

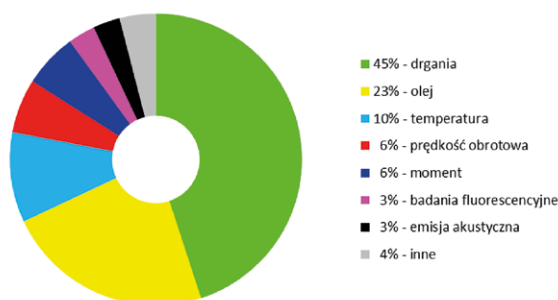
Monitorowanie stanu technicznego wolnoobrotowych łożysk ślizgowych maszyny wyciągowej

Grzegorz Standziak, Ryszard Nowicki, Stanisław Strzelecki

1. Wstęp

Silnie obciążone wolnoobrotowe łożyska ślizgowe z dwoma rowkami smarowymi stosowane są w układzie łożyskowania maszyny wyciągowej [1–5]. Robocza prędkość obrotowa wynosi 70 RPM (RPM = obroty na minutę) przy bardzo dużych obciążeniach generowanych przez przemieszczający się skip z urobkiem. Ponieważ łożyska pracują w bardzo odpowiedzialnej, silnie obciążonej maszynie wyciągowej, celowe jest ich wyposażenie w niezawodny, działający w sposób ciągły online system monitorowania stanu technicznego. Zadanie to jest szczególnie ważne dla maszyn wyciągowych usytuowanych na wieżach basztowych. Dotychczas w krajowych kopalniach głębokości ciągnięcia sięgają ~1 km, natomiast coraz częściej pojawiają się zapotrzebowania użytkowników na maszyny wyciągowe mogące zagwarantować zasięg dochodzący do 1,3–1,5 km. Instalowane w tego typu maszynach silniki napędowe charakteryzują się mocami dochodzącymi do 9 MW.

Rodzaje technik monitorowania [6] stosowanych dla wykrywania uszkodzeń łożysk przedstawiono na rys. 1 wraz z przybliżoną intensywnością ich stosowania. Z przedstawionych danych wynika, że trzema najważniejszymi sposobami oceny są: drgania, analiza środka smarowego oraz temperatura pracy. Pokrywają one ~78% zastosowań.



Rys. 1. Rodzaje technik monitorowania i intensywność ich stosowania na rzecz wykrywania uszkodzeń łożysk

Dodatkowym problemem pojawiającym się w czasie użytkowania maszyn wyciągowych mogą być prądy/napięcia wałowe. Ich konsekwencją może być erozja elektryczna łożysk. Prowadzi ona bezpośrednio do skrócenia żywotności łożysk. Tak więc w tym przypadku awaryjność łożysk (niezależnie od tego, czy jest to łożyskowanie ślizgowe czy też toczne) może być wyższa niż pokazana na statystykach zamieszczonych w [7].

W monitorowaniu stanu łożysk najbardziej tradycyjną formą nadzoru technicznego online są pomiary temperatury meta-

Streszczenie: Silnie obciążone, wolnoobrotowe łożyska ślizgowe z dwoma rowkami smarowymi stosowane są w układzie łożyskowania maszyny wyciągowej. Dla zapewnienia bezawaryjnej pracy kopalni, układ łożyskowania powinien być wyposażony w niezawodny, działający w sposób ciągły online system monitorowania.

W artykule przedstawiono możliwości monitorowania stanu technicznego wolnoobrotowych, silnie obciążonych, cylindrycznych łożysk ślizgowych z dwoma rowkami smarowymi. Na system monitorowania składają się pomiary drgań i temperatury łożysk ślizgowych, kontrola jakości środka smarowego oraz pomiary prądu wałowego.

TECHNICAL CONDITION MONITORING OF LOW SPEED JOURNAL BEARINGS OF A HOSTING MACHINE

Abstract: Heavy duty, low speed 2-axial-groove cylindrical journal bearings are applied in the bearing system of the hoisting machinery of coalmine. These very responsible journal bearings, from the point of the reliable operation of coal mine, should be equipped with modern, continuously online operating monitoring system.

This paper describes the monitoring possibilities of the technical state of low speed, heavily loaded 2-axial-groove cylindrical journal bearings. The monitoring system combines the measurements of bearings vibration, temperature, quality of applied lubricant as well as the monitoring of shaft current.

lu łożysk ślizgowych oraz pomiary drgań względnych wirnika (rozszerzone o pomiary położenia czopów w łożyskach). Obie formy monitorowania mogą być wykorzystywane do bieżącej kontroli stanu technicznego napędu wraz z napędzaną maszyną, ale także dla zabezpieczeń. Podstawowe konfiguracje czujników i wymagania w odniesieniu do układów monitorowania przedstawiono w [8]. Standard ten został opracowany z przeznaczeniem do stosowania dla różnych odpowiedzialnych maszyn wirnikowych i tłokowych wykorzystywanych w branży O&G. Natomiast ze względu na krytyczność i mieszczanie się w przedziale mocy maszyn wykorzystywanych w branży O&G z powodzeniem może on być wykorzystywany jako doskonały przewodnik dla specyfikowania systemu monitorowania i zabezpieczeń maszyny wyciągowej.

