



„Problemy identyfikacji stanu uszczelnianych łożysk wałów
wirników”

Piotr Bielawski

Szczecin, 2010



**INNOWACYJNA
GOSPODARKA**
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO



Problemy identyfikacji stanu uszczelnianych łożysk wałów wirników

prof. dr hab. inż. Piotr Bielawski

WSTĘP

W maszynach takich jak pompy, sprężarki i turbiny istnieje konieczność zapewnienia szczelności. Utrata szczelności wiąże się z przeciekiem medium. Występujący przeciek mierzony jest kosztami strat medium w przypadku np.: wody chłodzącej, sprężonego powietrza, pary. W wielu przypadkach przeciek równoznaczny jest emisji szkodliwych substancji: szkodliwych dla zdrowia, trujących, palnych, wybuchowych, radioaktywnych.

Krytyczne miejsce to obszar między korpusem maszyny a wałem łączącym maszynę z silnikiem napędzającym. W tych miejscach stosuje się uszczelnienia ażeby skutecznie zapobiegać:

1. przedostawaniu /wdzieraniu się z zewnątrz wody kurzu, brudu itp.,
2. wydostawaniu / wyciekom medium i/lub cieczy roboczej takiej jak olej smarujący na zewnątrz.

Szczelności między wałem przechodzącym przez korpus i korpusem wymaga się również od większości maszyn wyposażonych w pędnik: wały śrubowe, wały turbin wodnych itp.

Koszty uszczelnień i łożysk są w ogólności niskie biorąc pod uwagę inne elementy maszyn. Uszkodzenia uszczelnień i/lub uszkodzenia łożysk mogą bardzo szybko doprowadzić do zatrzymania całej maszyny lub systemu, przez co skutkiem przerw w produkcji i uszkodzeń wtórnych powstają koszty niebędące w żadnym stosunku do wartości uszczelnienia lub łożyska.

Celem wczesnego wykrycia uszkodzeń uszczelnień i łożysk dokonuje się identyfikacji ich stanu. Stosowane obecnie metody i środki identyfikacji nie są zadawalające i wystarczające. Poniżej zostaną przedstawione problemy identyfikacji zespołu składającego się z promieniowego łożyska ślizgowego i promieniowego uszczelnienia wału.

USZCZELNIENIA PROMIENIOWE WAŁÓW

Uszczelnienia stosowane do uszczelniania przestrzeni między wałem i korpusem należą do uszczelnień dynamicznych i, podobnie jak łożyska podpierające wał wirnika osadzone są w korpusie i współpracują z czopem wału.

Zasada działania uszczelnień dynamicznych polega na ekstremalnym zmniejszeniu wysokości szczeliny rozdzielającej poprzez odpowiednio dokładnie obrobione powierzchnie, na czym z reguły polega działanie dynamicznie obciążonych uszczelnień stykowych lub też poprzez zwiększanie spadków ciśnień pomiędzy konstrukcyjnie rozdzielonymi przestrzeniami, jako podstawa działania uszczelnień bezstykowych [1].

W uszczelnieniach dynamicznych elementy stanowiące parę uszczelniającą wykonują ruch względny a konieczna celem realizacji ruchu szczelina między nimi wypełniona jest smarem lub płynem roboczym.

Uszczelnienia stykowe elementów wykonujących ruch obrotowy (uszczelnienia wałów) dzieli się na:

1. uszczelnienia promieniowe: uszczelnia wał względem otworu, w którym jest on łożyskowany, (w którym się znajduje),
2. uszczelnienia osiowe (czołowe): działanie uszczelniające w stosunku do ustawionej prostopadle do wału ścianki lub kołnierza.

Uszczelnienia promieniowe wałów dzieli się na:

