

Obniżając ciśnienie można doprowadzić wodę do wrzenia i odparowania w temperaturze poniżej 100°C. W wyniku obniżenia ciśnienia następuje przejście rozpuszczonego w wodzie tlenu do pary wodnej powstałej w wyniku częściowego odparowania wody przegrzanej. Analogicznie jak dla odgazowywaczy termicznych następuje desorpcja składników gazowych do ośrodka parowego i ciągłe ich usuwanie na zewnątrz przez pompę próżniową.

Wydaje się, że technologia próżniowego odgazowania wody uzupełniającej obiegi ciepłownicze może być przyszłościowym ekonomicznym sposobem usuwania z niej tlenu, co wpłynie również na zdecydowanie mniejsze zużycie chemikaliów do końcowej korekcji wody.

Podsumowanie

Problemy techniczne w elektrociepłowniach związane z eksploatacją układów wodno-parowych i ciepłowniczych wiążą się głównie z procesami korozyjnymi występującymi w tych układach. Z kolei korozja jest odpowiedzialna za szereg awarii występujących w urządzeniach będących źródłem ciepła (kotły parowe, wodne), wymiennikach ciepłowniczych jak również w sieciach ciepłowniczych.

Przeciwdziałać tym procesom można poprzez:

- utrzymywanie wysokiej jakości wód w obiegach wodno-parowych, chłodzących i ciepłowniczych,
- stosowanie odpowiednio dopracowanego do określonych warunków eksploatacyjnych urządzeń sposobu korekcji tych wód,

- utrzymywanie opracowanych optymalnych reżimów chemicznych dla poszczególnych obiegów technologicznych,
- przestrzeganie ustalonych warunków eksploatacji urządzeń wchodzących w skład obiegów wodno-parowych, chłodzących i ciepłowniczych,
- wdrażanie nowych rozwiązań i technologii, które będą minimalizowały skutki zachodzących procesów korozyjnych,
- stosowanie konserwacji urządzeń w czasie postoju.

LITERATURA

- [1] Śliwa A., Gawron P.: Wpływ procesów korozyjnych zachodzących w obiegach wodno-parowych bloków energetycznych na trwałość urządzeń. X Konferencja naukowo-techniczna „Udział chemii energetycznej we wzroście efektywności urządzeń”, Szczyrk 2004
- [2] Śliwa A.: Doświadczenia eksploatacyjne z różnymi sposobami korekcji chemicznej obiegów wodno-parowych bloków energetycznych z kotłami walczkowymi. IX Konferencja naukowo-techniczna „Udział chemii energetycznej we wzroście efektywności urządzeń”, Szczyrk 2002
- [3] Zbroińska-Szczuchura E.: Typowe uszkodzenia rurek skraplaczy turbinowych. II Sympozjum Informacyjno-Szkoleniowe „Eksploatacja i diagnostyka modernizowanych bloków energetycznych”, Wiśła 2000
- [4] Dobosiewicz J.: Odcynkowania miedzianych rurek skraplaczy turbin parowych. Biuletyn *Pro Novum*, tom I
- [5] Gross J.: Wpływ zmiany technologii przygotowania wody uzupełniającej warszawską sieć ciepłą na zwiększenie odporności korozyjnej przewodów. Konferencja naukowo-techniczna „Wpływ chemii energetycznej na pracę małych i średnich obiektów energetycznych”, Ustroń 2001
- [6] Marjanowski J., Ratajczyk C.: Próżniowe odgazowanie wody w ciepłowniach i sieciach ciepłych. Tamże



Filip Klepacki

Określenie stanu technicznego łożysk ślizgowych

Łożyska ślizgowe można podzielić na dwie podstawowe grupy: hydrodynamiczne i hydrostatyczne.

Różnica między nimi wynika z rodzaju smarowania, a mianowicie:

- smarowanie hydrodynamiczne polega na samoistnym wytwarzaniu się wyporu hydrodynamicznego w powstającej podczas obrotów wału szczelinie klinowej przy odpowiedniej lepkości czynnika smarnego,
- smarowanie hydrostatyczne polega na wtłaczaniu oleju pod dużym ciśnieniem pomiędzy dwie trące się powierzchnie i tym samym utrzymywaniu tych powierzchni w pewnej odległości od siebie.

Łożyska te, pomimo zalet i wad wynikających z różnego sposobu smarowania, pod względem mierzonych parametrów diagnostycznych nie różnią się zbytnio, a jedynie sposób otrzymywania tych wartości jest różny, co wynika z odmiennej konstrukcji omawianych łożysk.