Rys. 2. Możliwe wzajemne uzależnienia między zmianami temperatur i drgań



Specyfika systemu monitorowania jest uzależniona od strategii utrzymania ruchu dedykowanej poszczególnym agregatom w przedsiębiorstwie. W przypadku maszyny wyciągowej można przyjąć, że najlepszym sposobem nadzoru jej stanu technicznego jest zastosowanie zintegrowanego systemu monitorowania i zabezpieczenia, do którego podłączone są zarówno pomiary drgań, jak i temperatury. Pomiary te winny być włączone do jednego systemu, bowiem może mieć miejsce wzajemne sprzężenie zwrotne między tymi procesami (tak jak to pokazano na rys. 2). Należy stwierdzić, że:

- wpływ drgań skutkuje w zwiększonych oddziaływaniach dynamicznych na łożyska i prowadzi w konsekwencji do zmiany temperatury łożysk;
- zmiana temperatury oleju (leżąca poza zmianą stanu technicznego maszyny wyciągowej) może wpłynąć na zmianę położenia i dynamiki czopów w łożyskach.

Taki zintegrowany system monitorowania pozwala również na analizę położenia czopów w łożysku, bowiem pomiary położenia realizowane są z pomocą tych samych czujników, które dokonują pomiarów drgań względnych.

Ważnym zadaniem jest wybór odpowiedniego typu czujnika, który współdecyduje o skutecznym działaniu systemu zarządzania stanem technicznym maszyn i poprawnym działaniu systemu zabezpieczeń. W układach monitorowania drgań w maszynach z łożyskami ślizgowymi standard [8] zaleca wykorzystywanie przetworników zbliżeniowych działających na bazie prądów wirowych [9, 10]. Czujniki takie umożliwiają pracę w paśmie częstotliwości od 0 Hz do ~10 kHz, co zapewnia określenie podstawowych parametrów drgań oraz położenia czopów w łożyskach dla każdej maszyny wyciągowej w kopalni. Fakt, że czujniki tego typu nie posiadają żadnych części ruchomych, przyczynia się dodatkowo do ich wysokiej niezawodności.

Łożyska maszyny wyciągowej charakteryzują się znacznymi obciążeniami mechanicznymi, współpracują z czopami obracającymi się ze stosunkowo niewielką prędkością obrotową oraz ze względów oczywistych muszą pracować poprawnie dla obu kierunków obrotu wirnika, co w konsekwencji sprzyja możliwości pracy w warunkach tarcia mieszanego [11] i powoduje ich przyspieszone zużycie. W przypadku współpracujących par mechanicznych w warunkach tarcia mieszanego w obecności środków smarnych elementy o wzajemnym ruchu wytwarzają mikroskopijne, metalowe cząstki zużycia, które przenoszone są do układu smarowania. Także dodatkowo może dochodzić do pojawienia się ładunków elektrostatycznych wpływających

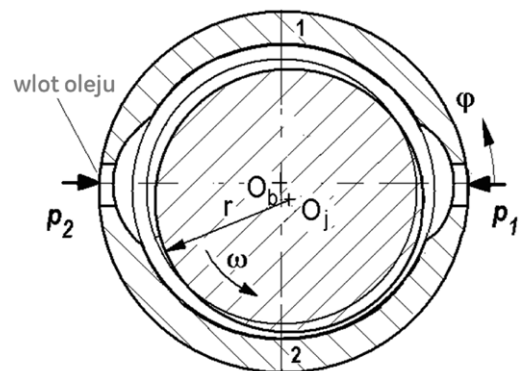
na reakcje tribochemiczne w substancji smarnej. Pod działaniem ładunków może dochodzić w układzie tribologicznym na granicy faz metal – elektrolit do tworzenia się i likwidacji lokalnych procesów wydzielania oraz rozpuszczania metali i np. wydzielania się ze stopu łożyskowego atomów cynku na powierzchni miedzi.