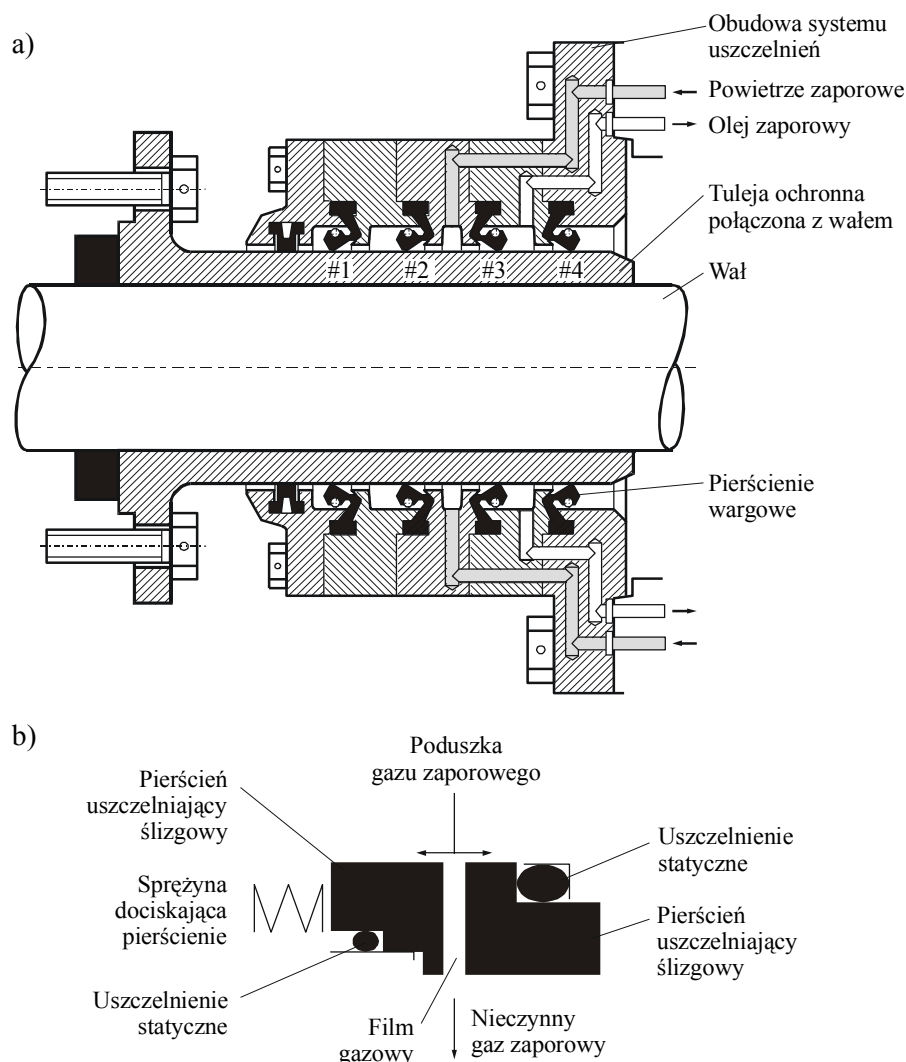
- uszczelnienie pasywne: szczelina uszczelniająca jedynie dławi strumień cieczy, zawsze przeciek występuje,
- uszczelnienie aktywne: ruch względny między elementami uszczelnienia jest wykorzystywany do przepompowania przecieku z powrotem do przestrzeni uszczelnianej.

Stosowane są systemy / układy uszczelnień. Przez dodatkowe doprowadzenie energii do systemu uszczelnień względnie przez umiejętne wykorzystanie dostarczanej do uszczelnienia energii osiąga się szczelność:

- albo przez utworzenie przeciwcisnienia w stosunku do ciśnienia uszczelnianego medium celem stworzenia zapory,
- lub przez wytworzenie w szczelinie uszczelniającej przeciwnie skierowanego strumienia kompensującego strumień przecieku.

Cechą charakterystyczną tzw. uszczelnień zaporowych jest medium zaporowe, rys.1. [2] . Medium zaporowym może być medium uszczelniane lub obce, najczęściej ciecz, rzadziej gaz. Najprostsze uszczelnienie z medium zaporowym to uszczelnienie podwójne, w którym medium zaporowe ma ciśnienie wyższe od medium uszczelnianego. Do atmosfery dostaje się tylko medium zaporowe. Niewielka część medium przedostaje się do uszczelnianego medium.

Powstające ciepło tarcia musi być odprowadzone przez uszczelniane medium lub przez medium zaporowe. Niekiedy konieczne jest zastosowanie chłodziw powietrznych lub wodnych.



Rys. 1. Uszczelnienia wałów: uszczelnienia z płynem zaporowym; a) system uszczelnień z pierścieniami wargowymi (uszczelnienie wału śrubowego statku), b) uszczelnienie czołowe z pierścieniami ślizgowymi smarowanymi gazem

Według [1] bardzo często mówi się niewłaściwie o niezdatności uszczelnienia, najczęściej chodzi jednak o uszkodzenie spowodowane niewłaściwym rozwiązaniem problemu konkretnego uszczelnienia. Przykładowo duży wpływ na szczelność i niezawodność uszczelnień ma smarowanie i chłodzenie w przestrzeni, w której znajduje się uszczelnienie. Obowiązuje reguła, że podwyższenie temperatury elastomerowych elementów o 10K skutkuje 50% spadkiem długości życia, względnie temperatura niższa o 10K oznacza podwojenie długości życia[10].