Tarcie i jego wpływ na prace łożyska ślizgowego

W łożysku ślizgowym najbardziej pożądanym jest **tarcie płynne**, przy którym poruszające się względem siebie elementy łożyska są całkowicie rozdzielone warstwą smaru (najczęściej oleju mineralnego). Tarcie to charakteryzuje się małymi stratami energetycznymi oraz brakiem zużycia elementów łożyska. Współczynnik tarcia μ (opisujący opory ruchu) przy tarcu płynnym osiąga wartość 0.001.

Największe obciążenie łożyska, dla którego występuje jedynie tarcie płynne, nazywane jest nośnością hydrodynamiczną. Różnica między nośnością hydrodynamiczną a aktualnym obciążeniem to zapas nośności hydrodynamicznej. Na zapas nośności hydrodynamicznej łożyska o konkretnej konstrukcji wpływ mają jego warunki pracy:

- obciążenie łożyska P (N) albo p (N/m²),
- prędkość wału n (obr/s),
- lepkość smaru η (Pa * s).

Pogorszenie warunków pracy może doprowadzić do utraty zapasu nośności hydrodynamicznej, a co za tym idzie wypadkowa ciśnienia w smarze rozdzielającym powierzchnie ślizgowe łożyska i wału nie jest w stanie zrównoważyć aktualnego obciążenia łożyska. Część obciążenia musi zostać przeniesiona przez bezpośredni styk fragmentów powierzchni ślizgowych łożyska i wału.

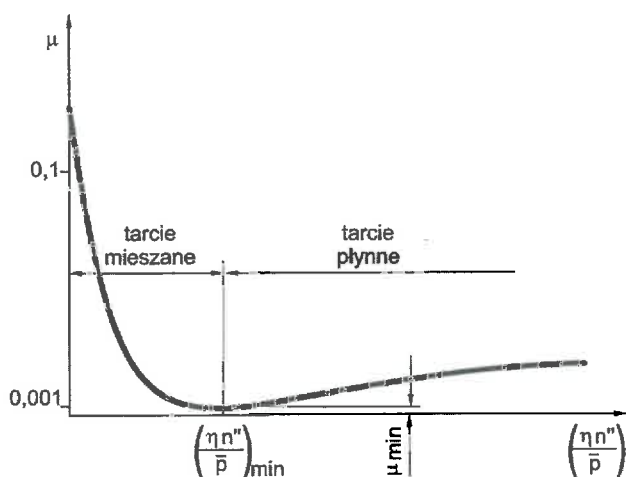
Powierzchnie ślizgowe bywają pokryte cienką metaliczną warstwą tlenków i innymi substancjami (często specjalnie nanoszonych), zwanych warstwą graniczną, która charakteryzuje się małą wytrzymałością na ścinanie. Część aktualnego obciążenia łożyska, przekraczająca zapas nośności hydrodynamicznej, jest przenoszona przez warstwą graniczną. Złożony mechanizm tarcia w tej warstwie jest nazywany **tarciem granicznym**.

Współczynnik tarcia granicznego μ osiąga wartość 0.1, a warstwa graniczna podlega szybkiemu zużyciu.

Szybkość zużycia tej warstwy może być zmniejszana metodami inżynierii materiałowej (najczęściej poprzez dodatki do smaru, czasami obróbką chemiczną) lub metodami eksploatacyjnymi. Równoczesne występowanie tarcia granicznego i tarcia płynnego nazywane jest **tarciem mieszanym**.

Porównanie współczynników rodzajów tarcia pozwala określić perspektywy zmian warunków pracy łożyska po pojawieniu się nawet niewielkiego udziału tarcia granicznego w przenoszeniu obciążenia. Wtedy ilość ciepła powstającego w łożysku lokalnie gwałtownie powiększa się i wzrasta temperatura łożyska, pociągając za sobą ogólny spadek lepkości smaru (szczególnie szybki w przypadku powszechnie stosowanych olejów mineralnych). Udział tarcia płynnego spada, a tarcie graniczne rośnie. Takie niekorzystne sprzężenie zwrotne zjawisk cieplnych i hydrodynamicznych powoduje, że współczesne wysoko obciążone łożyska ślizgowe mogą pracować w warunkach tarcia granicznego jedynie krótkotrwale.

Wpływ zmiany warunków pracy na opory ruchu (ilość ciepła generowaną w łożysku) ilustruje uzyskiwana w warunkach doświadczalnych krzywa tarcia Hersey'a (rys. 1.)



Rys. 1. Uogólniona przez Hersey'a krzywa tarcia Stribecka, określana doświadczalnie, w warunkach laboratoryjnych

Wpływ ciepła na własności łożyska ślizgowego

Moc doprowadzana do łożyska, służąca do pokonania oporów tarcia, w zdecydowanej większości zamieniana jest na ciepło:

$$\dot{Q} \approx \mu \cdot P \cdot \bar{v} \quad (1)$$

gdzie:

\bar{v} – średnia prędkość względna powierzchni ślizgowych wału i panewki, m/s,

P – obciążenie, N,

μ – współczynnik tarcia.

