolving shaft of a large diameter. Hence, the shape of the seal

kształt uszczelnienia może być zbliżony do kształtu uszczelnienia typu Simering z pewnymi modyfikacjami w zakresie kształtu zabudowy. Uwzględniając trudne warunki pracy łożyska (zapylenie, deszcz, środki myjące pod dużym ciśnieniem), przyjęto kształt uszczelnienia z dodatkową wargą pyłochronną, której zadaniem jest zabezpieczenie przed przedostaniem się do niej różnego rodzaju brudu z zewnętrznego obszaru węzła uszczelniającego. Uwzględniając wymienione wymagania, opracowano geometrię uszczelnienia przedstawioną na rys. 2.

may be similar to the shape of a Simmering seal, with certain modifications concerning the shape of the enclosure. Considering the difficult conditions of the bearing's operation (dust, rain, cleaning agents under high pressure), a seal shape with an additional anti-dust lip was adopted, which will be tasked with protecting against penetration of various types of dirt from the exterior area of the sealing node. Considering the requirements enumerated above, the seal's geometry was developed, as presented in Fig. 2.



Rys. 2. Budowa uszczelnienia zewnętrznego

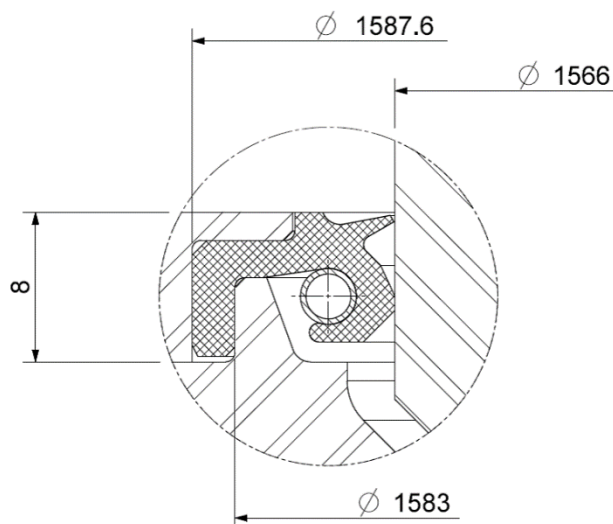
Fig. 2. Structure of exterior sealing

Konstrukcja pierścienia uszczelniającego składa się z części statycznej, zapewniającej prawidłowe osadzenie uszczelnienia w zabudowie łożyska oraz części dynamicznej z wargą pyłochronną i wargą uszczelniającą. Krawędź wargi uszczelniającej jest cofnięta w stosunku do krawędzi wargi pyłochronnej o 0,3 mm. Takie rozwiązanie umożliwia zapewnienie wstępnego zacisku uszczelnienia krawędzią wargi uszczelniającej bez równoczesnego napięcia wargi pyłochronnej, a tym samym zwiększenia oporu tarcia na powierzchni uszczelnianej. Dodatkowo na wargę uszczelniającą osadzona jest sprężyna umożliwiająca w sposób regulowany uzyskanie wymaganego docisku krawędzi uszczelniającej do powierzchni obrotowej elementu uszczelnianego.

The structure of the ring seal consists of a static part, ensuring proper mounting of the seal in the bearing's enclosure, as well as a dynamic part with an anti-dust lip and sealing lip. The edge of the sealing lip is retracted by 0.3 mm relative to the edge of the anti-dust lip. Such a solution makes it possible to ensure preliminary clamping of the seal with the edge of the sealing lip without simultaneous tension of the anti-dust lip, which would increase friction on the sealed surface. In addition, a spring is mounted on the sealing lip, making it possible to obtain the required pressing force of the sealing edge to the revolving surface of the sealed element in a regulated manner.

Stabilizację osadzenia uszczelnienia, wraz z jego częściowym usztywnieniem, zapewnia konstrukcja elementów łożyska, pokazana na rys. 3.

The design of bearing elements, shown in Fig. 3, ensures stabilization of the seal's seating and its partial stiffening.



