Nowoczesna diagnostyka łożysk

Uszkodzenie łożyska jest najczęstszą przyczyną awarii maszyn w zakładach przemysłowych i to pomimo postępu w konstrukcji łożysk oraz wykorzystaniu do ich budowy nowoczesnych materiałów. Najlepszym sposobem na unikanie awarii jest wczesne wykrywanie zużycia łożysk i pierwszych pojawiających się symptomów nieprawidłowej pracy.

Bohdan Szafrański

Osoby mające duże doświadczenie w obsłudze danej maszyny potrafią wychwycić zmiany w pracy łożyska np. po charakterystycznym dźwięku, który temu towarzyszy. Jednak poleganie na takiej ocenie jest dziś niewystarczające. Producenci podają dla łożysk parametr, jakim jest ich trwałość nominalną – oznaczaną symbolem „L10". Określa ona liczbę cykli obciążenia odpowiadającą liczbie obrotów do chwili utraty zdolności do pracy łożyska. To czas pracy łożyska podany w milionach obrotów lub godzinach pracy przy danej prędkości obrotowej do wystąpienia pierwszych oznak zmęczenia materiału, jaką osiąga 90% badanych łożysk w określonych warunkach. Niestety rzeczywiste warunki pracy łożysk znacznie się różnią, a chcemy mieć możliwie dokładne informacje i prognozy dotyczące tego, jak długo dane łożysko może jeszcze pracować zanim wystąpi awaria. Tylko w ten sposób można oszacować najlepszy czas na jego naprawę lub wymianę. Dziś mamy już narzędzia i wiedzę, żeby takie procedury skutecznie wdrażać.

Monitorowanie stanu łożysk określane jest często jako CM (ang. Condition Monitoring) czyli proces monitorowania parametrów stanu, w tym przypadku łożyska, poprzez zidentyfikowanie zmiany w wytwarzanych w trakcie jego pracy wibracjach, temperaturze, dźwiękach itp. To podstawowy element konserwacji predykcyjnej. Główne techniki monitorowania stanu łożysk stosowane w przemyśle to między innymi analiza i diagnostyka drgań, emisja akustyczna, impulsy uderzeniowe oraz termografia.

Przykłady

Jak podaje firma Vibtech, jeśli wziąć pod uwagę jak rozprzestrzenienie się wirusa COVID-19 zmienia i zmieni zachowania pracowników i odbiorców to można powiedzieć, że nadchodząca przyszłość niesie ze sobą zmiany w zapotrzebowaniu rynku na produkty oraz usługi i wymaga to bardzo szybkiego dostosowania się do nowej sytuacji. Liczy się zapewnienie warunków bezpiecznej pracy, ochrony maszyn i urządzeń. Bezpieczna maszyna to w pełni sprawna, wolna od wad i uszkodzeń. Z czasem, krzywa życia poszczególnych elementów i zespołów maszyn wskazuje na zbliżające się remonty i/lub możliwość wystąpienia awarii. Jednym z rozwiązań jest doraźny pomiar i analiza drgań maszyn.

Systematyczne pomiary drgań maszyn w węzłach łożyskowych pozwalają dokładnie określić stan techniczny na przykład silników elektrycznych, pomp, wentylatorów, reduktorów lub innych urządzeń. Według specjalistów firmy Vibtech gotowym rozwiązaniem jest np. zastosowanie miernika i analizatora drgań maszyn SVAN 974. Zestaw pozwala na pomiar drgań zgodnie z normą ISO 10816. Na tej podstawie można określić stan techniczny badanego urządzenia oraz zakwalifikować go do odpowiedniej grupy serwisowej (stan idealny, stan dobry, stan wymagający uwagi, awaria – wyłączyć). Co więcej, dzięki możliwości analizy widmowej FFT można precyzyjnie określić przyczynę uszkodzenia – niewyważenie, błędy współosiowości itp.