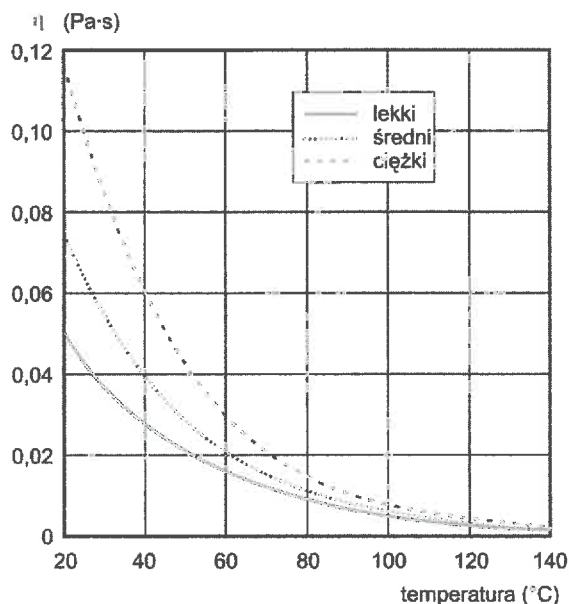
Całkowity strumień ciepła wytwarzany w łożysku rozchodzi się ze szczeliny smarowej różnymi drogami, tj. przez olej wypływający ze szczeliny, na drodze konwekcji do panewki i wału.

Lepkość oleju smarującego

Olej smarujący łożysko jest wciągany do szczeliny smarowej (mimo ciśnienia w szczelinie osiągnącego lokalnie nawet 20 MPa) dzięki siłom tarcia wewnętrznego, opisywanym za pomocą lepkości dynamicznej η , od której w sposób zasadniczy zależy jakość tarcia w łożysku. Dzięki dużej lepkości w łożysku pojawia się tarcie płynne.

Barierą w stosowaniu cieczy smarujących o bardzo dużej lepkości jest odprowadzanie szybko wzrastającej ilości ciepła, generowanego w szczelinie smarowej. Skutkiem tego jest wzrost temperatury oleju wypływającego ze szczeliny smarowej, co pociąga za sobą gwałtowny spadek lepkości, np. lepkość oleju ciężkiego w temperaturze ponad 140°C dorównuje lepkości oleju lekkiego.

Na rysunku 2 pokazano wpływ temperatury na lepkość olejów rafinowanych i uszlachetnionych olejów mineralnych.



Źródło: L. Dąbrowski, J. Kańczok: „Nowa metoda diagnostyki łożysk ślizgowych o tarcia płynnym”. Artykuł „Nadzór i diagnostyka maszyn” nr 10/11 Technicad Sp. z o.o.

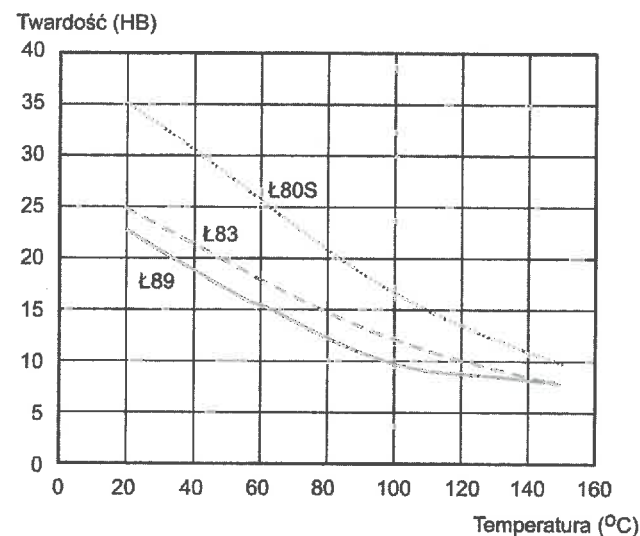
Rys. 2. Wpływ temperatury na lepkość typowych olejów turbinowych:
– lekkiego (klasa lepkości 32 wg ISO 3448)
– średniego (klasa lepkości 46)
– ciężkiego (klasa lepkości 68)

Wytrzymałość materiału łożyskowego

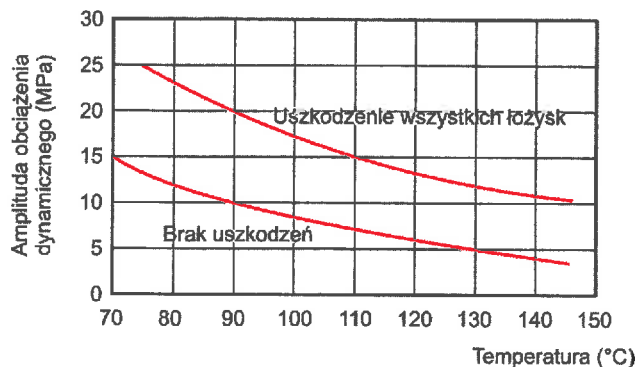
Wszystkie właściwości materiałowe materiałów łożyskowych obniżają się wraz ze wzrostem temperatury (rys. 3). W przypadku łożysk ślizgowych ważna jest zwłaszcza wytrzymałość zmęczeniowa (rys. 4), ponieważ przy dużych rozmiarach panewek nie można wykluczyć dynamicznego obciążenia, związanego z błędami kształtu powierzchni ślizgowej wału.