W uszczelnieniach promieniowych [2, 3]:

- szczelina między elementami uszczelnienia zwilżana jest płynem uszczelnianym,

- szczelina znajduje się między dwoma elementami o dużej prędkości względnej i dzieli przestrzeń o różnym ciśnieniu,
- elementy tworzące szczelinę ulegają zużyciu, w szczególności, jeżeli uszczelniane płyny zawierają cząstki stałe,
- powstają straty mocy, na które składają się przecieki oraz straty tarcia,
- płyn znajdujący się w szczelinie poddawany jest dużym naprężeniom tnącym,
- istnieją trudności w usuwaniu zanieczyszczeń.

W zależności od wieku i konserwacji uszczelnienia przeciek może wzrosnąć wielokrotnie [4].

Ciśnienie działające na uszczelnienie nie ma teoretycznie bezpośredniego wpływu na szczelność lub przeciek. W rzeczywistości uszczelnienie pod wpływem działającego ciśnienia ulega deformacji i przekrzywieniu, przez co zmieniają się ciśnienie w szczelinie i grubość filmu olejowego. To samo dotyczy tarcia pomiędzy uszczelnieniem i wałem, które również może powodować deformacje i przekrzywienia uszczelnienia. Postępujące zużycie i relaksacja zmieniają również rozkład ciśnień w szczelinie [5].

BADANIA SZCZELNOŚCI USZCZELNIEŃ

Miarą zdolności uszczelnienia do uszczelniania jest spełnienie kryterium przecieku definiowane, jako ilościowe ograniczenie niedającego się wyeliminować przepływu substancji między konstrukcyjnymi przestrzeniami. Przekroczenie tego kryterium skutkuje uznaniem połączenia za nieszczelne. Obserwuje się ciągle zaostanie tego kryterium: dopuszczalne przecieki mają coraz mniejsze wartości [1]. Wszystkie w praktyce stosowane uszczelnienia mają określone przecieki nawet wtedy, kiedy są one trudne do wykazania. Można to dobrze przedstawić porównując wymiary molekuł np. molekuły azotu (średnica $3,8 \cdot 10^{-4} \mu\text{m}$) z głębokością nierówności technicznej powierzchni (0,1 do $10 \mu\text{m}$), która ma być uszczelniona [4].

Zgodnie z warunkami technicznymi i procedurami szczelność należy przedstawiać, jako natężenie przecieku w jednostkach przepustowości gazu ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{s}$) dla określonego gazu, w określonych warunkach temperatury i ciśnienia [6].

Definicję przecieku, metody pomiaru natężenia przecieku i metody lokalizacji przecieku przedstawiono w [2].

Podczas badań szczelności bada się obiekty z zamontowanymi uszczelnieniami. Rozróżnia się pomiary szczelności i próby szczelności. Metody i środki badań są zależne od rodzaju uszczelnienia.

W przypadku pomiarów szczelności mierzy się wartość przecieku metodami opisanymi w [2]. W przypadku prób szczelności wynikiem jest stwierdzenie (na podstawie pomiarów metodami najczęściej pośrednimi), że występujący przeciek jest większy lub mniejszy od

dopuszczalnego. Bada się płynem roboczym pod ciśnieniem 1,25 – 1,5 ciśnienia roboczego rzadziej płynem znakującym.

Przeciek uszczelnień dynamicznych, które muszą pracować na „mokro”, może przybrać formę wycieku cieczy, to znaczy może być zaobserwowany wzrokowo. Według [4] przeciek, który może być stwierdzony przez wyciek cieczy, jest przeciekiem większym od dopuszczalnego i oznacza, że przeciek jest większy niż $0,5 \text{ mbar}\cdot\text{l}\cdot\text{s}^{-1}$.

W przypadku uszczelnień statycznych pomiary przecieków mogą być realizowane z zadawalającą dokładnością w szczególności w warunkach medium roboczego przy nadciśnieniu.

Bezproblemowo i z bardzo dużą dokładnością mogą być mierzone przecieki we wszystkich uszczelnieniach w warunkach statycznych bez obciążenia roboczego. Prosta w pomiarze jest lokalizacja przecieków płynów o temperaturze wyższej lub niższej od otoczenia.