Rys. 3. Zabudowa uszczelnienia zewnętrznego

Fig. 3. Enclosure of exterior seal

5. PIERŚCIEŃ 2 – USZCZELNIENIE WEWNĘTRZNE

Kształt i gabaryty pierścienia 2 uszczelnienia układu tocznego łożyska od strony wewnętrznej w znacznym stopniu wyznacza ściśle określona przestrzeń, wynikająca z konstrukcji łożyska. Funkcją uszczelnienia pierścienia 2, w odróżnieniu od pierścienia 1, jest zabezpieczenie przed wypłynięciem smaru z przestrzeni układu tocznego, a zatem pierścień 2 uszczelnia czołową powierzchnię obrotową. Oznacza to, że kształt uszczelki powinien być tak zaprojektowany, aby po zamontowaniu w gnieździe zabudowy uszczelka wywoływała określony nacisk na powierzchnię uszczelnianą.

W tym przypadku nie ma możliwości zastosowania dodatkowego docisku wargi uszczelniającej do powierzchni, jak to miało miejsce w przypadku pierścienia 1.

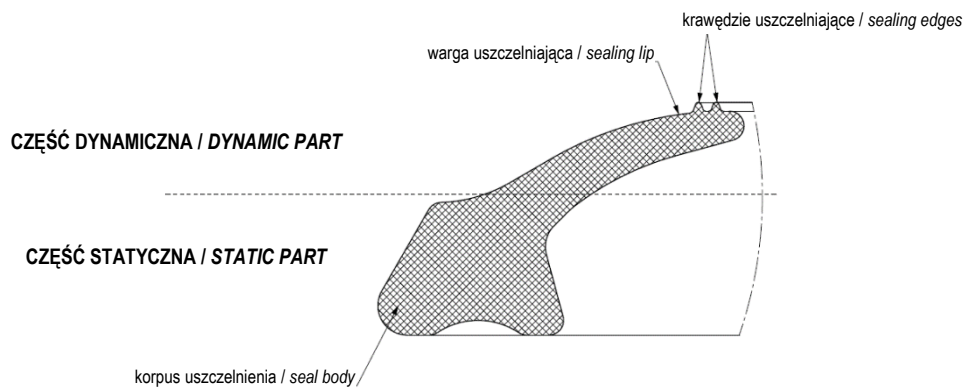
W oparciu o powyższe uwarunkowania został zaprojektowany kształt uszczelki pokazany na rys. 4.

5. RING 2 – INTERIOR SEALING

The shape and overall dimensions of ring seal 2 of the bearing's rolling system from the interior side are largely determined by the space strictly defined by the bearing's design. The function of ring seal 2, in contrast to ring 1, is to protect lubricant from flowing out of the space of the rolling system, and therefore ring 2 seals the front (face) revolving surface. This means that the seal's shape is to be designed so that it exerts a specific pressing force on the sealed surface after being installed in the enclosure's seat.

In this case, it is not possible to apply additional pressing force of the sealing lip to the surface, as was the case for ring 1.

Based on the conditions described above, the seal shape shown in Fig. 4 was designed.



Rys. 4. Budowa uszczelnienia wewnętrznego

Fig. 4. Structure of interior sealing

Część statyczna uszczelki jest tak zaprojektowana, aby po zabudowie w gnieździe, spełniała dwa warunki:

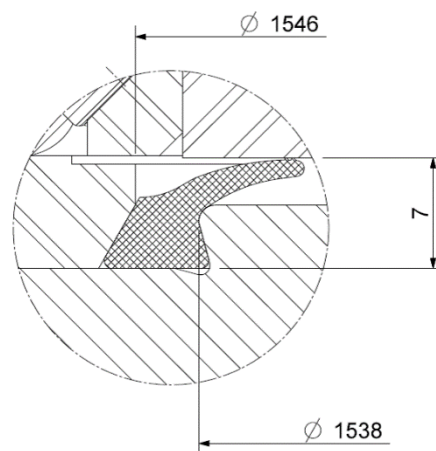
- stabilne położenie uszczelki podczas pracy łożyska, szczególnie podczas odkształceń sprężystych łożyska,
- wytworzenie w części dynamicznej odpowiedniego napięcia, powodującego nacisk krawędzi wargi uszczelniającej na powierzchnię uszczelnianą.