Przeprowadzane rutynowe oględziny panewek pod kątem mikropęknięć zmęczeniowych na powierzchniach ślizgowych, np. z zastosowaniem kontrastowych preparatów penetracyjnych, pozwalają ograniczać ryzyko poważnej awarii.

Kluczowe dla trwałości łożyska jest zatem utrzymywanie go w dopuszczalnym dla materiału, zakresie temperatury (zależnym od maksymalnego ciśnienia hydrodynamicznego, określonego na drodze obliczeń termohydrodynamicznych, z uwzględnieniem odkształceń panewek).



Rys. 3. Wpływ temperatury na twardość popularnych stopów łożyskowych



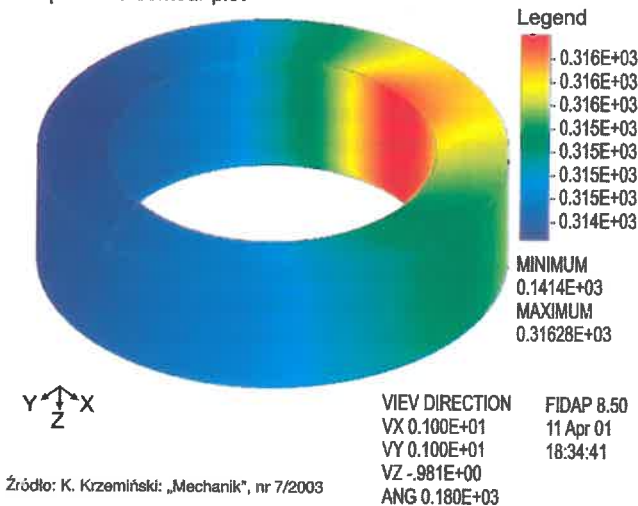
Źródło: L. Dębrowski, J. Kańczok: „Nowa metoda diagnostyki łożysk ślizgowych o tarciu ślizgowym”. Artykuł „Nadzór i diagnostyka maszyn” nr 10/11 Technicad Sp. z o.o.

Rys. 4. Wpływ temperatury na wytrzymałość zmęczeniową wysokocynowego stopu łożyskowego

Diagnostyka łożyska na podstawie pomiaru temperatury panewki

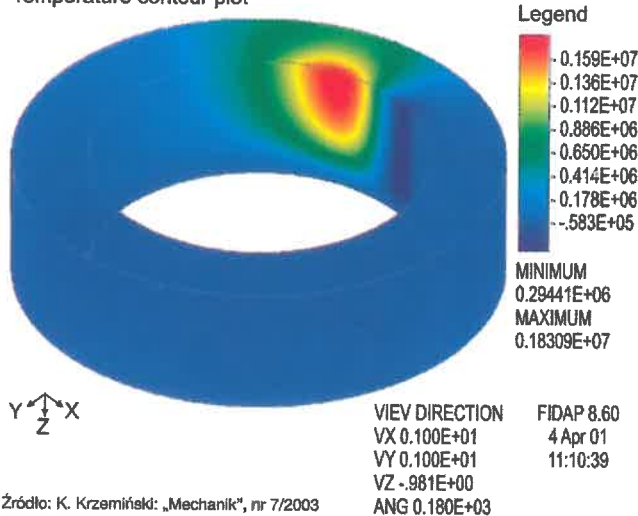
Jeszcze do niedawna temperaturę łożysk ślizgowych określano na podstawie temperatury oleju na spływie z łożyska, chociaż nawet intuicyjnie można stwierdzić, że pomiar ten miał niewiele wspólnego z rzeczywistą temperaturą w warstwie smarnej. Obecnie mierzy się temperaturę panewki w kilku miejscach na jej szerokości, ponadto opracowywane są już środki do pomiaru temperatury bezpośrednio w warstwie smarnej. Mimo iż rozkład temperatury i ciśnienia w objętości panewki jest bardzo nierównomierny (rys. 5 i 6) (informacje diagnostyczne muszą posiadać rozdzielczość przestrzenną), to najbardziej rozpowszechnioną metodą diagnostyki stanu łożysk jest jednopunktowy pomiar temperatury.

