

(19)



URZĄD
PATENTOWY
RZECZYPOSPOLITEJ
POLSKIEJ

(10) **PL 245975 B1**

(12)

Opis patentowy

(21) Numer zgłoszenia: **432714**

(22) Data zgłoszenia: **2020.01.27**

(43) Data publikacji o zgłoszeniu: **2021.08.02 BUP 18/2021**

(45) Data publikacji o udzieleniu patentu: **2024.11.12 WUP 46/2024**

(51) MKP:

F16C 17/12 (2006.01)

F16C 27/02 (2006.01)

F16C 25/04 (2006.01)

(73) Uprawniony z patentu:

**INSTYTUT MASZYN PRZEPŁYWOWYCH
IM. ROBERTA SZEWAŁSKIEGO POLSKIEJ
AKADEMII NAUK, Gdańsk, PL**

(72) Twórca(-y) wynalazku:

**ŁUKASZ BREŃKACZ, Gdańsk, PL
PAWEŁ BAGIŃSKI, Gdańsk, PL
ARTUR ANDREARCZYK, Radom, PL**

(74) Pełnomocnik:

rzecz. pat. Małgorzata Matyka, Gdańsk, PL

(54) Tytuł:

Sposób zmiany geometrii łożyska oraz łożysko foliowe

PL 245975 B1

Opis wynalazku

Przedmiotem wynalazku jest sposób zmiany geometrii łożyska foliowego oraz aktywne łożysko foliowe jako element podparcia wirników różnego rodzaju maszyn, w szczególności wysokoobrotowych i małogabarytowych. Aktywne łożysko foliowe charakteryzuje się możliwością zmian jego geometrii za pomocą aktuatorów (siłowników).

Znane są różnego rodzaju łożyska foliowe, wśród których, podobnie jak w innego rodzaju łożyskach, jedną grupę stanowią łożyska osiowe, a drugą – łożyska promieniowe. W łożyskach osiowych zespół folii przylega do tarczy oporowej będącej integralną częścią wału maszyny obrotowej, a folia falista ułożona jest prostopadle do osi wału. W łożyskach promieniowych folia falista ułożona jest równolegle do osi wału maszyny. Łożysko takie składa się z panwi zamocowanej do obudowy stanowiącej podporę oraz zespołu cienkowarstwowych folii, które znajdują się w szczelinie między wałem obrotowym i panwią. Przestrzeń pomiędzy warstwami folii i wałem wypełniona jest czynnikiem smarnym, który może stanowić gaz lub ciecz.

Znane jest z europejskiego opisu patentowego EP 2375089 B1 łożysko foliowe mające cylindryczną panew, do której wprowadzony jest wał obrotowy i zespół folii pomiędzy panwią i wałem. Zespół folii składa się z trzech warstw folii ułożonych kolejno od panwi w kierunku osi wału: karbowanej folii falistej, płaskiej folii środkowej i płaskiej folii ślizgowej. Folia falista ma jeden koniec zamocowany do panwi, a drugi koniec wolny i kształt regularnej fali o amplitudzie odpowiadającej odległości między panwią i folią środkową, której grzbiety od strony panwi tworzą fałdy podpierające, a grzbiety od strony wału tworzą fałdy elastyczne. Ujawniono specjalne ukształtowanie i wzajemne usytuowanie końców folii środkowej i folii ślizgowej mocowanych do panwi i ich wolnych końców.

Z europejskiego zgłoszenia EP 3109494 A znane jest promieniowe łożysko foliowe mające cylindryczną folię ślizgową od strony wału obrotowego oraz folię falistą pomiędzy folią ślizgową i cylindryczną panwią łożyska. Panew zaopatrzona jest na swym wewnętrznym obwodzie w specjalne środki techniczne w postaci specjalnie ukształtowanych występów, wnęk, rowków, listew, które umożliwiają mocowanie folii falistej do panwi. Folia falista składa się z jednakowych segmentów tworzących razem kształt cylindryczny, których jedne końce są mocowane do panwi. Folia falista ma kształt naprzemiennie ułożonych płaskich dolin przylegających do panwi i zakrzywionych części wierzchołkowych wypukłych w stronę folii ślizgowej i tą wypukłością będących w kontakcie z folią ślizgową. W ten sposób odcinki płaskie tworzą części podpierające tę folię na panwi, a części wypukłe stanowią elastyczne fałdy poddawane naciskowi ze strony folii ślizgowej.