Rozwinięciem doraźnych systemów diagnostyki łożysk są rozwiązania do monitorowania ciągłego drgań – np. bezprzewodowy system do zdalnej diagnostyki maszyn RH560 wraz z bezprzewodowymi czujnikami drgań i temperatury RH506. Natomiast nową metodą analizy stanu łożysk, szczególnie wolnoobrotowych, jak mówi Ewa Listkiewicz, inżynier wsparcia w firmie VIS, jest system ACMT ADASH. Od wielu lat znane są techniki badania kondycji łożysk tocznych, szczególnie wolnoobrotowych, takie jak: obwiednia przyspieszenia gE, metoda impulsów uderzeniowych SPM, czy też Peak – Vue. Natomiast metoda ACMT, opracowana przez ADASH, jest stosunkowo nowa i niezbyt popularna. Ma jednak zalety, które warto wykorzystać podczas analizy stanu łożysk tocznych. Metoda ACMT pozwala na pomiar bardzo długich przebiegów czasowych w szerokim zakresie częstotliwości – do 25 kHz i z wysoką częstotliwością próbkowania. Zalety tej technologii można docenić podczas detekcji uszkodzeń tocznych, w układach łożysk wolnoobrotowych. Uszkodzenie łożyska tocznego generuje wysokoczęstotliwościowy

impuls drganiowy w chwili, w której element toczny przetacza się w miejscu uszkodzenia bieżni. Czas trwania tego zdarzenia przejściowego jest bardzo krótki. Gdy prędkość obrotowa wału jest niska, na przykład 60 obrotów na minutę, zauważymy długi okres pomiędzy kolejnymi impulsami. Długość impulsu trwa zaledwie kilka milisekund i jeśli chce go się właściwie odwzorować, trzeba wykonać pomiar w wysokim zakresie częstotliwości i z wysoką częstotliwością próbkowania. Jeśli chce się zachować minutę sygnału czasowego, to często oznacza to zebranie kilkanastu megabajtów danych. To wielki bufor i wiele analizatorów nie jest w stanie przetworzyć takich ilości danych. Metoda ACMT jest pewnym sposobem kompresji sygnału o wysokiej częstotliwości próbkowania – 65 kHz, skompresowanej do niskiej częstotliwości – typowo 1 kHz, ale z zachowaniem unikalnych właściwości i kształtu rejestrowanego sygnału. Oznacza to, że wszystkie wysokoczęstotliwościowe impulsy nie będą utracone. W metodzie ACMT do wyboru są dwa typy kompresji: True PEAK oraz RMS. Szczególnie godna stosowania jest kompresja dla wartości skutecznej RMS, ponieważ wartość ta po kompresji odpowiada rzeczywistej wartości skutecznej oryginalnego przebiegu czasowego. Dzięki temu jest to parametr łatwy do porównywania i monitorowania stanu łożyska tocznego.

Jak mówi Andrzej Skrzypkowski z AS Instrument Polska, nowością jest produkowany od niedawna mały, praktycznie kieszonkowy, tester do kontroli łożysk o nazwie Bearing Checker BC200 produkcji szwedzkiej firmy SPM Instrument. Wypełnia na rynku niszę prostych, ale już z dużymi możliwościami, przyrządów przenośnych, znacznie tańszych od wielofunkcyjnych analizatorów tzw. data loggerów. Tester diagnozuje stan łożysk, wykorzystując metodę Impulsów uderzeniowych – jedyną metodę, która jednym pomiarem określa równocześnie stan smarowania i mechaniczną współpracę elementów łożyska. Zmierzone wartości są odnoszone do wartości progowej, uznawanej za prawidłową i określonej empirycznie. Wartość ta jest równa sygnałowi generowanemu przez łożysko pracujące przy określonej prędkości obrotowej w warunkach katalogowych. Dzięki temu można stwierdzić czy łożysko można eksploatować dalej, czy też zbyt wysoki sygnał świadczy o tym, że wymaga wymiany natychmiast. Podobnie w przypadku smarowania łożyska można ocenić, czy należy je dosmarować, uzupełnia Andrzej Skrzypkowski.

Warto przypomnieć, że metoda impulsów uderzeniowych jest opatentowaną techniką do wykorzystywania w celach diagnostycznych sygnałów z wirujących łożysk tocznych jako podstawy dla wydajnego monitorowania stanu maszyn. Od wynalezienia metody w 1969 roku jest ona nadal rozwijana. Obecnie firma SPM Instrument wykorzystuje metodę SPM HD – rozwinięcie metody SPM (*Shock Pulse Method*), ktra jest mniej wrażliwa na zakłócenia pochodzące od innych sygnałów. Dobrze sprawdza się pod względem

Źródło: UE Systems

możliwości pomiaru przy bardzo niskich obrotach łożysk (zakres 0,1–20 000 obr./min). Z kolei wykorzystywana przez szwedzką firmę metoda LR/HR została opracowana na podstawie oryginalnej metody SPM do diagnostyki stanu łożysk i elementów tocznych, która umożliwia dokładną analizę stanu filmu olejowego w łożysku.