Temperature contour plot



Rys. 5. Przestrzenny rozkład temperatury w łożysku ślizgowym dla układu izolowanego przy zmiennej lepkości oleju

Temperature contour plot



Rys. 6. Przestrzenny rozkład ciśnienia w łożysku ślizgowym dla układu izolowanego przy zmiennej lepkości oleju*

* Model ten przedstawia jedynie rozkład ciśnienia do połowy panewki gdyż można przyjąć, że na całej długości panewki jest on taki sam.

Pomiar ten jest zlokalizowany w wygodnym montażowo miejscu panewki, bezpiecznym ze względu na wytrzymałość jego warstwy ślizgowej. Wynik takiego pomiaru nie nadaje się jednak do interpretacji fizycznej; do określenia odległości łożyska od dopuszczalnej, minimalnej grubości szczeliny smarowej czy dopuszczalnej maksymalnej temperatury warstwy ślizgowej. Racjonalne wnioskowanie na podstawie jednopunktowego pomiaru temperatury łożyska jest możliwe jedynie w sytuacji, gdy temperatura całkowicie się wystabilizuje w czasie – można wtedy stwierdzić, że stan łożyska nie zmienia się. Jednak pomiar taki temperatury panewki bywa destabilizowany nie tylko stanem łożyska, ale także temperaturą otoczenia (zwłaszcza w układach smarowania bez regulacji wydajności chłodzenia oleju). Poza zasięgiem takiej prostej diagnostyki pozostają etapy rozruchu i wybiegu, kiedy to temperatura zmienia się także w łożyskach pracujących poprawnie.

Problemem jest także określenie alarmowego poziomu temperatury mierzonej w taki sposób, gdyż nie można jej odnieść do własności fizycznych materiału łożyskowego ani środka smarowego. Z tego wynika, iż do prawidłowej oceny jakości tarcia powinna zostać zastosowana metoda umożliwiająca ocenę w różnych miejscach szczeliny smarowej, ponieważ jakość tarcia w różnych miejscach szczeliny jest różna.

Dzięki możliwości określenia miejsc gwałtownego wzrostu gęstości strumienia ciepła powstającego w szczelinie w wyniku utraty tarcia płynnego można zlokalizować położenie przytarcia. Biorąc to pod uwagę, uśredniony obraz przytarcia z jednopunktowego pomiaru temperatury nie posiada żadnej rozdzielczości przestrzennej. Przy pomiarze temperatury panewki łożyskowej w wielu jej punktach (najczęściej rozmieszczonych równomiernie w objętości panewki) do odtworzenia przebiegów czasowych rozkładu temperatury na jego powierzchni ślizgowej stosuje się specjalne oprogramowanie, rozwiązujące w trybie ciągłym różniczkowe równanie Fouriera w objętości panewki.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = a \cdot \nabla^2 T \quad (2)$$

gdzie:

a – współczynnik dyfuzyjności termicznej (wyrównania temperatury) materiału panewki,

T – temperatura,

t – czas.

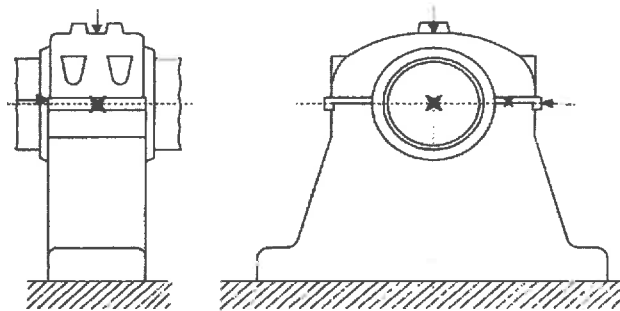
Natomiast do określenia zmian w czasie rozkładu gęstości strumienia ciepła na powierzchni ślizgowej łożyska przeprowadza się równoległą analizę obliczeniową, prowadzoną wg prawa przewodzenia ciepła Fouriera.

$$q = -\lambda \cdot \nabla T \quad (3)$$

gdzie λ – współczynnik przewodzenia ciepła materiału ślizgowego panewki.

Ocena stanu łożysk na podstawie pomiarów drgań

Do określenia stanu łożysk ślizgowych za pomocą drgań stosuje się analizę widmową drgań względnych wału wirnika oraz drgań bezwzględnych.