W zgłoszeniu międzynarodowym o numerze publikacji WO 2012/127998 ujawniono łożysko foliowe wyposażone folię ślizgową otaczającą z pewnym odstępem wał obrotowy, folię falistą umieszczoną na zewnętrznym obwodzie folii ślizgowej i podpierającą tę folię ślizgową oraz cylindryczną zewnętrzną obudowę, do której wewnętrznej powierzchni zamocowane są folie. Folia falista ma dwie warstwy, z których każda ma kształt naprzemiennie ułożonych części płaskich od strony zewnętrznej obudowy i części wypukłych w stronę folii ślizgowej. Ujawniono także sposób kształtowania zespołu folii ślizgowej i podwójnej folii falistej z jednego odcinka taśmy i mocowanie tego zespołu folii do obudowy.

W polskim opisie patentowym PL 233717 opisano łożysko foliowe podpierające wał obrotowy, które składa się z cylindrycznej panwi i zespołu folii znajdującego się w przestrzeni między zewnętrzną powierzchnią wału obrotowego i wewnętrzną powierzchnią panwi. Zespół folii zawiera folię ślizgową sąsiadującą z powierzchnią wału obrotowego i co najmniej jedną folię falistą ułożoną pomiędzy folią ślizgową i panwią. Folia falista ma naprzemiennie ułożone fałdy podpierające będące w kontakcie z wewnętrzną powierzchnią panwi i fałdy elastyczne będące w kontakcie z folią ślizgową.

W typowym łożysku foliowym poprzecznym wykorzystuje się folię falistą o regularnym kształcie. Przykład złożonego łożyska foliowego przedstawiono na Fig. 1 wirnik (wał) posiada czopy łożyskowe, których liczba zależna jest od ilości zastosowanych łożysk poprzecznych. Złożenie łożyska foliowego wykonuje się w kilku etapach. Po określeniu średnicy czopa, luzu smarnego, ustala się kształt folii falistej i ilość segmentów folii falistej i gładkiej. Łożysko ma stałe charakterystyki sztywności i tłumienia dla stałej prędkości obrotowej, przy zmianie prędkości obrotowej wirnika ulegają one zmianie.

Przedmiotem wynalazku jest sposób zmiany geometrii łożyska foliowego w co najmniej jednym kierunku, gdzie elementem łożyska są aktuatory znajdujące się pomiędzy folią falistą a panwią, które są regulowane niezależnie lub wspólnie w czasie pracy maszyny wirnikowej.

Sposób, gdzie, za pomocą aktuatorów zmienia się wielkość i kształt szczeliny smarnej.

Sposób, gdzie podczas pracy łożyska możliwa jest zmiana parametrów łożyska takich jak współczynniki sztywności i tłumienia filmu gazowego oraz folii.

Sposób, gdzie regulacje aktuatorów można stosować pojedynczo (tylko w jednym stopniu swobody), lub łączyć pomiędzy sobą.

Przedmiotem wynalazku jest również łożysko foliowe, które zawiera folie oraz panew, która składa się z jednej części, lub może być podzielona na segmenty w liczbie od dwóch do maksymalnej liczby segmentów mieszczących się na obwodzie.

Łożysko, gdzie segmenty panwi, promień zakrzywienia oraz kąt nachylenia mogą być ruchome.

Łożysko, gdzie folie składają się z jednej części, lub mogą być podzielone na segmenty w liczbie od dwóch do maksymalnej liczby segmentów mieszczących się na obwodzie.

Łożysko, gdzie folie stanowią zespół folii, lub mogą być zastąpione innym elementem zapewniający odpowiednie podparcie wału.

Nowe aktywne łożysko foliowe będące przedmiotem niniejszego wynalazku, charakteryzuje się możliwościami zmian geometrii łożyska w trakcie pracy wirnika. Proponowane zmiany kształtu łożyska zmniejszają moment startowy podczas rozruchu poprzez zmniejszenie tarcia podczas rozbiegu i wybiegu. Możliwe są również zmiany charakterystyk dynamicznych wirnika (amplitudy drgań) osadzonego na łożyskach foliowych o zmiennym kształcie. Możliwa jest zmiana kilku zaproponowanych paramentów np. zmiana grubości warstw podpierających, czyli zmiana filmu smarnego lub zespołu folii. Można optymalizować (dostosować) dynamicznie łożysko do warunków pracy np. w szerokich zakresach prędkości obrotowych uwzględniających przejście przez, niekorzystne dla wirnika, prędkości rezonansowe. Poprzez zmianę geometrii panwi łożyska (całego łożyska) w trakcie pracy można płynnie zmniejszyć amplitudę drgań wirnika podczas przechodzenia przez prędkości rezonansowe. Można również optymalizować amplitudę drgań (stabilność wirnika) przy różnych prędkościach w tym przy prędkości nominalnej. Przy odpowiednim monitorowaniu parametrów możliwe jest również reagowanie (poprzez zmiany geometrii łożyska) na zmiany pochodzące z czynników zewnętrznych np. na zwiększenie się temperatury łożyska, niewyważenia wirnika lub jego amplitudy drgań.