Firma Flir producent kamer termowizyjnych i sprzętu diagnostycznego w nie wyposażonego zaleca regularne, rutynowe przeglądy z wykorzystaniem kamer termowizyjnych. Kamera termowizyjna umożliwia szybkie skanowanie dużych obszarów w poszukiwaniu gorących punktów na maszynach, które mogą wskazywać na potencjalny problem z łożyskami. Obrazy termiczne stanowią wizualny dowód na istnienie usterki, a wykonane po naprawie, pomagają udokumentować jej skuteczne przeprowadzenie.

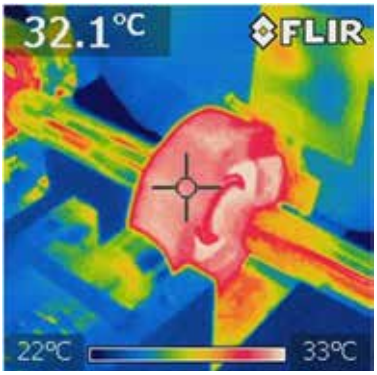
Na naszym rynku znane są urządzenia do detekcji ultradźwięków firmy UE Systems – specjalizującej się w ich produkcji. Technologia ultradźwiękowa może być i jest wykorzystana do inspekcji łożysk, w tym również tych o niskiej prędkości obrotowej nawet do 1 obr./min. Wykorzystując detekcję ultradźwięków, można zapobiegać zarówno niedostatecznej ilości smaru, jak i jego nadmiarowi w łożysku. Jak podaje firma UE Systems, od 60% do 80% wszystkich awarii łożysk wynika z nieodpowiedniego smarowania.

Zalety technologii ultradźwiękowej w badaniu stanu łożysk to między innymi wczesne ostrzeżenie o początkowym stadium awarii łożysk, wykrywanie braku środka smarnego i zapobieganie nadmiernemu smarowaniu. Podstawowe metody inspekcji są bardzo proste i wymagają krótkiego szkolenia. Czujniki ultradźwiękowe montowane na łożyskach pozwalają na ciągły monitoring stanu. Kiedy dostęp do łożyska jest utrudniony, można zamontować czujnik na urządzeniu. Firma oferuje System Monitoringu Stanu Łożysk – 4Cast, który w sposób ciągły zapisuje dane o stanie łożysk oraz dźwięki ich pracy. W ustawionych interwałach dane pomiarowe są wysyłane do oprogramowania w celu przygotowania raportów i analiz.

Bearing Checker BC200, Źródło: AS Instrument

Można powiedzieć, że wykorzystanie pomiarów drgań do oceny stanu łożysk to dojrzała technologia rozwijana od wielu lat i zgromadzono duży zasób danych i wiedzy oraz opracowano wiele norm dotyczących sposobu prowadzenia pomiarów i analiz uzyskiwanych wyników. Wśród metod pomiarowych drgań łożysk można wyróżnić pomiar ogólnego poziomu drgań węzłów łożyskowych. To okresowe lub stałe pomiary szerokopasmowe poziomów szuka się trendów zmian w ich poziomach. Inna metoda to pomiar współczynnika szczytu drgań, w której wykorzystuje się stosunek wartości szczytowej do wartości skutecznej przebiegu sygnału drgań (RMS) w badanym przedziale częstotliwości. Kolejna to analiza widmowa, czyli częstotliwościowa drgań. Do analizy rozłożonych na składowe harmoniczne sygnałów drgań wykorzystuje się najczęściej algorytm FFT (ang. Fast Fourier Transform – szybka transformata Fouriera). Do diagnozy stanu łożysk można też wykorzystać analizę obwiedni sygnałów. Pozwala to określić przyczynę uszkodzenia dzięki możliwości rozpoznania w widmie składowych o częstotliwościach odpowiadających uszkodzeniom różnych elementów, z których zbudowane są łożyska.

