

Jacek Pytel

Sieć Badawcza Łukasiewicz - Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, Katowice

ZESPÓŁ USZCZELNIAJĄCY WAŁ MASZINY

SEAL SYSTEM FOR ROTATING MACHINE SHAFT

Streszczenie: W niniejszym artykule autor przedstawia propozycję uszczelnienia wału maszyny wirującej, o wysokim stopniu ochrony przez pyłem i wodą. Uszczelnienie dedykowane jest do maszyn pracujących w zanurzeniu (np. pompy zatapialne) lub środowiskach o dużym zapyleniu, a także iskroszczelnych. Proponowane rozwiązanie zostało opatentowane [1].

Abstract: This paper presents a proposal of gas seal system for rotating machinery of high protection rating against dust and water. The sealing is dedicated to immersion machines (e.g. submersible pumps) and to high dustiness or spark-proof operation. The proposed solution has been patented [1].

Słowa kluczowe: uszczelnienie obrotowe, uszczelnienie gazowe

Keywords: rotary seal, gas seal system

1. Wstęp

Znane są rozwiązania uszczelnień obrotowych, stosowanych w pompach oraz silnikach i generatorach elektrycznych, polegające na zastosowaniu materiałów opartych na bazie kauczuku (NBR, FKM, ACM) lub teflonu (PTFE). Uszczelnienia te występują pod postacią pierścieni zintegrowanych ze sprężystym elementem dociskającym. Są dostępne na rynku od dawna, u wielu producentów, w wielu typoszelegach. Ich zaletą jest relatywnie niski koszt oraz zadowalająca trwałość w aplikacjach o stopniu ochrony nie przekraczającym na ogół IP55. Jeżeli aplikacja wymaga wyższych stopni szczelności, konstrukcja uszczelnienia staje się bardziej zaawansowana, a zakres czynności serwisowych większy.