W konwencjonalnych łożyskach foliowych zmiana kształtu panwi nie jest możliwa. Przy dużej prędkości obrotowej, jeśli dojdzie do ciągłego kontaktu między wałem a folią gładką nastąpi przetarcie tej folii, a nawet przetopienie się części materiału, który ma właściwości ślizgowe, co prowadzi do szybkiego zużycia się łożyska. Stosowanie adaptacyjnych zmian geometrii łożyska oraz jego kształtu zapobiega m.in. przecieraniu się folii w razie kontaktu wału z folią ślizgową, co zwiększy bezpieczeństwo pracy. Ponadto przy awaryjnym odstawieniu maszyny wirnikowej podpartej na łożyskach foliowych o sterowanej geometrii, istnieje możliwość zaciśnięcia czopów łożyskowych co spowoduje bardzo szybkie zatrzymanie wirnika tej maszyny.

Zaletą rozwiązania według wynalazku jest:

- Minimalizacja drgań przy prędkości nominalnej – poprawa właściwości dynamicznych oraz mniejszy hałas.
- Minimalizacja drgań przy prędkościach rezonansowych wirnika.
- Minimalizacja drgań w szerokim zakresie prędkości obrotowych wirnika.
- Kompensacja wpływu temperatury na właściwości dynamiczne.
- Minimalizacja strat tarcia w szerokim zakresie pracy wirnika.
- Poprawa sprawności maszyn wirnikowych.
- Poprawa bezpieczeństwa pracy.
- Zmniejszenie kosztów eksploatacyjnych poprzez zminimalizowanie zużycia folii ślizgowej
- Wydłużenie okresu pracy i zmniejszenie liczby koniecznych przeglądów.

Przedmiot wynalazku jest uwidoczniony w przykładzie wykonania na rysunku, na którym:

Fig. 1 – przedstawia aktywne łożysko foliowe W widoku jednej części C1, a,

Fig. 2 – przedstawia aktywne łożysko foliowe W widok 3 segmentów,

Fig. 3 – przedstawia schemat wykresu łożyska prędkości obrotowej do amplitudy drgań,

Fig. 4 – przedstawia schemat wykresu łożyska – zmniejszenie trajektorii drgań czopów łożyskowych.

Fig. 5 i Fig. 6 – przedstawia schemat wykresu łożyska – zmniejszenie momentu tarcia w łożysku.

Możliwy do uzyskania efekt działania aktywnego łożyska foliowego widoczny na Fig. 3 to zmniejszenie amplitudy drgań oraz eliminacja drgań rezonansowych widocznych poprzez większą amplitudę drgań w klasycznych łożyskach foliowych.

Możliwy do uzyskania efekt zmniejszenia trajektorii drgań czopów łożyskowych przy tej samej prędkości obrotowej przed i po zastosowaniu sterowania aktywnego i klasycznego łożyska foliowego przedstawiono na Fig 4. Przy mniejszej amplitudzie drgań dla danej prędkości obrotowej straty nadłopatkowe mogą być mniejsze, co korzystnie wpłynie nie tylko na właściwości dynamiczne, ale również na inne parametry pracy takie jak sprawność, maksymalna dopuszczalna temperatura pracy łożysk itd. Z punktu widzenia obliczeń dynamicznych łożysk na zmiany trajektorii czopa łożyskowego wpływają bezpośrednio współczynniki sztywności i tłumienia filmu gazowego oraz folii. Współczynniki sztywności rozumiane jako wielkość odkształcenia w odpowiedzi na siły. Współczynniki tłumienia rozumiane jako straty energii układu drgającego.