W przypadku większości uszczelnień dynamicznych konieczne są specjalne i specyficzne dla danego rodzaju uszczelnienia sposoby a nawet metody oceny stanu uszczelnienia. Pomiary grubości filmu smarującego i pomiary temperatury ciepła tarcia są tego przykładem. Dużo większe możliwości rozwoju metod diagnozowania istnieją dla układów uszczelnień (w tym uszczelnień labiryntowych) i układów uszczelnień z płynem, w szczególności gazem zaporowym..

W przypadku układów uszczelnień z medium zaporowym przeciek następuje najpierw do medium zaporowego. Poszukuje się metod wykrywania obecności medium uszczelnianego w medium zaporowym:

- istnieją doniesienia o chemicznych wykrywaczach wody w oleju, jako medium zaporowym układu uszczelnień okrętowego wału śrubowego,
- do wyobrażenia są również wykrywacze cieczy w gazie (powietrzu) zaporowym.

Nowa metoda pomiaru przecieków w układzie uszczelnień mogłaby polegać na zastosowaniu gazów znakujących (helu, azotu), jako gazów zaporowych i wykrywaniu przecieków tych gazów po drugiej stronie uszczelnienia – po stronie atmosferycznej lub w uszczelnianym medium [2].

ŁOŻYSKA ŚLIZGOWE PROMIENIOWE

Łożyska ślizgowe promieniowe należą do łożysk hydrodynamicznych. Podczas pracy łożyska czop wału i panewka oddzielone są od siebie warstwą cieczy. Zależności między grubością warstwy cieczy rozdzielającej, warunkami pracy i stanem technicznym łożyska opisuje teoria smarowania hydrodynamicznego.

Łożyska ślizgowe promieniowe stanowią węzły tribologiczne przystające i podczas eksploatacji ulegają zużyciu ściernemu, adhezyjnemu, gruzelkowatemu, przez łuszczenie,

erozyjnemu i korozyjnemu. Uszkodzenie łożysk skutkuje zacieraniem i uszkodzeniami wtórnymi.

Dla wielu maszyn łożyskowanych w łożyskach ślizgowych zadawalające są metody diagnozowania w oparciu o trajektorię środka czopa (położenie środka czopa) wału wirnika. Istota pomiaru podana jest w normie [7] oraz licznych publikacjach np.: [8, 9]. Oferowane są stacjonarne i przenośne systemy do pomiaru i dozoru drgań wałów. Położenie środka czopa wału w płaszczyźnie pomiaru zależy od położenia podpór, nośności łożyska oraz od obciążenia działającego na wirnik. Nośność łożyska ślizgowego dla danej prędkości obrotowej zależy jest od stanu technicznego łożyska (czopa i panewki) oraz stanu technicznego cieczy (oleju) smarującej. Na obciążenie wirnika składa się obciążenie robocze, obciążenie ciężarem własnym, obciążenie spowodowane niewyważeniem wirnika oraz obciążenie spowodowane niewspółosiowym ustawieniem wałów silnika i odbiornika mocy. Na kształt trajektorii czopa wpływają ponadto własności dynamiczne wirnika i łożyska (w tym cieczy smarującej) [8, 9, 10]. Ze zmiany położenia trajektorii, zmiany jej kształtu, wymiarów i kierunku przemieszczania można wnioskować o zmianie obciążeń i zmianie stanu maszyny.

W przypadku łożysk ślizgowych wałów śrubowych podstawową metodyką oceny stanu przeglądy. Przeprowadzenie przeglądów wymaga dostępu do wszystkich elementów wału śrubowego celem oceny ich struktury i geometrii: wykonywane są określone badania nieniszczące (najczęściej wizualne, penetracyjne, magnetyczno-proszkowe i ultradźwiękowe) i pomiary wielkości geometrycznych. Nieograniczony dostęp do elementów wału śrubowego wiąże się z unieruchomieniem napędu, dokowaniem statku, demontażem śruby, demontażem uszczelnień, demontażem łożyska rufowego i wyjęciem wału.

Towarzystwa klasyfikacyjne zalecają ponadto pewne metody oceny, które wyczerpują znamiona diagnostyki technicznej. Diagnozowanie wału śrubowego według PRS [11] polega na:

- pomiarach temperatury panewek w miejscach przewidzianych, jako najbardziej obciążone,
- pobieraniu próbek oleju smarującego łożysko rufowe i analizie pobranej próbki oleju.

W oparciu o zasadę zachowania energii można uzasadnić, że gradient temperatury będący miarą zmiany energii wewnętrznej panewki związany jest z intensywnością procesów tribologicznych w łożysku ślizgowym: wskazuje na akumulowanie energii i niebezpieczeństwo przetworzenia tej energii w pracę procesów destrukcyjnych skutkujących uszkodzeniem łożyska. Diagnostyka ujmująca taką metodę diagnozowania nazywana jest diagnostyką termalną.