Poza wymienionymi już metodami diagnozowania stanu łożysk stosuje się, choć rzadziej, na przykład wśród metod wibroakustycznych – pomiar kurtozy (jedna z miar spłaszczenia rozkładu wartości cechy) i pomiar emitowanego hałasu. Wymienia się też metody prądowe diagnostyki łożysk wykorzystujące analizę widma prądu zasilającego maszynę. Trwają prace nad rozwojem tej bezczujnikowej i nieinwazyjnej metody diagnostyki łożysk. Na przykład z wykorzystaniem jawnego występowania w widmie mocy chwilowej składowej o częstotliwości charakterystycznej dla uszkodzenia.



Źródło: Flir

W kierunku Przemysłu 4.0

Zastosowanie praktycznie każdej dostępnej technologii monitorowania pracy łożysk da nam korzyści. Jednak dopiero integracja uzyskiwanych z różnych źródeł informacji z systemami informatycznymi przedsiębiorstwa pozwala uzyskać nową jakoś i wykonywać przeglądy urządzeń oraz wymiany łożysk w najlepszym pod względem efektów ekonomicznych czasie i kolejności. Dzięki zastosowaniu przemysłowego Internetem Rzeczy (Industrial internet of Things – IIoT), przetwarzaniu danych zgromadzonych w chmurze obliczeniowej oraz wykorzystaniu sztucznej inteligencji zapobiegamy choćby przedwczesnej wymianie łożyska i związanymi z tym kosztami. Nie jest już niczym nadzwyczajnym instalowanie od razu przez producentów łożysk czujników i oferowanie systemów informatycznych do analizy i oceny ich stanu oraz predykcji zużycia. Dzięki takim rozwiązaniom możemy z dużą dokładnością przewidywać, kiedy i gdzie mogą wystąpić awarie. Przykładem technologia SKF Insight, czyli zabudowywanych w łożysku lub oprawie czujnikach bezprzewodowych, pracujących niezależnie od zewnętrznego zasilania. SKF Insight monitoruje pracę łożysk w czasie rzeczywistym. Jak działa przewidywanie żywotności? Firma igus pod nazwą „isense" dostarcza różne czujniki, które wykrywają stan komponentów igus, takich jak przewody i e-prowadniki, ale też łożysk. Czujniki mogą działać jako autonomiczny system isense, który można zintegrować i połączyć w sieć w ramach infrastruktury produkcyjnej. W ofercie firmy jest na przykład czujnik zużycia łożyska wieńcowego iglidur PRT. Zmierzone wartości z czujnika są przenoszone do modułu icom i dzięki połączeniu z chmurą igus są interpretowane oraz generowana jest instrukcja dotycząca dalszego postępowania.

Źródło: Flir

Mamy zatem do dyspozycji wiele sposobów na dokładne poznanie stanu łożysk bez potrzeby ingerowania w urządzenia i maszyny, w których są zainstalowane. Producenci łożysk zgromadzili też dużą wiedzę o pierwszych symptomach ich uszkodzeń i zużycia co pozwala dokładnie przewidzieć moment, w którym wystąpi awaria. Dlatego wcześniej stosowana metoda wymiany łożysk po określonym czasie pracy w celu zapobieżenia niespodziewanym awariom nie musi być stosowana. W efekcie bez ryzyka można ograniczać niepotrzebne ingerencje ekip serwisowych, co daje oszczędności. Choć mamy narzędzia do bezinwazyjnej oceny stanu łożyska to nadal warto dbać o ich smarowanie, które odpowiada nawet za 80% awarii. Ważny jest prawidłowy montaż, dbanie o współosiowość oraz ochrona przed korozją i przegrzaniem. Należy też zawsze brać pod uwagę, że ze względu na charakter trwałości zmęczeniowej łożysk tocznych, pozornie identyczne łożyska mają różną trwałość w tych samych warunkach pracy. Ważne jest, by inżynierowie tworzący aplikacje przewidywali trwałość eksploracyjną łożysk z dużą dokładnością. Powinno się uzyskać od producenta analizę, która przewiduje wartości osiągów łożysk w warunkach pracy podobnych do tych, jakie się przewiduje w danej aplikacji. Warto dodać, że obliczanie okresu zmęczenia jest standaryzowane na arenie międzynarodowej za pomocą normy ISO 281. Specjaliści przypominają, że łożyska jako elementy maszyny przeznaczone są do wielu zastosowań i mogą być narażone na bardzo różne, w tym także trudne warunki pracy. Ponadto, ponieważ są częściami standardowymi, konieczne jest stałe monitorowanie zarówno ich jakości, jak i wydajności technicznej. ■