Część dynamiczna uszczelki jest (kształtem i wymiarami) ściśle związana z przestrzenią zabudowy w taki sposób, aby po zamontowaniu łożyska powierzchnia uszczelniana wprowadziła niewielkie napięcie wargi uszczelniającej, jak przedstawiono na rys. 5.

The static part of the seal is designed so that it meets two conditions after mounting in its seat:

- *stable seal position during bearing operation, particularly over the course of the bearing's elastic deformations,*
- *generation of the proper tension in the dynamic part, resulting in pressing of the sealing lip's edge to the sealed surface.*

The dynamic part of the seal is (by shape and dimensions) strictly linked to the space of the enclosure, in such a manner that, after the bearing is installed, the sealed surface introduces slight tension of the sealing lip, as shown in Fig. 5.



Rys. 5. Uszczelnienie wewnętrzne w zabudowie

Fig. 5. Interior seal in enclosure

6. DOBÓR MATERIAŁU NA PIERŚCIENIE USZCZELNIAJĄCE

Głównymi kryteriami doboru materiału na uszczelnienia są:

- temperatura pracy,
- odporność chemiczna,
- własności fizyczne.

Dodatkowo, ze względu na wymiary uszczelnienia, wybrany materiał powinien umożliwić łatwe kształtowanie dużych średnic.

Porównano materiały możliwe do pozyskania u producentów krajowych.

1. **NBR – czarny.** Jest to czarna nitylowo-butadienowa guma zwykle nazywana NITRYL lub BUNA. Materiały z NBR są jedynym z najczęściej używanych elastomerów uszczelniających.
2. **HNBR.** Jest czarną uwodornioną akrylonitrylowo-butadienową gumą. Dobre fizyczne właściwości i chemiczna odporność na większość płynów hydraulicznych czyni go wyśmienitym materiałem uszczelniającym.
3. **S102-R85** oraz **S103-BL85.** Są gumą metylosilikonową, zwykle zwaną silikonem. Materiał silikonowy jest często używany w gorącym powietrzu i tam, gdzie chemikalia i żywność mają kontakt z materiałem uszczelniającym.
4. **EPDM.** Jest czarną etyleno-propylenową gumą. Materiał jest często używany w gorącej wodzie lub parze wodnej. Materiały z EPDM są także stosowane w środowiskach zasadowych, kwaśnych i w alkoholach.
5. **PTFE.** Jest to politylofluoroetylen zwykle nazywanym Teflonem lub TFE. Materiał ma wyjątkowe właściwości chemiczne i najniższy z ciał stałych współczynnik tarcia. Szeroki zakres stosowania temperatur (-200 do +260°C) i właściwości mechanicznych czyni teflon uniwersalnym materiałem o wielu zastosowaniach.

W tab. 1 i 2 dokonano porównania właściwości fizycznych i chemicznych ww. materiałów.

6. SELECTION OF MATERIAL FOR RING SEALS

The main criteria of seal material selection are:

- working temperature,
- chemical resistance,
- physical properties.

In addition, due to the dimensions of the seal, the selected material should enable easy forming of large diameters.

Materials that can be acquired from domestic manufacturers were compared.

1. **NBR – black.** This is black nitrile butadiene rubber, usually called NITRILE or BUNA. NBR materials are some of the most commonly used sealing elastomers.
2. **HNBR.** This is black hydrogenated acrylonitrile butadiene rubber. Its good physical properties and chemical resistance to most hydraulic fluids makes it an excellent sealing material.
3. **S102-R85** and **S103-BL85.** These are methyl silicone rubbers, commonly termed silicone. Silicone material is often used in hot air and wherever chemicals and food come into contact with the sealing material.
4. **EPDM.** This is black ethylene propylene rubber. It is frequently used in hot water or steam. EPDM materials are also applied in alkaline and acidic environments as well as in alcohols.
5. **PTFE.** This is polytetrafluoroethylene, usually called Teflon or TFE. This material has exceptional chemical properties and the lowest friction coefficient among solids. Its broad working temperature range (-200 to +260°C) and mechanical properties make Teflon a universal material with a multitude of applications.