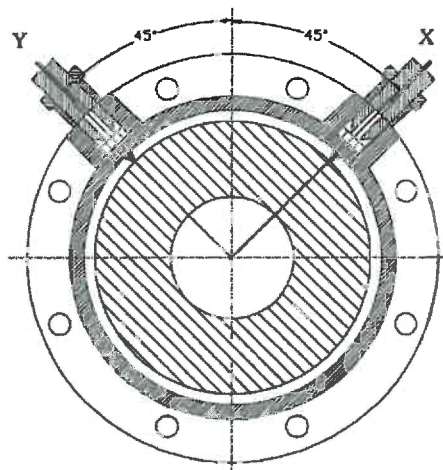
Źródło: J. Dwojak, M. Rzeplela: „Diagnostyka drganiowa stanu maszyn i urządzeń. Biuro Gamma

Rys. 7. Rozmieszczenie punktów pomiarowych dla stojaków łożyskowych

Pomiary drgań bezwzględnych wykonuje się na oprawach łożysk, a jeżeli jest to niemożliwe – na tarczach łożyskowych albo kadłubie maszyny w trzech wzajemnie prostopadłych kierunkach: w płaszczyźnie prostopadłej do osi wału w kierunku poziomym i pionowym oraz wzdłuż osi wału na wysokości osi, możliwie jak najbliżej wału. Najczęściej są stosowane czujniki indukcyjne, które mierzą prędkość drgań.

Pomiar drgań względnych wykonuje się przede wszystkim dla wirników podpartych na łożyskach ślizgowych, gdyż ten pomiar służy do określenia trajektorii środka czopa wału. Są to dwa bezdotykowe czujniki wiroprowadowe (mierzące przemieszczenia drgań) umiejscowione najczęściej w pobliżu lub obudowie łożyska w płaszczyźnie promieniowej, w kierunkach prostopadłych do siebie. Kierunki osi przetworników zazwyczaj tworzą z płaszczyzną poziomą kąt 45° , odległość czoła przetwornika od powierzchni wału powinna się mieścić w zakresie określonym w wytycznych wytwórcy aparatury.

Częstym zjawiskiem zachodzącym w maszynach łożyskowych ślizgowo są samowzbudne drgania rzędu $(0.1-1)$ częstotliwości obrotowej wału wirnika. Drgania te są powodowane niestabilnymi warunkami pracy łożyska, zależnymi od: obciążenia, luzu, ciśnienia oleju, lepkości oleju i prędkości obrotowej.



Źródło: J. Dwojak, M. Rzeplela: „Diagnostyka drganiowa stanu maszyn i urządzeń. Biuro Gamma

Rys. 8. Przykład montażu bezdotykowych przetworników przemieszczeń w punktach pomiaru drgań względnych wału

Generalnie im większy luz w skojarzeniu czop–panewka, tym większa możliwość powstania drgań samowzbudnych, które w pierwszym rzędzie mogą powodować niestateczność zwaną wirami olejowymi (precesja hydrodynamiczna).

W skrócie, zjawisko wiru olejowego polega na destabilizującym wpływie niesymetrycznego rozkładu ciśnienia w łożysku, w którym środek czopa wału uległ przesunięciu względem środka panwi. Powodem tego przemieszczenia mogą być duży luz, niewyważenie lub warunki obciążenia itp. Powstałe w ten sposób drgania samowzbudne o częstotliwości ok. 0,5 częstotliwości obrotowej wału wirnika mogą bardzo łatwo się rozwijać do niebezpiecznych amplitud. Jeśli ta częstotliwość jest bliska rezonansowej układu: wał – wirnik – łożyskowanie podpory, to wtedy zjawisko to jest nazywane wirami rezonansowymi (precesja rezonansowa).

W obu przedstawionych przypadkach trajektoria ruchu środka czopa dookoła środka panwi ma kierunek zgodny z kierunkiem obrotu wału. Przeciwny kierunek ruchu środka czopa występuje dla wiru ciernego, będącego efektem dużego luzu, złego smarowania i chwilowego przytarcia czopa w panew. W takim przypadku rozwijają się dalej drgania samowzbudne o częstotliwości pod- i nadwielokrotnej 0,5 częstotliwości obrotowej wału wirnika. Przedstawione przypadki drgań samowzbudnych maszyn wirnikowych są wynikiem niestabilności w układzie czop–panewka łożyska ślizgowego.

Praktyczne zastosowanie wibrodiagnostyki w eksploatacji łożysk ślizgowych

Przypadek 1. Turbozespół 125 MW

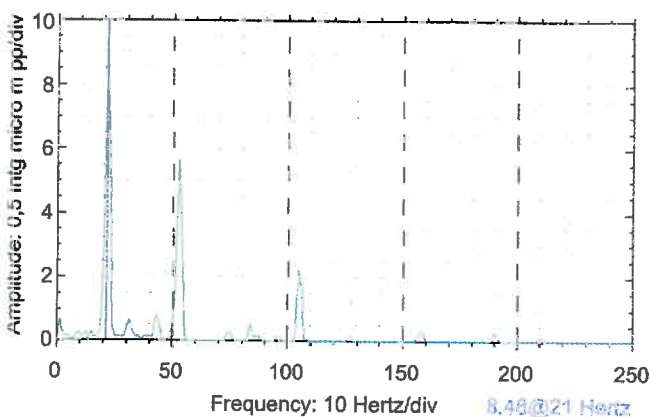
Turbozespół wyposażony w układ nadzoru drgań względnych wału oraz odpowiednie oprogramowanie (analyzer rejestrator PAR), podczas eksploatacji z mocą zbliżoną do nominalnej.