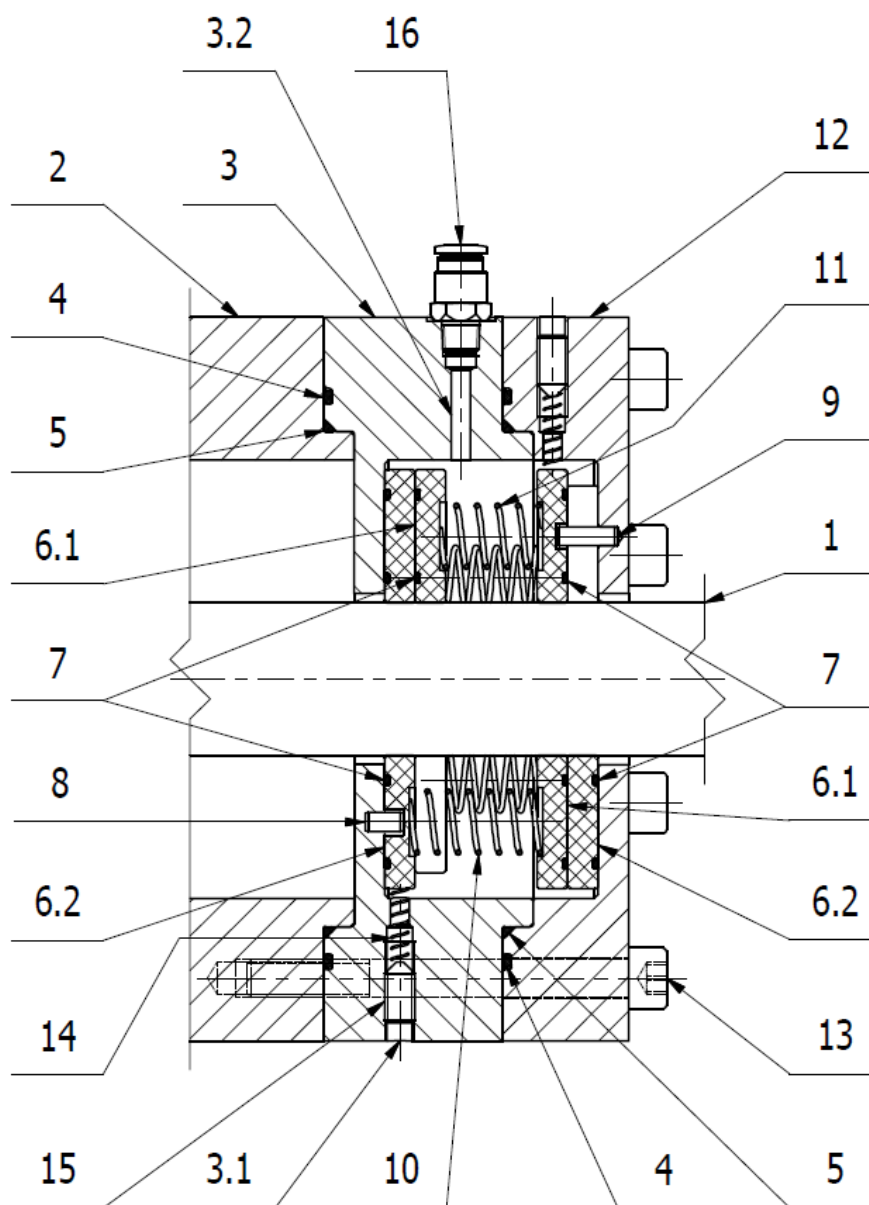
2. Opis zespołu uszczelniającego

2.1. Zasada działania

Uszczelnienie jest umieszczane na zewnątrz maszyny, przeważnie na tarczy łożyskowej. W zamkniętym korpusie uszczelnienia występują wycinki pierścieni z tworzywa sztucznego dedykowanego do łożysk ślizgowych, dolegające do wału oraz ścianek korpusu, co stanowi pierwszy stopień uszczelnienia. Ponadto w korpusie uszczelnienia występuje nadciśnienie. Doprowadzony pod ciśnieniem gaz stanowi zapórę dla cząstek medium uszczelnianego w drugim stopniu uszczelnienia, które mogłyby się przedostać do wnętrza maszyny w skutek niedostatecznej szczelności w pierwszym stopniu uszczelnienia.

2.2. Budowa

Rysunek 1 przedstawia przekrój poprzeczny proponowanego rozwiązania. Wał maszyny (1) przechodzi przez dwuczęściowy korpus (3, 12) uszczelnienia mocowany do jej kadłuba (2) śrubami (13). Pomiedzy częściami korpusu oraz na styku z kadłubem maszyny występują uszczelnienia gumowe statyczne typu O-ring (4, 5). Wewnątrz korpusu znajdują się wycinki pierścieni (6.1, 6.2) z tworzywa łożyskowego. Wycinki te dolegają do siebie i ścianek korpusu oraz powierzchni wału. Docisk następuje za pomocą sprężyn (10, 11) przez zamknięcie dwóch części korpusu (2) skręconych śrubami (13). Każdy z wycinków jest zabezpieczony przed obrotem za pomocą kołków (8, 9), przy czym kołki te umożliwiają minimalny ruch promieniowy. Miejsca wzajemnego styku wycinków oraz wycinków z korpusem uszczelnione są pierścieniami O-ring (7). W obu częściach korpusu, nad każdym z wycinków pierścieni, znajdują się otwory gwintowane (3.1). Umieszczone w tych otworach sprężynki (14) i wkręty (15) umożliwiają nastawy docisku wycinków pierścieni do wału tak, by uzyskać wymaganą szczelność przy dotarciu wycinków oraz kompensować ich zużycie. Zamiast ww. elementów dociskających (14, 15), rozważa się zastosowanie elektromagnesów. W jednej z części korpusu występuje otwór (3.2), do którego wkręca się króciec (16) doprowadzający sprężony gaz do komory uszczelnienia.



Rys. 1. Przekrój poprzeczny zespołu uszczelniającego

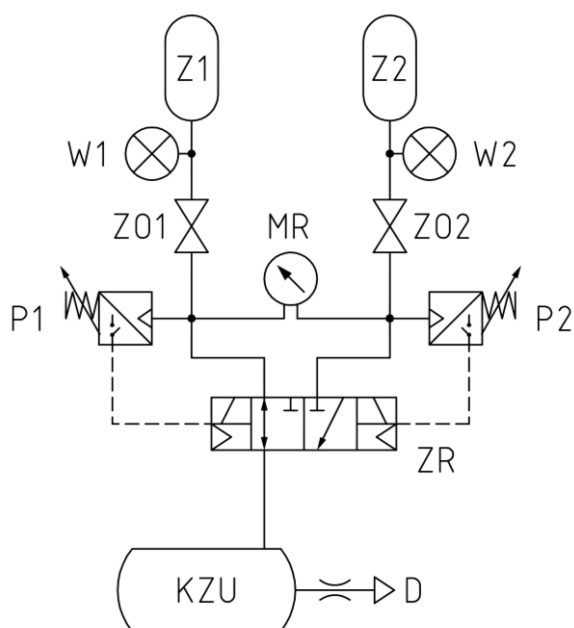
Widok ogólny ukośny zespołu, z rozbiciem na poszczególne elementy, prezentuje rysunek 5 znajdujący się na końcu artykułu.