W oparciu istotę diagnostyki konwekcyjnej można wykazać, że analiza próbki oleju może dostarczyć:

- informacji o stanie technicznym oleju – oleju, jako trzecim elemencie węzła tribologicznego,

- informacji o stanie innych elementów wału śrubowego: czopa wału, panewki i uszczelnienia.

Wadą diagnostyki termalnej jest to, że wskazuje na intensywność procesów destrukcyjnych zachodzących w momencie obserwacji, a nawet z pewnym opóźnieniem wynikającym z bezwładności toru pomiarowego. Diagnostyka konwekcyjna off-line dostarcza informacji z opóźnieniem wynikającym z czasu potrzebnego na pobranie próbki, dostarczenie jej do laboratorium, dokonanie analizy i przesłanie wyników analizy.

USZCZELNIENIA I ŁOŻYSKA

Uszczelnienia promieniowe wałów i promieniowe łożyska ślizgowe wykazują następujące:

- podobieństwa:
 - są to węzły tribologiczne przystające, współpracujące ciała stałe oddzielone są warstwą smaru /cieczy, powstaje siła / moment tarcia pod wpływem obciążeń promieniowych,
 - pierścień uszczelniający i panewka osadzone są w gniazdach – otworach w elementach korpusu, współpracują z tym samym czopem wału,
 - łożysko i pierścienie posiadają swoją sprężystość i tłumienie
- różnice:
 - panewka łożyska jest elementem o dużej sztywności, małym tłumieniu, współpracuje na dużej powierzchni z czopem, film olejowy w łożysku posiada ciśnienie równoważące obciążenie działające na panewkę,
 - pierścień uszczelniający wykonany jest z elastomeru, posiada sprężystość postaci i kształtu, duże tłumienie, współpracuje na małej powierzchni z czopem, wytwarza siły promieniowe równomiernie rozłożone na całym obwodzie.

Uszkodzenie pierścieni skutkuje;

- spadkiem ich sprężystości,
- przeciekami. Przeciek w zależności od stosunków ciśnień na zewnątrz i wewnątrz korpusu maszyny może powodować:
 - wyciek cieczy smarującej i niedostateczne smarowanie łożyska,
 - przedostanie się cieczy innej do cieczy smarującej np. wody do oleju, co skutkuje spadkiem lepkości cieczy smarującej.

W dotychczasowej praktyce identyfikacji stanu uszczelnianych łożysk ślizgowych dokonuje się oddzielnie. Oddzielnie identyfikuje się łożysko, oddzielnie uszczelnienie. Wymienione wspólne cechy uszczelnień i łożysk skłaniają do ich identyfikacji, jako identyfikacji zespołu

łożysko-uszczelnienie – identyfikacji z wykorzystaniem trajektorii środka czopa.
Przedmiotowa metoda zostanie przybliżona na przykładzie okrętowego wału śrubowego.

1. Wał śrubowy

Wał śrubowy jest istotnym elementem okrętowego systemu napędowego. Cechą charakterystyczną wału śrubowego jest to, że podparty jest on w łożysku rufowym, przekazuje moment obrotowy z silnika na śrubę oraz siły poosiowe / naporu ze śruby na łożysko oporowe, przechodzi przez kadłub. Na końcu wału śrubowego osadzona jest śruba. Łożysko rufowe jest z reguły łożyskiem ślizgowym smarowanym cieczą najczęściej olejem. Nieodzownym elementem wału śrubowego jest uszczelnienie zabezpieczające przed przedostawaniem się wody do oleju smarującego, oleju do wody morskiej i oleju i wody morskiej do wnętrza statku.

Elementy wału śrubowego ulegają podczas użytkowania statku zużyciu. Zużyciu tribologicznemu ulega wał w miejscach współpracy z uszczelnieniami i panewkami. Zużyciu korozyjnemu i ciernemu ulega również wał na powierzchni łączącej wał ze śrubą. Nagłemu pęknięciu może ulec wał w części gdzie łączy się ze śrubą. Uszczelnienia ulegają najczęściej zużyciu ściernemu oraz starzeniu. Uszkodzenie uszczelnienia skutkuje powstaniem przecieków. Przecieki wody do oleju przyspieszają zużycie tribologiczne czopów wału i panewek. Zużycie tribologiczne skutkuje uszkodzeniem wału śrubowego i niezdatnością napędu, co, przy złej pogodzie może doprowadzić nawet do zatonięcia statku. Do innych przyczyn uszkodzeń wału śrubowego należą deformacje kadłuba statku i zmiany położenia panewek względem czopów wału napędowego.