Możliwy do uzyskania efekt działania aktywnego łożyska foliowego widoczny na Fig. 5 to zmniejszenie momentu tarcia podczas rozruchu i pracy maszyny wirnikowej. Szczególnie duże zmiany są podczas startu takiego łożyska, ponieważ gdy wirnik nie osiągnie jeszcze prędkości obrotowej przy której wytworzy się film smarny to folie mogą być zaciśnięte na czopie wirnika. Aktywne łożyska foliowe nie wymagają tak dużego momentu rozruchowego jak w przypadku klasycznych łożysk foliowych.

poz. 1 – Przedstawia klasyczne łożysko foliowe (stan techniki).

gdzie:

- 1 – oznacza panew.
- 2 – oznacza folię falistą zapewniającą odpowiednie warunki podparcia łożyska, czyli sztywność i tłumienie.
- 3 – oznacza folię gładką zapewniającą mały współczynnik tarcia pomiędzy wałem.
- 4 – oznacza wał.
- $\varnothing D$ – oznacza średnicę zewnętrzną panwi
- $\varnothing d$ – oznacza średnicę wewnętrzną folii gładkiej

Aktywne łożysko foliowe może składać się z jednej części (tuleja) lub też z wielu segmentów. W tym wypadku pokazano wydzielony jeden segment. Przy takiej długości segmentu na obwodzie łożyska zmieszczą się trzy segmenty przedstawione na następnym rysunku.

Oznaczenia figur

Strzałki oznaczają stopnie swobody.

- 1 – oznacza panew umożliwiającą zmianę promienia krzywizny np. na skutek segmentowej budowy.
- 2 – oznacza folię falistą zapewniającą odpowiednie warunki podparcia łożyska, czyli sztywność i tłumienie.
- 3 – oznacza folię gładką zapewniającą mały współczynnik tarcia pomiędzy wałem.
- 4 – oznacza wał.
- 5 – oznacza aktuator umożliwiające zmiany geometrii poprzez liniowe lub obrotowe przemieszczanie elementów łożyska. Mogą to być różnego rodzaju materiały inteligentne np. materiały piezoelektryczne, materiały z pamięcią kształtu, i różne mechanizmy takie jak silniki krokowe, serwo-mechanizmy itp.
- 6 – oznacza aktuator umożliwiające zmiany geometrii poprzez liniowe lub obrotowe przemieszczanie elementów łożyska. Możliwa jest zmiana w kierunku promieniowym, prostopadle do niego lub poprzez zmianę kąta obrotu. Mogą to być różnego rodzaju materiały inteligentne np. materiały piezoelektryczne, materiały z pamięcią kształtu oraz mechanizmy takie jak silniki krokowe, serwo-mechanizmy i itp.

W łożysku może występować zmiana średnicy $\varnothing D$ lub $\varnothing d$, która powoduje, że łożysko może zmieniać średnicę, ale również nie musi być kołowo-cylindryczne, tylko może mieć inny kształt np. elipsy lub „cytryny”. Zmiany w kierunku prostopadłym do promienia umożliwiają przesunięcie panwi (offset).

Przykład:

- a) Fig. 3 przedstawia zmiany sześciu stopni swobody oznaczonych strzałkami na rysunku, które będą wpływały na właściwości dynamiczne łożysk. łożysko foliowe ze zmienną geometrią nazywane będzie aktywnym łożyskiem foliowym. Zespół folii sprężystych ma niską sztywność i dobre właściwości tłumiące. Zmiana geometrii łożyska umożliwia dostosowanie parametrów łożyska do warunków pracy.
- b) Na Fig. 2 przedstawiono jedną z trzech części aktywnego łożyska foliowego ($C=1$). Na kolejnym rysunku (fig. 3) widoczne jest całe złożenie.
- c) Na fig. 3 przedstawiono zmiany kształtu łożyska, które mogą być dostosowane do parametrów pracy. Poprzez parametry pracy można rozumieć np. monitorowaną w łożysku amplitudę