2.3. Układ zasilania gazem zaporowym

Zakłada się dwa rodzaje zasilania. Pierwszy dotyczy aplikacji, w których gaz jest sprężonym powietrzem pochodzącym bezpośrednio ze zbiornika kompresora. Drugi rodzaj zasilania jest układem ze sprzężeniem zwrotnym, w którym występują co najmniej dwa zbiorniki ze sprężonym gazem (powietrze lub azot), przy czym komorę uszczelnienia zasila tylko jeden zbiornik. Układ ten dedykowany jest do aplikacji, w których zastosowanie kompresora jest

niemożliwe lub niewskazane. Schemat układu prezentuje rysunek 2. Na wyjściu wymiennego zbiornika (Z1) umieszczony jest wskaźnik ciśnienia (W1) oraz zawór odcinający (ZO1). Za zaworem odcinającym, pomiędzy przewodami prowadzącymi do zaworu rozdzielającego 3/2 (ZR), znajduje się manometr różnicowy (MR). Na każdym z przewodów wejściowych do zaworu rozdzielającego umieszczony jest przetwornik ciśnienia na sygnał elektryczny (P1, P2), sterujący położeniem zaworu rozrządczego, którego wyjście połączone jest z komorą zaporową uszczelnienia (KZU). Zawór rozrządczy reaguje pośrednio na spadek ciśnienia, dławiony na styku (D) elementów uszczelnia-

jących. Gdy ciśnienie spada poniżej wymaganej wartości, następuje przełączenie zaworu rozrządczego w pozycję umożliwiającą ponowne napełnienie komory gazem z drugiego zbiornika (Z2). Każde przełączenie zaworu (ZR) może być rejestrowane, informując o konieczności wymiany opróżnionego zbiornika do czasu kolejnego spadku ciśnienia w układzie.



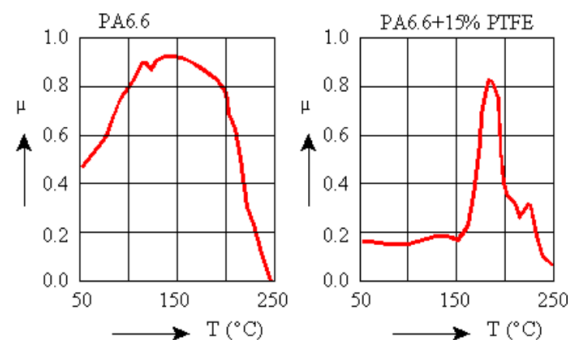
Rys. 2. Układ zasilania gazem zaporowym

3. Wybrane aspekty projektowania

Największą dozą niepewności w zakresie projektowania obarczony jest dobór materiału na wycinki pierścieni uszczelniających. Jednym z powszechniejszych tworzyw sztucznych, dedykowanych do pracy w warunkach zbliżonych do działania łożyska ślizgowego z tarciami suchym, są poliamidy grupy PA 4.6 oraz PA 6 i PA 66. Zaleca się, aby tworzywa te były modyfikowane innymi substancjami, np. środkiem smarnym lub włóknem szklanym, co podwyższa ich odporność na zużycie oraz temperaturowy zakres pracy. Oprócz wyżej wymienionych materiałów, rozważa się zastosowanie teflonu PTFE, polieteroeteroketonu PEEK oraz brązu łożyskowego gat. CuSn10P (B101). Wybrane właściwości materiałów zestawiono w tabeli 1.