Wał śrubowy uznany jest przez towarzystwa klasyfikacyjne, jako maszyna o bardzo dużym ryzyku. Celem podwyższenia bezpieczeństwa wały śrubowe poddawane są okresowym przeglądom. Dopuszcza się, a nawet i zaleca diagnozowanie, a premią za diagnozowanie jest możliwość zastąpienia co drugiego przeglądu całkowitego przeglądem uproszczonym – zmodyfikowanym.

Wał śrubowy jest gładkim wałem zakończonym z jednej strony kołnierzem lub czopem do zamocowania sprzęgła łączącego wał śrubowy z wałem napędzającym. Z drugiej strony wał zakończony jest kołnierzem lub stożkiem umożliwiającym osadzenie na nim śruby napędzającej. Wał śrubowy podparty jest z reguły w dwóch hydrodynamicznych łożyskach ślizgowych. Podpora jednego z nich zamocowana jest do fundamentu na dnie podwójnym statku natomiast podpora drugiego łożyska umieszczona jest w tylnicy statku lub w wsporniku rufowym. W przestrzeni między tuleją tylnicy a czopem wału umieszczone są uszczelnienia.

W przypadku diagnozowania wałów śrubowych wyróżnić można trzy punkty ciężkości: diagnozowanie zespołu śruba- wał, diagnozowanie zespołu uszczelnienie – czop wału, diagnozowanie zespołu panewka łożyska – czop wału.

Diagnozowanie uszczelnień sprowadza się do wykrywania i pomiarów przecieków [2]. Stosowane metody i środki diagnozowania uszczelnień wałów śrubowych są

niewystarczające, pojawiają się doniesienia o próbach detekcji przecieków wody do oleju. Detektory tego typu umieszcza się w uszczelnieniach.

Nie są znane publikacje dotyczące diagnozowania zespołu śruba –wał. Ocena stanu sprowadza się do jego demontażu i badań struktury i geometrii czopa wału i śruby.

2. Badania modelowe wału śrubowego

Celem oceny przydatności trajektorii środka czopa wału do identyfikacji zespołu uszczelnienie łożysko ślizgowe przeprowadzono badania drgań poprzecznych modelu wału śrubowego. Model zbudowano tak, aby model był geometrycznie podobny do rzeczywistego wału śrubowego a liczba podobieństwa - liczba Sommerfelda łożyska modelu była taka sama jak dla łożysk rzeczywistych wału (przy takim samym stosunku długości do szerokości łożyska).

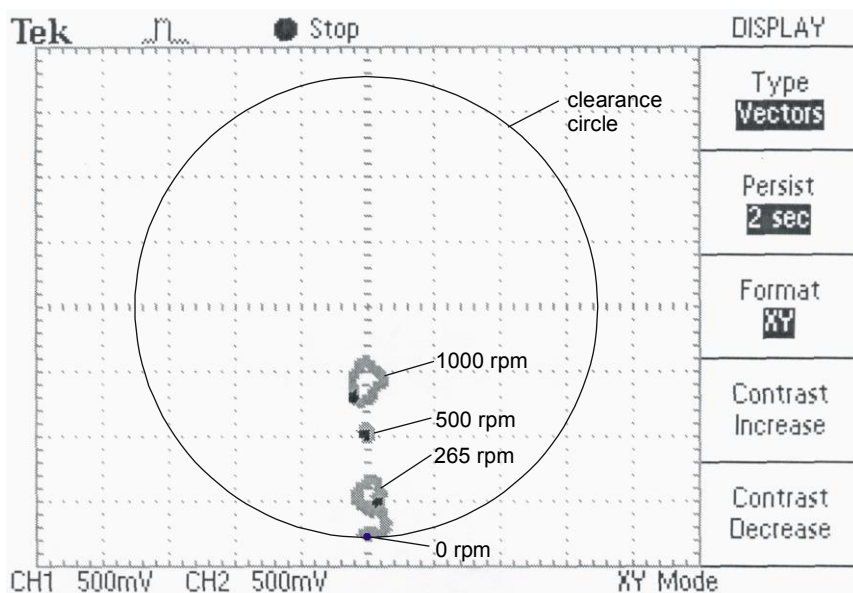
Model fizyczny stworzono w oparciu o stanowisko ROTOR KIT OIL WHIRL/WHIP OPTION firmy Bently Nevada. Do łożyska hydrodynamicznego (do czterech punktów rozłożonych na obwodzie łożyska) doprowadzano ciecz smarującą z autonomicznego układu smarowania. W panewce łożyska, prostopadle do osi łożyska umieszczono, zgodnie z wymaganiami normy [3], parę czujników wiropędowych. Ponieważ integralną częścią wału śrubowego jest uszczelnienie to oddziaływanie uszczelnienia zasymulowano sprężyscie podpartym łożyskiem tocznym. Łożysko toczne zamocowane było pierścieniem wewnętrznym na wale, pierścień zewnętrzny natomiast rozpięty był za pomocą czterech sprężyn w ramce zamocowanej na wspólnym fundamencie stanowiska. Oś łożyska tocznego pokrywa się z osią łożysk ślizgowych wału śrubowego a napięcie sprężyn zbliżone było do napięcia w pierścieniach uszczelniających. Badano przebieg drogi - trajektorię środka czopa oraz mierzono maksymalny promień wodzący trajektorii. Badania trajektorii realizowano z wykorzystaniem układu czujników wiropędowych i oscyloskopu cyfrowego TDS 210. Pomiaru wartości promienia dokonano z wykorzystaniem układu czujników wiropędowych i systemu WIBROPORT 41.