- drgań lub temperaturę. Zmiana kształtu może występować w oznaczonych przez stopnie swobody kierunkach. Zastosowanie łożyska o takich właściwościach charakteryzują się zmniejszeniem zużycia powierzchni folii gładkiej i bardziej równomiernym podparciem czopa wału. Ponadto zmiana parametru $\varnothing d$ umożliwi regulację luzu smarnego podczas pracy wirnika podpartego na aktywnych łożyskach foliowych przy zmiennych warunkach pracy wirnika.
- d) Fig. 3 ilustruje zmiany odległości segmentów łożyska foliowego za pomocą parametru d lub D . Parametry te mogą mieć wartość zapewniającą całkowite zaciśnięcie łożyska oraz z drugiej strony zapewnienie bardzo dużego luzu podczas pracy łożyska. Stosowanie tego rozwiązania charakteryzuje się zmniejszeniem zużycia powierzchni folii falistej oraz czopa.
 - e) Parametr określający ilość segmentów oznaczono symbolem C i może on wynosić od 1 do maksymalnej ilości, która zmieści się na obwodzie panwi łożyska. Na rysunku przedstawiono łożysko z parametrem wynoszącym $C = 3$. Nie zależnie od wartości C w panwi zamocowane są folie bądź segmenty folii. Po złożeniu wszystkich elementów, łożysko osadzone jest na czopie. Obudowa łożyska, podobnie jak segmenty folii może być podzielona na części, ale może być też jednym elementem.
 - f) Jako efekt zmian geometrii aktywnego łożyska foliowego są zmiany parametru sterującego $\varnothing D$ lub $\varnothing d$ na skutek przemieszczeń wzdłuż opisywanych stopni swobody. W efekcie tych zmian można uzyskać różne średnice łożyska oraz kształt łożyska inny niż kołowo-cylindryczny. Łożysko tego typu charakteryzuje się zmniejszeniem zużycia powierzchni styku folii oraz lepszymi właściwościami anty wibracyjnymi, jak to pokazano np. na fig. 4.

Przedstawione przykłady nie obejmują wszystkich możliwych wariantów realizacji aktywnych łożysk foliowych według wynalazku. Zespół folii znajdujący się między czopem i panwią łożyska może zawierać więcej niż dwie sąsiadujące ze sobą warstwy folii. Warstwy folii mogą być zastąpione innym materiałem podatnym spełniającym podobne funkcje lub umożliwiającym zmiany geometrii łożyska. Ponadto folia falista, gładka lub panew mogą być podzielone na segmenty. Segmenty mogą być sterowane niezależnie lub wspólnie, przez co możliwe jest uzyskanie kształtu łożyska innego niż cylindryczny – np. w kształcie cytryny lub kilku fragmentów okręgów/elips. W trakcie eksploatacji aktywnego łożyska foliowego możliwa jest zmiana nie tylko średnicy łożyska, ale również jego kształtu np. z cylindrycznego na eliptyczny.

W aktywnych łożyskach foliowych według wynalazku ujawniona zasada działania łożyska polega na zmianach geometrii łożyska dostosowanych do panujących warunków pracy wirnika osadzonego na takich łożyskach. Zmiany opisanych powyżej parametrów będą wpływały na różne charakterystyki łożyska, przede wszystkim na jego sztywność i tłumienie. Wartości te mają wpływ na właściwości dynamiczne oraz charakterystyki eksploatacyjne wirnika pracującego na takich łożyskach. W efekcie może być zmieniana i optymalizowana dynamika wirnika, moment rozruchowy, temperatura pracy. Proponowana konstrukcja łożyska wpływa jednocześnie na zwiększenie żywotności zespołu folii w łożysku. Zmiany geometrii łożyska mogą być zadawane w oparciu o dane z góry wartości, lub mogą być dobrane na podstawie odpowiednio dobranych algorytmów optymalizacji.

Zastrzeżenia patentowe

1. Sposób zmiany geometrii łożyska foliowego w co najmniej jednym kierunku **znamienny tym**, że elementem łożyska są aktuatory (5), (6) znajdujące się pomiędzy folią falistą (2) a panwią (1), które są regulowane niezależnie lub wspólnie w czasie pracy maszyny wirnikowej.
2. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że za pomocą aktuatorów (5), (6) zmienia się wielkość i kształt szczeliny smarnej.
3. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że podczas pracy łożyska możliwa jest zmiana parametrów łożyska takich jak współczynniki sztywności i tłumienia filmu gazowego oraz folii (2), (3).
4. Sposób według zastrz. 1, **znamienny tym**, że regulację aktuatorów (5), (6) można stosować pojedynczo (tylko w jednym stopniu swobody), lub łączyć pomiędzy sobą.
5. Łożysko foliowe **znamienne tym**, że zawiera folie (2), (3) oraz panew (1), które składa się z jednej części, lub może być podzielone na segmenty w liczbie od dwóch do maksymalnej liczby segmentów mieszczących się na obwodzie.