Tab. 1 and 2 compare the physical and chemical properties of the aforementioned materials.

Tab. 1. Materiały uszczelniające – właściwości fizyczne

Tab. 1. Sealing materials – physical properties

Materiał Material	Temperatura pracy Working temperature		Właściwości fizyczne / Physical properties		
	min [°C]	max [°C]	Twardość w 20°C Hardness at 20°C [Shore A]	Wytrzymałość na rozciąganie Tensile strength [N/mm ²]	Wydłużenie przy zerwaniu Ultimate elongation [%]
NBR – czarny / black	-30	100	85	>17	155
H-NBR	-30	150	85	>18	200
S102-R85 (Silikon red)	-55	210	83	>7	120
S103-BL85 (Silikon blue)	-55	180	85	7,5	117
EPDM	-50	130	86	14	137
PTFE	-200	260	51–65 Shore D	25–31	300–400

Tab. 2. Materiały uszczelniające – odporność chemiczna

Tab. 2. Sealing materials – chemical resistance

Materiał Material	Odporność chemiczna / Chemical resistance											
	Woda do 70°C Water up to 70°C	Powietrze do 100°C Air up to 100°C	HFA	HFB	HFC	HFD	Oleje mineralne Mineral oils	Smar litowy Lithium grease	Kwasy Acids		Alkohole Alcohols	
									Azotowy Nitric	Solny Hydrochloric	Etylowy Ethyl	Metylowy Methyl
NBR – czarny black	O	O	O	O	O	O	O	O	S	O	O	S
H-NBR	O	do 80°C up to 80°C	O	N	O	N	N	O	S	S	O	S
S102-R85 (Silikon red)	O	O	O	O	O	S	S	N	S	N	O	O
S103-BL85 (Silikon blue)	O	O	O	O	O	O	S	N	S	N	O	O
EPDM	O	O	N	N	O	N	N	O	O	O	O	O
PTFE	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O	O

Legenda:

O – odporny

S – średnio odporny

N – nieodporny

HFA – emulsje oleju w wodzie, zawierające ponad 80% wody

HFB – emulsje typu woda w oleju

HFC – roztwór polimeru w wodzie, zawierający ponad 35% wody

HFD – ciecze syntetyczne nie zawierające wody

Z porównania właściwości wynika, że najbardziej odpowiednim materiałem uszczelniającym, przy założonych wymaganiach, jest guma nitylowa o symbolu NBR – czarny.

The comparison of properties shows that the most appropriate sealing material for the assumed requirements is nitrile rubber with the symbol NBR – black.

7. BADANIA PRZEMYSŁOWE

7.1. Cel badań

Badania przemysłowe realizowano w następujących celach:

- opracowania zależności pomiędzy wartością siły nacisku wargi uszczelniającej, a oporem wewnętrznym ruchu uszczelnianej części obrotowej łożyska;
- określenia optymalnego zakresu wartości siły nacisku wargi uszczelniającej na część obrotową, odpowiadającą minimalnej wielkości oporu wewnętrznego części obrotowej;
- uzyskania danych do opracowania technologii produkcji i kontroli pierścieni uszczelniających.

7.2. Stanowisko technologiczno-badawcze

Zaprojektowano i wykonano stanowisko technologiczno-badawcze, składające się z dwóch głównych zespołów:

- technologicznego (rys. 6), służącego do właściwego ustalenia i wykonania średnicy uszczelki oraz pomiaru siły nacisku wargi uszczelniającej uszczelnienia zewnętrznego,
- badawczego (rys. 7), służącego do badania oporów ruchu powstałych od uszczelnień, w zależności od nacisku uszczelnień na powierzchnie współpracujące.

Celem określenia danych wejściowych służących do zaprojektowania stanowiska technologicznego oszacowano zależność siły nacisku wargi uszczelniającej od średnicy wałka. W oparciu o dane przykładowych wykresów zależności nacisków promieniowych od średnicy wałka (rys. 8), opracowanych przez firmę WW Projekt, wykazano, że przewidywane napięcie promieniowe nie powinno przekroczyć wartości 0,11 N/mm. Na tej podstawie dobrano czujniki tensometryczne o zakresie siły 0–4,4 N/mm.