Z uzyskanych przebiegów środka czopa wynika między innymi to, że:

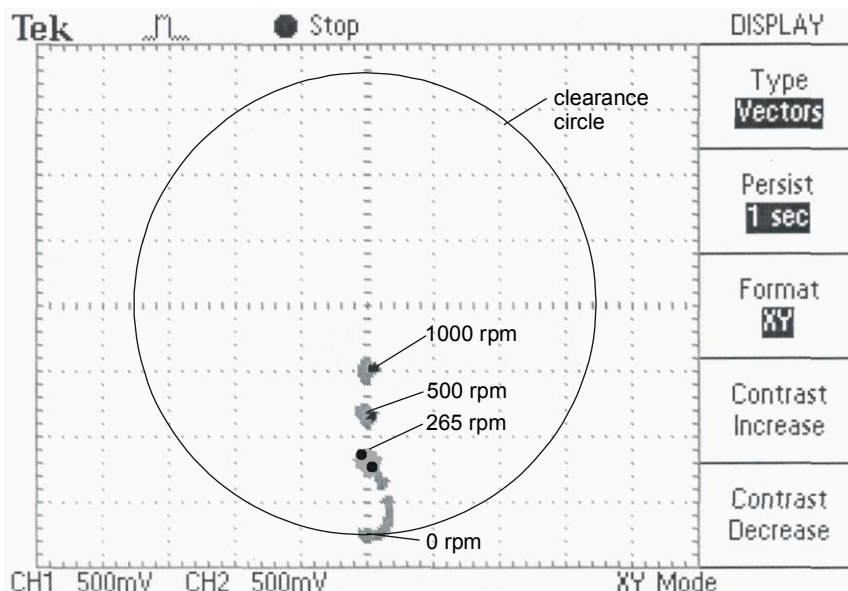
- dla prędkości obrotowej 0 obr/min, kiedy tworząca czopa styka się z tworzącą panewki, środek czopa leży na okręgu koła luzu. Zwiększanie prędkości powoduje początkowo toczenie czopa z poślizgiem po panewce a następnie oderwanie czopa i jego unoszenie na tworzącym się między czopem i panewką filmie olejowym. Środek czopa przemieszcza się początkowo po okręgu koła luzu a następnie przemieszcza się wewnątrz koła luzu w kierunku do środka koła. Im wyższa prędkość obrotowa tym większa grubość filmu olejowego i bardziej środek czopa zbliża się do środka koła luzu, rys. 2, 3,
- dodatkowa sprężystość, inna niż ta wynikająca ze sprężystości filmu olejowego wpływa stabilizująco na przebieg trajektorii środka czopa, porównaj rys. 2 i 3,
- dla ustalonej prędkości obrotowej trajektoria środka czopa w ogólnym przypadku jest figurą zbliżoną do elipsy o wymiarach (np. maksymalnym promieniu wodzącym) tym mniejszych im bardziej stabilna jest praca łożyska (ustalone obciążenie i lepsze

warunki pracy łożyska). Obecność symulowanego uszczelnienia wpływa stabilizująco na trajektorię,