6. Łożysko według zastrz. 5, **znamiennie tym**, że segmenty panwi, promień zakrzywienia oraz kąt nachylenia mogą być ruchome.
7. Łożysko według zastrz. 5, **znamiennie tym**, że folie (2), (3) składają się z jednej części, lub mogą być podzielone na segmenty w liczbie od dwóch do maksymalnej liczby segmentów mieszczących się na obwodzie.
8. Łożysko według zastrz. 5, **znamiennie tym**, że folie (2), (3) stanowią zespół folii, lub mogą być zastąpione innym elementem zapewniający odpowiednie podparcie wału.

Rysunki

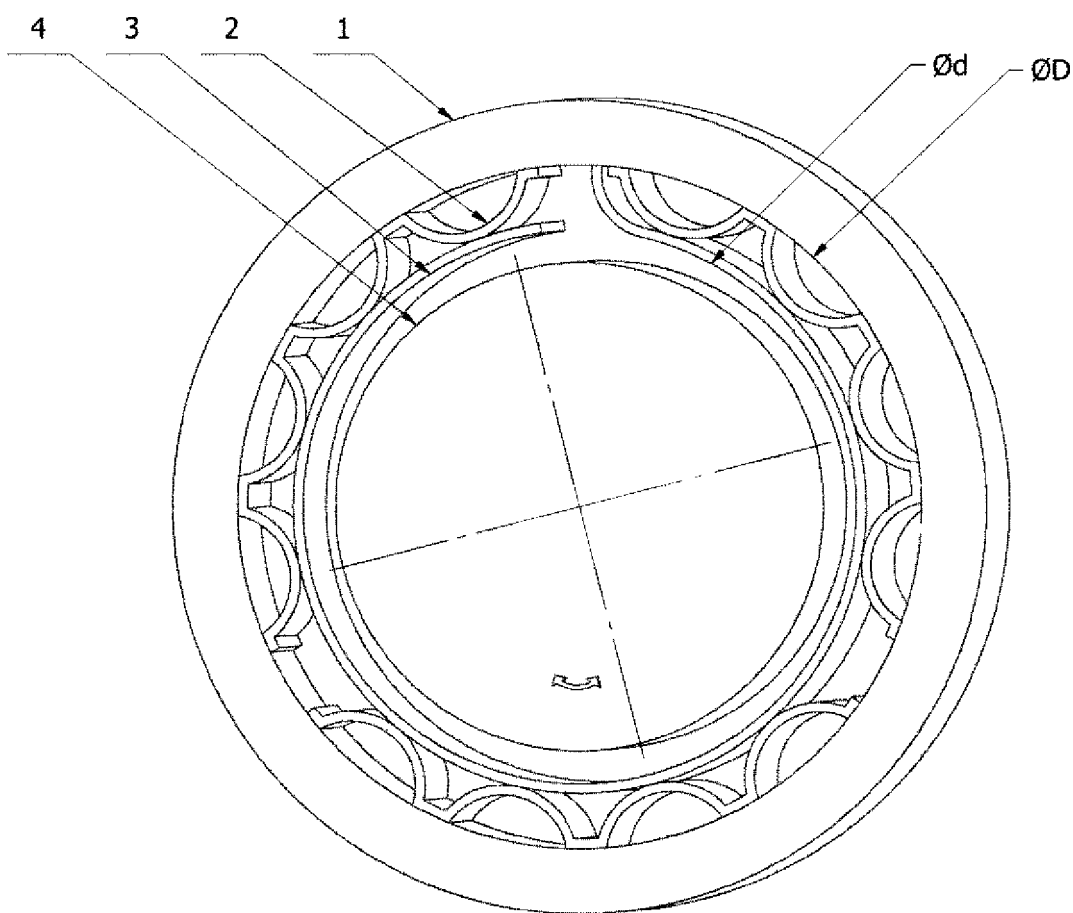


Fig. 1.