7.3. Opis stanowiska technologiczno-badawczego

Stanowisko technologiczne (rys. 6.) składa się z pierścieni, w których odwzorowano gniazda

7. INDUSTRIAL TESTS

7.1. Goal of studies

Industrial tests were performed for the following purposes:

- *to determine the relationship between the value of the sealing lip's pressing force and the internal friction resistance of the sealed revolving part of the bearing;*
- *to determine the optimal range of pressing force values exerted by the sealing lip on the revolving part, corresponding to the minimum value of internal friction of the revolving part;*
- *to obtain data for development of production and quality control technology for ring seals.*

7.2. Technological and testing station

A technological testing station was designed and built, consisting of two main units:

- *technological (Fig. 6), serving for proper determination and manufacturing of the seal's diameter as well as for measurement of the exterior sealing lip's pressing force,*
- *testing (Fig. 7), serving for testing of friction arising from seals, depending on the pressing force exerted by seals on inter-operating surfaces.*

In order to determine input data serving for designing of the technological station, the relationship between the sealing lip's pressing force and the shaft's diameter was estimated. Based on data from example charts of the dependency between radial pressing forces and shaft diameter (Fig. 8) prepared by the WW Projekt company, it was demonstrated that the expected radial tension should not exceed the value of 0.11 N/mm. On this basis, extensometric sensors with force range 0–4.4 N/mm were selected.

7.3. Description of technological and testing station

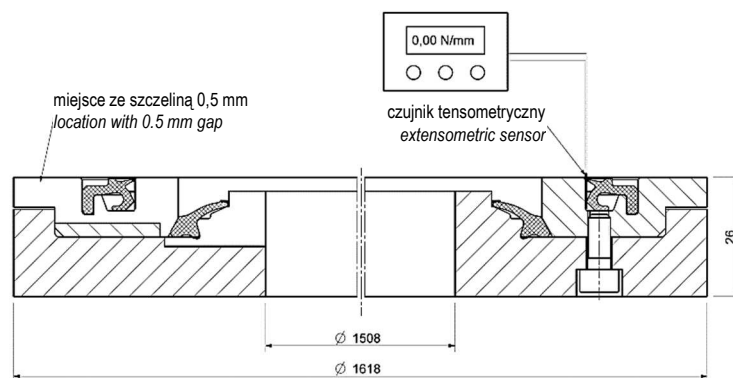
The technological station (Fig. 6) consists of rings in which seal seats were represented accor-

uszczelnień zgodnie z zabudową w łożysku. W pierścieniach znajduje się szczelina o szerokości 0,5 mm, która umożliwi precyzyjne docinanie obu uszczelnień. Stanowisko dodatkowo wyposażono w tensometryczny czujnik siły, który służy do pomiaru siły nacisku wargi uszczelniającej uszczelnienia zewnętrznego na powierzchnię uszczelnianą. Wynik pomiaru podany w N/mm lub kG/mm, jest rejestrowany i wyświetlany na ekranie rejestratora pomiarowego. Pomiar ten umożliwi dobór odpowiedniego zacisku uszczelnienia, który nie spowoduje wzrostu oporów ruchu, a jednocześnie zapewni wymaganą szczelność.

W przypadku uszczelnienia wewnętrznego stanowisko technologiczne zapewnia jego docięcie, z zachowaniem wymaganego wymiaru średnicy. Dobór odpowiedniej siły nacisku następuje na stanowisku badawczym, poprzez ustalenie wymiaru szczeliny z zapewnieniem odpowiedniego nacisku na wargę uszczelniającą, zachowując minimalny opór wewnętrzny toczenia części obrotowej.

ding to the enclosure in the bearing. Rings contains a gap with a width of 0.5 mm, which will enable precise trimming of both seals. The station was additionally equipped with an extensometric force sensor serving for measurement of the exterior sealing lip's pressing force on the sealed surface. The result of measurement, given in N/mm or kG/mm, is registered and displayed on the screen of the measurement recorder. This measurement makes it possible to select proper clamping of the seal, that will not increase friction while simultaneously ensuring the required tightness (sealing).