- o wymiary trajektorii środka czopa zależą do prędkości obrotowej czopa. Każdy wirnik z jedną dużą masą posiada co najmniej jedną wyróżniającą się częstotliwość drgań własnych. Przy prędkości obrotowej równej częstotliwości drgań własnych łożysko traci stabilność a trajektoria środka czopa osiąga wymiary koła luzu. W trakcie pomiarów ustalono, że częstotliwość drgań własnych badanego modelu wału śrubowego (z dodatkową stabilizującą sprężystością i przy maksymalnym natężeniu przepływającego oleju) odpowiada 1680 obr/min. Cechą charakterystyczną łożysk ślizgowych jest to, że przy $\frac{1}{2}$ prędkości rezonansowej pojawia się tzw. wir olejowy skutkujący istotnym wzrostem amplitudy drgań wirnika i tym samym wzrostem wartości wymiarów trajektorii środka czopa. Z rys.2 i 3 wynika, że obecność uszczelnienia zmniejsza amplitudę wiru olejowego.



Rys.2. Trajektoria środka czopa łożyska ślizgowego bez symulowanego uszczelnienia.



Rys.3. Trajektoria środka czopa dla łożyska ślizgowego z symulowanym uszczelnieniem.

ZAKOŃCZENIE

Istnieje duża grupa maszyn, dla których istotnym węzłem konstrukcyjnym jest zespół łożysko ślizgowe – uszczelnienia wału. Przedstawicielem tej grupy maszyn jest wał śrubowy gdzie stosowane i zalecane metody jego diagnozowania są niewystarczające.

Identyfikacja stanu uszczelnień dynamicznymi metodami stosowanymi w badaniach szczelności jest problematyczna. Do identyfikacji stanu uszczelnień i łożyska proponuje się zastosowanie metod z wykorzystaniem drgań względnych mierzonych w co najmniej dwóch płaszczyznach prostopadłych do osi wału. Płaszczyzny pomiaru powinny przy tym być umieszczone w łożyskach lub bezpośrednio w pobliżu łożysk ślizgowych wału. Z przeprowadzonych wstępnych badań modelowych wynika, że promieniowe siły sprężystości mają znaczący wpływ na przebieg trajektorii środka czopa.

Przewiduje się, że w przypadku wału śrubowego, z położenia i wartości trajektorii środka czopa możliwe będzie wnioskowanie o:

- a. ułożeniu wału napędowego statku,
- b. zużyciu czopów i panewek łożysk,
- c. stanie technicznym oleju smarującego,

- d. stanie uszczelnień wału,
- e. stanie śruby okrętowej (niewyważeniu śruby).

BIBLIOGRAFIA

1. Tietze W. (Hrsg.): *Handbuch Dichtungspraxis*. Vulkan-Verlag Essen 2003
2. Bielawski Piotr: *Diagnozowanie uszczelnień maszyn*. In praca zb. pod red. Kowalczyk Zdzisław: Systemy wykrywające, analizujące i tolerujące usterki. Pomorskie Wydawnictwo Naukowo-Techniczne Gdańsk 2009.
3. Uch C.: *Gleitringdichtungen in Raffineriepumpen und –kompressoren*. Industriepumpen + Kompressoren, Heft 2/2008 Juni s.86-89
4. Fritsch, H., Jarosch J., Horn W.: *Klassifizierung von Dichtungen an Pumpen unter besonderer Berücksichtigung von Membranpumpen*. Pumpen + Kompressoren 1(1995) Heft 2 November s.93-99[8]
5. Hörl L., Haas W.: *Beurteilung von Dichtungen durch Schmierfilm-Dickenmessung*. Tribologie + Schmierungstechnik, 52. Jahrgang, 1/2005 s. 53-57
6. PN-EN 1779. *Badania nieniszczące. Badania szczelności. Kryteria wyboru metody i techniki*.
7. PN-ISO 7919-1, *Drgania mechaniczne maszyn z wyłączeniem maszyn tłokowych. Pomiary drgań wałów wirujących i kryteria oceny*.
8. Deutsch, G., *Maschinenüberwachung. Schwingungsüberwachung und –diagnose*, Tribologie + Schmierungstechnik 2/2009 p. 39-46.
9. Spiegel, K., Fricke J., *Bemessungsregeln für Gleitlager: Turbulenz und Instabilitäten*, Tribologie + Schmierungstechnik 5/2008 p.16-24.
10. Kozłowiecki, H., *Łożyska tłokowych silników spalinowych*, Wydawnictwa Komunikacji i łączności Warszawa 1974
11. *Przepisy klasyfikacji i budowy statków morskich*. Polski Rejestr Statków, Gdańsk 2009.

Autor:

prof. dr hab. inż. Piotr Bielawski

Katedra Diagnostyki i Remontów Maszyn

Wydział Mechaniczny