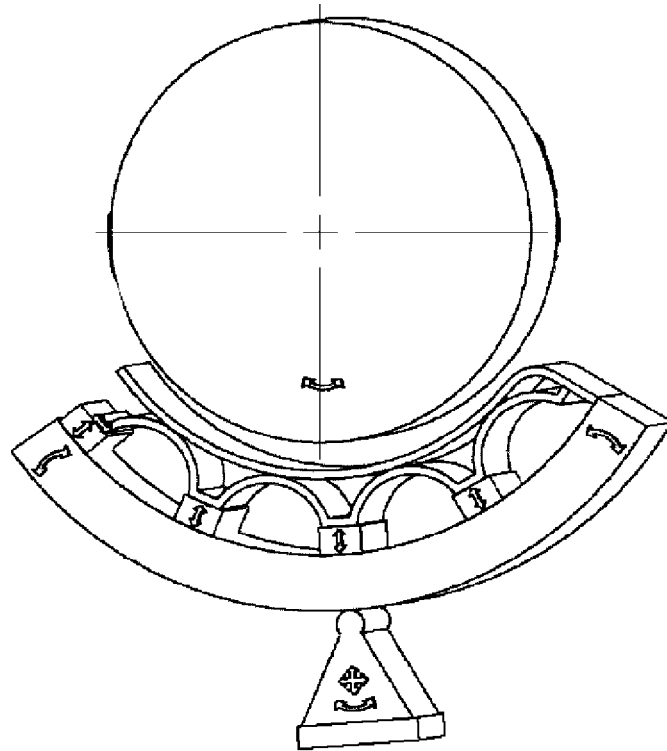


Fig. 2.

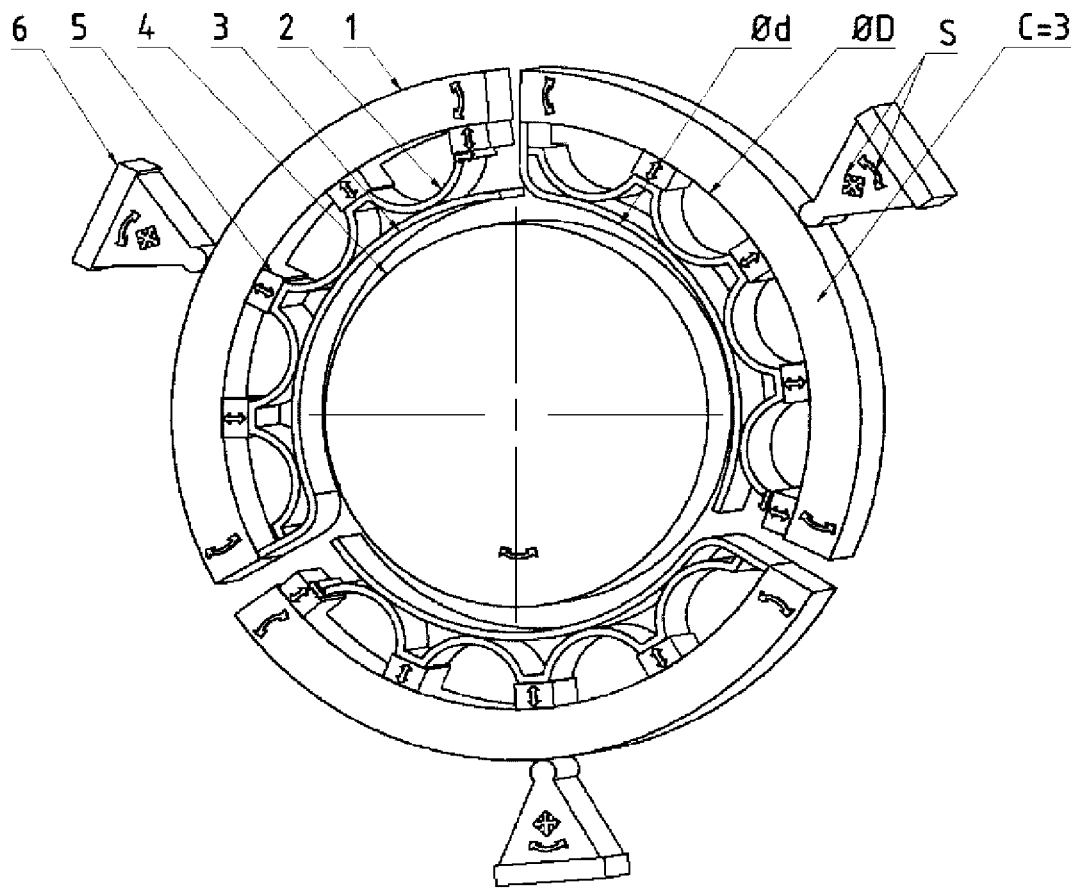


Fig. 3.