Symptomy:

- sumaryczny poziom drgań względnych 131 μm (wysoki),
- poziom drgań bezwzględnych 0,6–1,2 mm/s (niski).

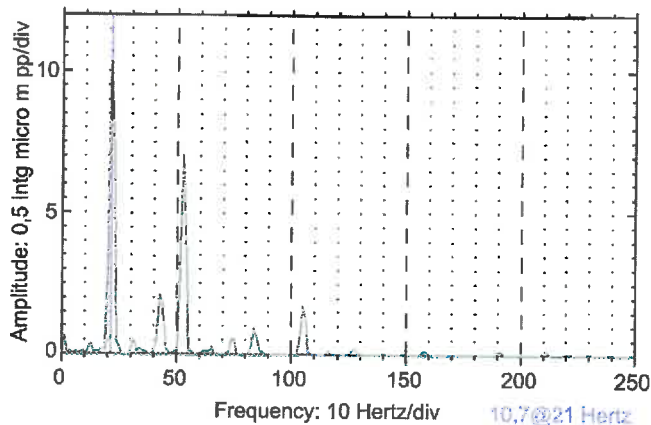
W widmie drgań względnych łożyska nr 2 (rys. 9) ślad składowej 0.5X przy dominującej składowej obrotowej 1X.

W widmie drgań względnych łożyska nr 1 (rys. 10) dominuje składowa 0.5X.



Źródło: ZRE Katowice SA

Rys. 9. Widmo częstotliwościowe drgań względnych wału w łożysku nr 2



Źródło: ZRE Katowice SA

Rys. 10. Widmo częstotliwościowe drgań względnych wału w łożysku nr 2



Źródło: ZRE Katowice SA

Rys. 11. Stan panewki łożyska nr 1

Stan:

Prawdopodobne wystąpienie samowzbudnych drgań olejowych w łożysku nr 1, które wywołane zostały niewłaściwym osiowaniem lub rozosiowaniem podczas eksploatacji turbozespołu – najprawdopodobniej został przytarty biały metal panewki, co pokazano na rysunku 11.

Przypadek 2. Turbozespół 125 MW

Turbozespół wyposażony w układ nadzoru drgań względnych wału oraz odpowiednie oprogramowanie (analyzer rejestrator PAR).

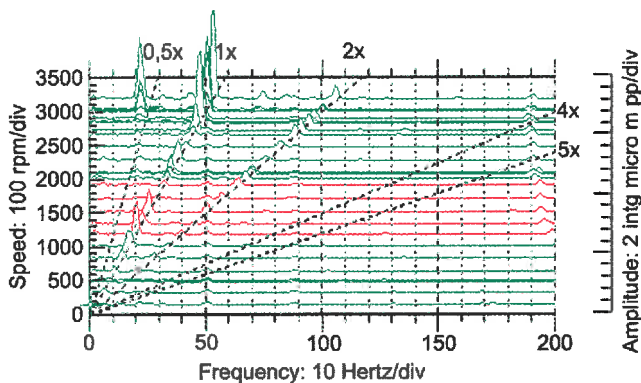
Symptomy:

Podczas rozbiegu turbozespołu stwierdzono pojawienie się w widmie drgań bezwzględnych stojaka łożyska nr 5 przy obrotach 2855 min^{-1} składowej 0.5X (2.3 mm/s) (rys. 12). Składowa ta jeszcze wzrosła przy obrotach 2976 min^{-1} , po czym zmniejszyła się przy obrotach znamionowych 3000 min^{-1} do poziomu 1,3 mm/s, przy składowej obrotowej 1X równej 7 mm/s.

Jak wynika z rysunku 12 przejście wirnika turbozespołu przez obroty krytyczne spowodowało powstanie w łożysku samowzbudnych drgań olejowych.