Wykonano wstępny projekt uszczelnienia osadzanego na wale o średnicy 40 mm, obracającym się z prędkością 3000 obr./min. Na tym

etapie projektowania możliwe jest jedynie oszacowanie wielkości strat mocy oraz temperatury w parze ciernej wał-pierścien, zależnie od dobrego materiału. W celu łatwości obliczeń, w modelu obliczeniowym wycinek pierścienia zastąpiono pełnym pierścieniem. Zakłada się stałą wartość siły tarcia, wynikającą wyłącznie z ciężaru pierścienia. Istotną lecz nieznaną składową jest siła docisku wycinka pierścienia do wału. Uproszczenie to ma na celu określić oczekiwany rząd wielkości strat. Model rzeczywisty jest nieliniowy, ponieważ współczynnik tarcia zależy od rodzaju tworzywa i jego domieszek, a także zmienia się wraz z temperaturą [2]. Rysunek 3 przedstawia zależność współczynnika tarcia od temperatury dla tworzywa PA 66 niemodyfikowanego i modyfikowanego dodatkiem 15% PTFE.



Rys. 3. Zależność współczynnika tarcia od temperatury [2]

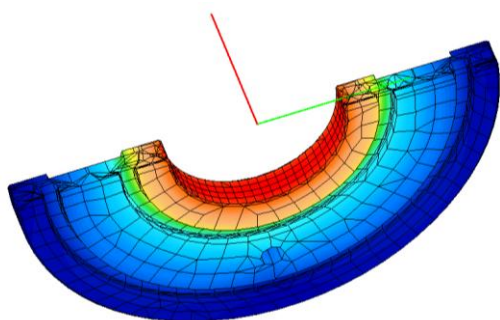
Wiadomo zatem, że punkt na powierzchni cylindrycznej wału pokonuje w ciągu minuty drogę 376,992 m, a praca zamieniana jest w całości na ciepło. Jeżeli prędkość obrotowa jest stała, to moc źródła ciepła, jakie stanowi para cierna, nie zmienia się, a zależy jedynie od jakości powierzchni i nacisku. W tabeli 2 zestawiono uzyskane w wyniku symulacji wartości strat i temperatury, przy czym sumaryczną wielkość strat odniesiono do wycinków pierścieni, których powierzchnia tarcia z wałem stanowi ułamek powierzchni pierścienia pełnego. W tabeli 2 zestawiono jedynie te materiały, dla których znana jest wartość współczynnika tarcia w parze ciernej z powierzchnią stalową. Rysunek 4 prezentuje przekrój przez pierścień nagrzaną w skutek tarcia, z widocznym polem temperatur.

Tab. 1. Wybrane właściwości materiałowe uszczelnienia

Materiał	Gęstość [g/cm ³]	Absorpcja wilgoci [%]	Twardość	Temp. pracy ciągłej [°C]	Przewodność cieplna [W/m·K]	Granica plastyczności [MPa]
PA 4.6	1,18	1,3÷3,7	79 ShD	-40÷110	0,3	65÷85
PA 4.6 GF	1,43	9,5	b.d.	do 130÷160	b.d.	128÷132
PA 66 GF	1,37	0,8÷1,1	85 ShD	-20÷100	0,22	100÷125
PTFE	2,15	0,01	55÷59 ShD	-200÷260	0,24	9÷30
PTFE GF	2,25	0,01÷0,02	58-63 ShD	-200÷260	0,17÷0,41	b.d.
PEEK	1,29	0,1÷0,5	87 ShD	-60÷154	0,35	90÷110
CuSn10P	8,7	0	80 HBW	b.d.	45	160

Tab. 2. Wyniki obliczeń cieplnych

Materiał	Ciepło właściwe [J/kg·K]	Współczynnik tarcia (stal)	Masa pierścienia pełnego [g]	Wielkość strat [W]	Maksymalna temperatura [°C]
PA 66 GF	1216	0,30	81,8	4,5	118
PTFE	970	0,16	128,3	3,8	79
PEEK	1214	0,24	77,0	3,4	76
CuSn10P	376	0,18	519,1	17,3	71