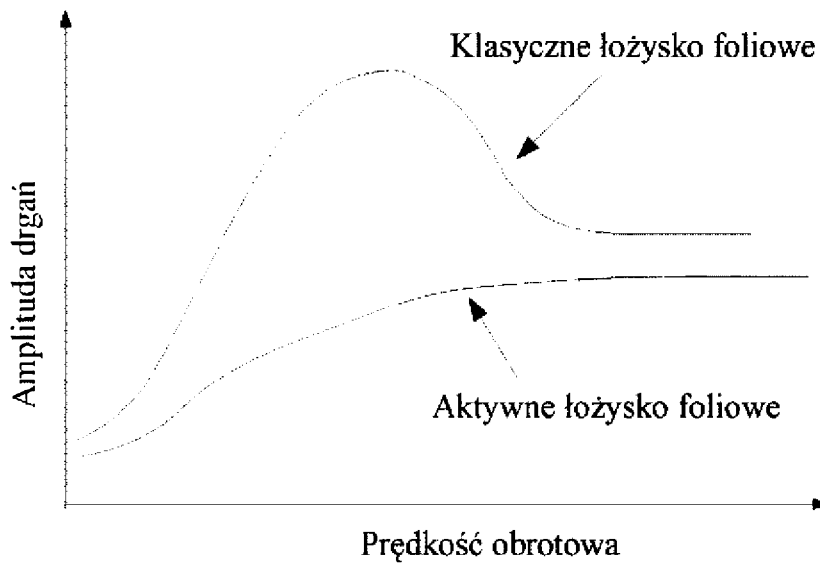


Fig. 4.

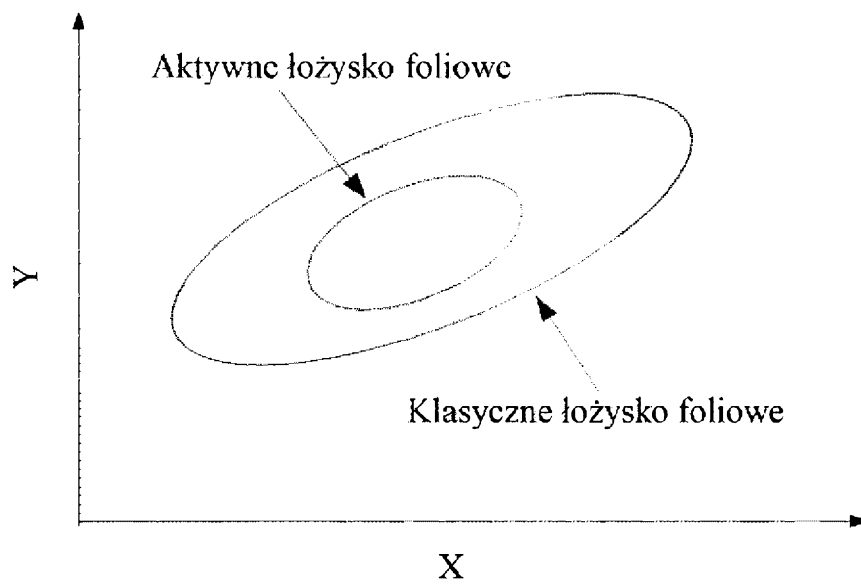


Fig. 5.

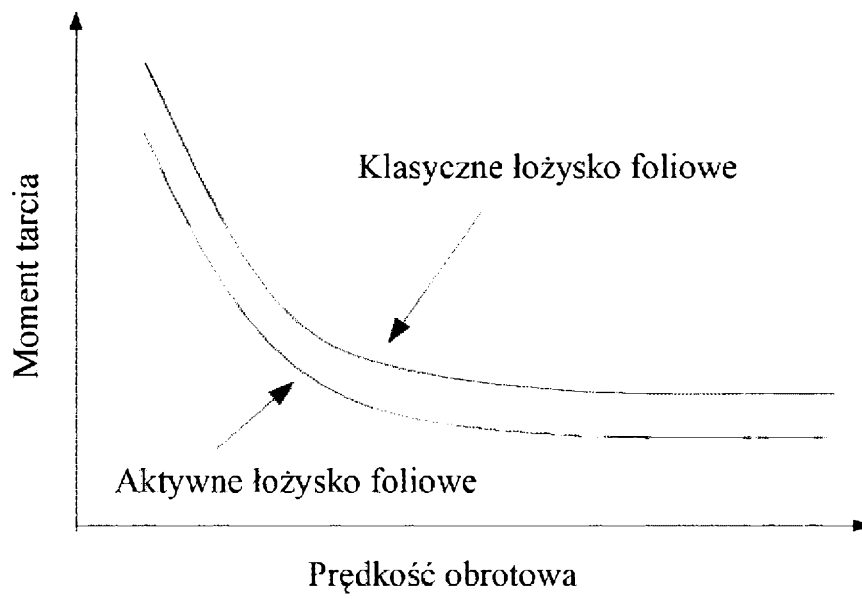


Fig. 6.