In the case of the interior seal, the technological station ensures its trimming with preservation of the required diameter. Selection of the proper pressing force is done on the testing station by determining the dimension of the gap that ensures the proper pressing force on the sealing lip preserving minimal internal rolling friction of the revolving part.



Rys. 6. Szkic poglądowy stanowiska technologicznego

Fig. 6. Pictorial drawing of technological station

Stanowisko badawcze (rys. 7) zbudowane jest z trzech głównych podzespołów:

- części stałej, która stanowi rama spawana; przymocowany jest do niej zespół napędowy – motoreduktor (1); napęd przenoszony jest poprzez przekładnię pasową (2) oraz zębatą (3); aby zapewnić właściwą prędkość obrotową 10 obr/min. do regulacji obrotów zastosowano falownik;
- części obrotowej składającej się ze stalowych krążków; zamocowane jest tutaj uszczelnienie

The testing station (Fig. 7) consists of three main subassemblies:

- the fixed part being a welded frame; the drive unit – motoreducer (1), is fastened to this frame; drive is transmitted via belt (2) and gear (3) transmission; in order to ensure the proper revolutions of 10 rpm, an inverter was applied to regulate revolutions;
- revolving part consisting of steel discs; the exterior seal (6) and interior seal (7) are fastened

nie zewnętrzne (6) oraz wewnętrzne (7); obserwacje pracy uszczelnienia wewnętrznego zapewnia pierścień dzielony (4), którego górna część jest demontowana na czas badania uszczelnienia wewnętrznego;

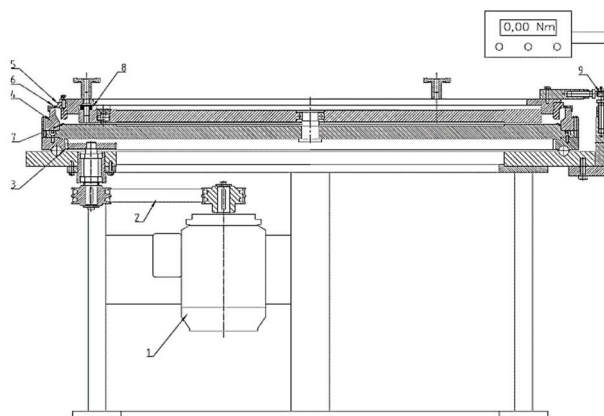
- b) części swobodnej, w skład której wchodzi pierścień stalowy z zamocowanym pierścieniem aluminiowym (5), który współpracuje z uszczelnieniami; szczelina pomiędzy uszczelnieniem wewnętrznym, a pierścieniem aluminiowym jest regulowana za pomocą podkładek dystansowych (8) umożliwiających zmianę wymiaru szczeliny co 0,1 mm.

Pomiar momentu obrotowego odbywa się za pomocą czujnika siły (9) umieszczonego na ramieniu. Wynik pomiaru jest rejestrowany i wyświetlany w czasie rzeczywistym na monitorze wskaźnika pomiarowego.

here; a split ring (4), whose upper part is dismantled for the time of interior seal testing, makes it possible to observe the interior seal's work;

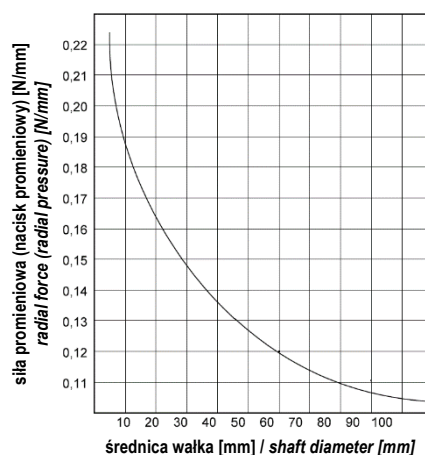
- b) free part, consisting of a steel ring with fastened aluminum ring (5), which inter-operates with seals; the gap between the interior seal and the aluminum ring is regulated by distance spacers (8) enabling a change of the gap's size in 0.1 mm increments.