Rys. 4. Pole temperatur pierścienia ślizgowego

4. Podsumowanie

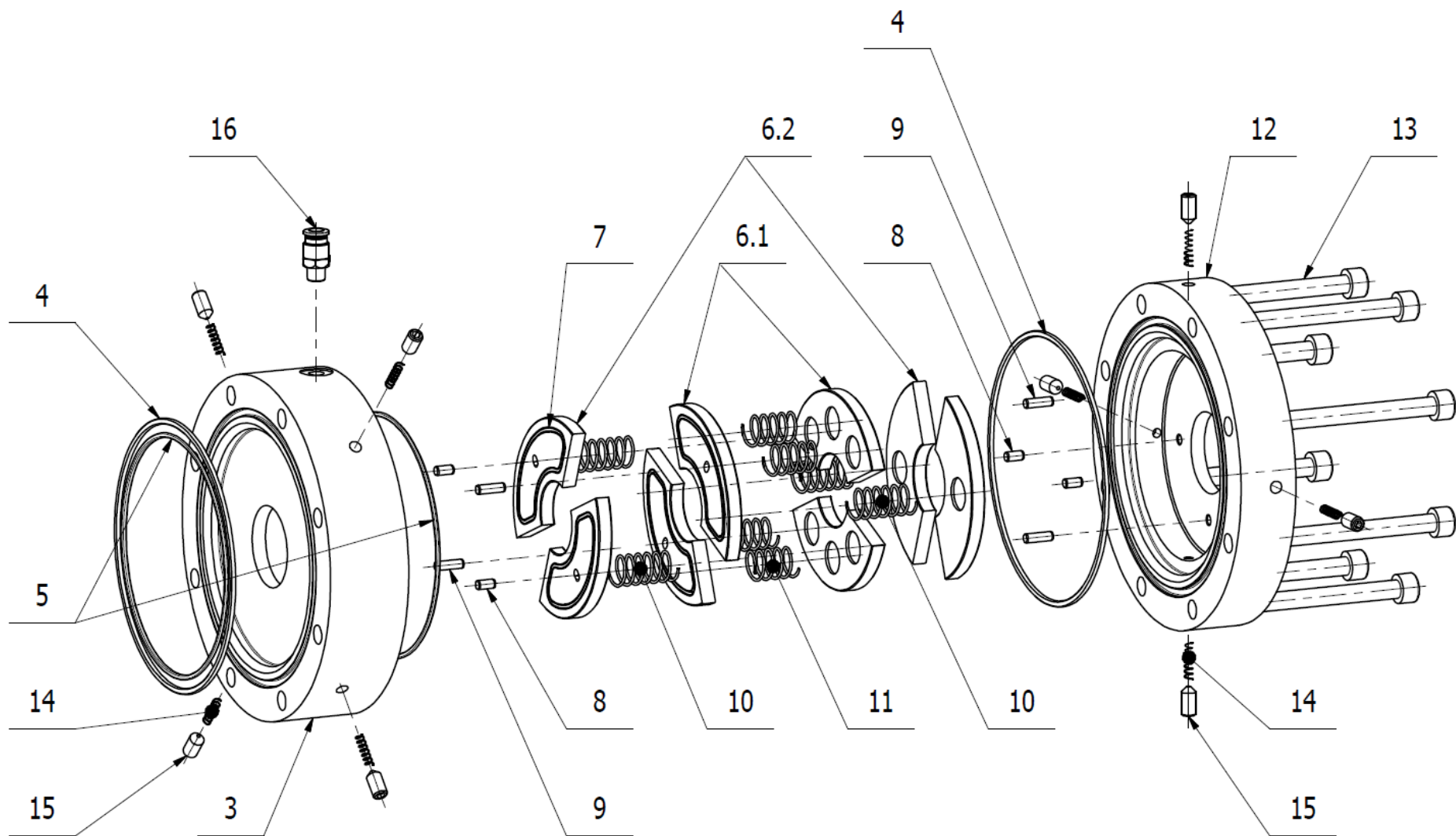
Wstępna analiza wykazała, że spośród rozważanych materiałów najkorzystniej prezentuje się PEEK.

Poza ujęciem teoretycznym, projekt zespołu uszczelniającego wymaga badań w zakresie:

- określenia reżimów technologicznych odnoszących się do współpracujących powierzchni uszczelnienia
- pomiaru strat mocy na uszczelnieniu,
- pomiaru temperatury w pobliżu miejsca tarcia uszczelnienia o wał przy pracy na sucho,
- pomiaru spadku ciśnienia w trakcie pracy,
- próby szczelności.

5. Literatura

- [1]. Patent PL 232740.
- [2]. <https://www.tribology-abc.com/abc/polymers.htm>.



Rys. 5. Widok ukośny zespołu uszczelniającego