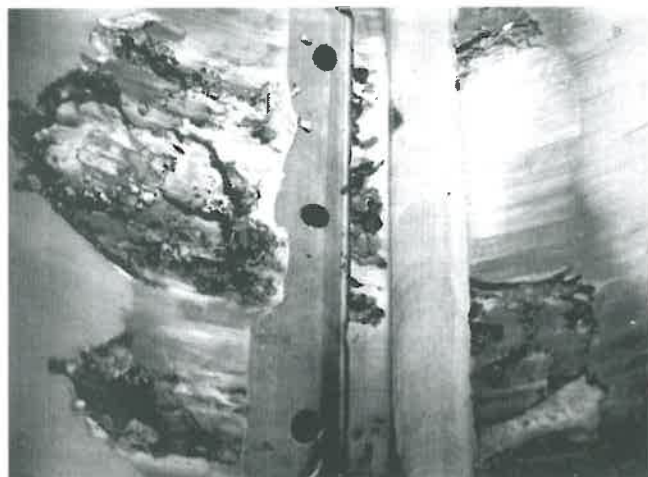
Stan:

Po ok. dwóch miesiącach eksploatacji stan panewek łożyska nr 5 był taki jak pokazano na rysunku 13.



Źródło: ZRE Katowice SA

Rys. 12. Charakterystyka rozbiegowa drgań bezwzględnych łożyska nr 5



Źródło: M. Kurowicz, J. Łoziński: „Wibrodiagnostyka dużych maszyn energetycznych”. Artykuł „Nadzór i diagnostyka maszyn” nr 8/9 Technicad Sp. z o.o.

Rys. 13. Stan panewki łożyska nr 5

Prawdopodobny mechanizm zniszczenia panewek łożyska nr 5:

- wirnik między łożyskami nr 4 i 5 (bliżej łożyska nr 5) mógł być niedoważony, o czym świadczyć może również wysoki poziom drgań w łożysku nr 4 (wysoki poziom składowej obrotowej 1X);
- przy przechodzeniu przez obroty krytyczne nastąpiło przytarcie czopa wału o panewkę w łożysku nr 5;
- na skutek nieprawidłowego wylania panewki podczas przytarcia nastąpiły pierwsze wyrwania białego metalu, które spowodowały zmianę geometrii styku czop-panewka;

- początkowe wyrwania białego metalu spowodowały zaburzenia w przepływie oleju między czopem i panewką co zainicjowało powstanie samowzbudnych drgań olejowych;
- samowzbudne drgania olejowe spowodowały dalsze przycieranie czopa o panewkę, co w efekcie doprowadziło panewkę do stanu pokazanego na rysunku 13.

Podsumowanie

Obecnie w diagnostyce łożysk ślizgowych wykorzystuje się drgania jako nośnik informacji o stanie w jakim znajduje się łożysko.

W wielu przypadkach informacja ta jest niewystarczająca, gdyż samowzbudne drgania powstające w łożysku są spowodowane wieloma czynnikami. Ponadto analiza drgania wskazuje czy łożysko pracuje prawidłowo, czy też nieprawidłowo nie określa jednak powodu zaistnienia nieprawidłowości. W związku z tym prawdziwa analiza „co się stało” odbywa się po oględzinach łożyska. Dopiero wtedy można stwierdzić, co spowodowało zainicjowanie drgań samowzbudnych, a zarazem nieprawidłową pracę łożyska.

Dobłą metodą wydaje się analiza stanu łożyska na podstawie pomiaru temperatury w filmie olejowym lub też pomiaru temperatury w różnych miejscach panewki (po obwodzie). Rozwiązania te napotykać jednak na różne problemy konstrukcyjne, co powoduje iż tak naprawdę wciąż nie ma metody określającej stan techniczny łożyska podczas jego pracy (on-line).

LITERATURA

- [1] Kurowicz M., Łoziński J.: Wibrodiagnostyka dużych maszyn energetycznych. *Nadzór i Diagnostyka Maszyn* nr 8/9. *Technicad Sp. z o.o.*
- [2] Sordyl F., Sordyl I.: Ocena stanu łożysk turbozespołu w oparciu o pomiary drgań względnych i bezwzględnych. *Nadzór i Diagnostyka Maszyn* nr 10/11. *Technicad Sp. z o.o.*
- [3] Dąbrowski L., Kańczok J.: Nowa metoda diagnostyki łożysk ślizgowych o tarcu płynnym. *Nadzór i Diagnostyka Maszyn* nr 10/11. *Technicad Sp. z o.o.*
- [4] Krzemiński K.: Modelowanie pracy łożyska porowatego z uwzględnieniem wymiany ciepła. *Mechanik* nr 7/2003
- [5] Hebda M., Wachal A.: Trybologia. WNT, Warszawa 1980
- [6] Dwojak J., Rzepiela M.: Diagnostyka drganiowa stanu maszyn i urządzeń. *Biuro Gamma*
- [7] Gryboś R.: Drgania maszyn. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1998
- [8] Cempel C.: Diagnostyka wibroakustyczna maszyn. PWN, Warszawa 1989

pronovum[®]
RESEARCH & TECHNOLOGICAL SERVICES

45-534 Katowice, ul. Czajek 41
tel. (032) 251 87 39, fax (032) 251 36 19
e-mail: enter@pronovum.com.pl
www.pronovum.com.pl