Torque measurement is performed by means of a force sensor (9) situated on the arm. The result of the measurement is recorded and displayed in real time on the monitor of the measuring indicator.



Rys. 7. Szkic poglądowy stanowiska badawczego

Fig. 7. Pictorial drawing of testing station



Rys. 8. Zależność nacisków promieniowych od średnicy wałka [2]

Fig. 8. Relationship between radial pressing forces and shaft diameter [2]

Na obecnym stadium zaawansowania projektu omawiane stanowiska są w fazie budowy. W dalszych etapach prac przeprowadzone będą badania uszczelnień.

8. PODSUMOWANIE

Istotnym z punktu widzenia projektowania wielkogabarytowego łożyska wieńcowego jest poprawne zaprojektowanie jego uszczelnienia. Wymiary łożyska znacząco wpływają na opory tocznienia. Wymagana jest jednocześnie odpowiedniej ochrona układu tocznego przed działaniem atmosferycznych czynników zewnętrznych.

W przypadku dużych łożysk brak jest wyraźnych zaleceń co do kształtu uszczelnień, wielkości docisku do powierzchni uszczelnianej i wpływu siły docisku na opory wewnętrzne ruchu. Przedstawione wyniki prac badawczych pozwoliły na zaprojektowanie specjalnego stanowiska badawczego dającego możliwości techniczne przeprowadzenia badań i optymalizacji parametrów konstrukcyjnych uszczelnienia, pod względem oporu wewnętrznego ruchu.

W przyszłej produkcji stanowisko to będzie służyło jako urządzenie techniczne do produkcji i kontroli tego rodzaju uszczelnień.

PODZIĘKOWANIA

Badania zostały zrealizowane w ramach projektu nr POIR.01.01.01-00-1380/15 pt. „Prace B+R nad innowacyjnymi wielkogabarytowymi łożyskami wieńcowymi na bazie lekkich materiałów konstrukcyjnych” realizowanego przez przedsiębiorstwo P.P.U.H. „INTERMECH” Sp. z o.o. ze Stalowej Woli i współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

LITERATURA

- [1] Katalog Trelleborg Sealing Solutions. 2007. *Uszczelnienia ruchu oobrotowego*.
- [2] Wojciech Wróblewski <http://wwprojekt.pl/>
- [3] <http://www.kragum.com.pl/uszczelnienia-toczne-materialy.html>
- [4] <http://www.polwent.com.pl/index.php?dzial=materiały>

The stations discussed here are currently in the construction phase at this stage of the project's advancement. Tests of seals will be performed in further stages of work.

8. CONCLUSIONS

Proper sealing design is significant from the perspective of designing a large-size gear bearing. The bearing's dimensions have a significant impact on rolling friction. At the same time, proper protection of the rolling system against the action of weather conditions is required.

In the case of large bearings, there is a lack of clear guidelines as to the shape of seals, the value of pressing force to the sealed surface and the influence of pressing force on internal friction. The presented research results have made it possible to design a special testing station providing the technical capabilities of conducting tests and optimizing seal design parameters in terms of internal friction.

In future production, this station will serve as a technical device for manufacturing and quality control of seals of this type.

ACKNOWLEDGEMENTS

Studies were conducted as part of project no. POIR.01.01.01-00-1380/15 titled “R&D work on innovative, large-size gear bearings based on lightweight structural materials” executed by the P.P.U.H. “INTERMECH” Sp. z o.o. enterprise from Stalowa Wola and co-financed by the National Centre for Research and Development in Poland.

REFERENCES

- [1] Catalogue of Trelleborg Sealing Solutions. 2007. *Uszczelnienia ruchu oobrotowego*.
- [2] Wojciech Wróblewski <http://wwprojekt.pl/>
- [3] <http://www.kragum.com.pl/uszczelnienia-toczne-materialy.html>
- [4] <http://www.polwent.com.pl/index.php?dzial=materiały>