Od 1986 r. szeroko wprowadzono analizę cząstek zużycia oraz technikę monitorowania stanu technicznego oleju. Po przez monitorowanie liczby cząstek zużycia oraz ich wielkości można prawie natychmiast zidentyfikować nienormalne zużycie. Klasyfikacja i ustalenie wielkości pojedynczych cząstek dostarcza dodatkowych informacji odnośnie do mechanizmu i stopnia zaawansowania stanu zużycia w elementach, które ulegają destrukcji [12], a także w przypadku bardziej skomplikowanych konstrukcji, może przyczynić się do zlokalizowania węzła maszyny, w którym to przyspieszone zużycie zachodzi. Cel taki może być osiągnięty z pomocą czujnika zainstalowanego w układzie smarowania, który będzie wykrywał występowanie i mierzyl wielkość cząstek metali żelaznych i nieżelaznych przechodzących przez układ. Czujnik taki winien cechować się zwartą budową i nie wymagać konserwacji.

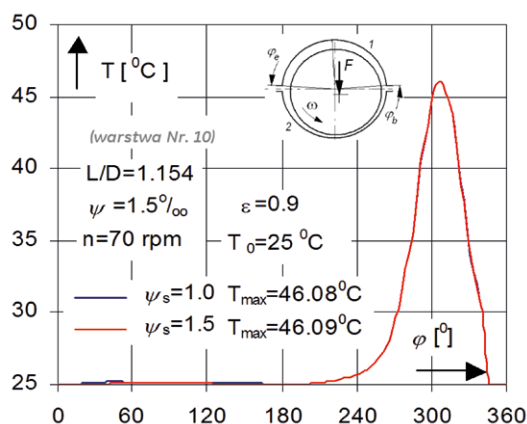
W artykule przedstawiono możliwości monitorowania stanu technicznego wolnoobrotowych, silnie obciążonych, cylindrycznych łożysk ślizgowych z dwoma rowkami smarowymi. Monitorowanie stanu technicznego oparte jest na ww. pomiarach drgań, temperatury łożysk ślizgowych, monitorowaniu cząstek stałych w środku smarnym oraz monitorowaniu stanu elektrycznego wału.

2. Monitorowanie temperatury łożysk ślizgowych

Jedną z najważniejszych charakterystyk statycznych łożysk ślizgowych [1–4] jest rozkład temperatury filmu smarowego i jej maksymalna wartość. Temperatura filmu smarowego może być otrzymana z przekształconego równania energii [2, 5]. Dla założonej geometrii łożyska (rys. 3) i diatermicznego modelu filmu smarowego przykładowy rozkład temperatury w łożysku cylindrycznym łożysku ślizgowym z dwoma rowkami smarowymi (dla jednego z przekrojów obliczeniowych) pokazano na rys. 4, gdzie T_0 jest temperaturą zasilającego środka smarnego. Dolna połowa łożyska jest najbardziej obciążona cieplnie [1–5].



Rys. 3. Cylindryczne łożysko ślizgowe z dwoma rowkami smarowymi: r – promień czopa; O_b , O_i – środek łożyska i czopa; p_1 , p_2 – ciśnienia zasilania środkiem smarnym; φ – współrzędna obwodowa; ω – prędkość kątowa



Rys. 4. Rozkłady temperatury w diatermicznym filmie smarowym cylindrycznego łożyska z dwoma smarowymi rowkami osiowymi ($\psi_s = 1$) i półcytrynowego ($\psi_s = 1.5$); (L/D – względna długość łożyska; n – prędkość obrotowa; ε – względna mimośrodowość czopa; ψ , ψ_s – względny luz łożyska i segmentu

Maksymalna temperatura filmu smarnego T_{\max} znajduje się na obwodzie łożyska (kąt 310° – rys. 4) i to właśnie w tym miejscu, ze względu na hipotetycznie największe prawdopodobieństwo wystąpienia problemu we współpracy pary czop – panewka, powinien być zamontowany czujnik temperatury. Takie położenie czujnika zapewnia najlepsze dane o rzeczywistej maksymalnej temperaturze łożyska.

Wał maszyny wyciągowej obraca się w dwóch kierunkach. W konsekwencji winny być stosowane osiowo symetryczne pomiary temperatury, czyli czujniki powinny być umieszczone w dolnej połowie łożyska w odpowiedniej odległości kątowej od linii obciążenia wału. Rozwiązanie takie zapewnia najlepszą kontrolę temperatury metalu łożyska. Ze względu na bardzo duże mechaniczne obciążenia podpór łożyskowych oraz obecność otworów o małej średnicy (zależnie od rodzaju czujnika, np. średnica 4 mm) dla dolnej połowy łożyska wymagana jest analiza obciążeń oraz dane dotyczące rozkładu naprężeń w obudowach łożysk [13].

Standard [8] sugeruje stosowanie dla monitorowania temperatury łożysk ślizgowych czujników typu RTD (RTD oznacza termooporowe sensory temperatury). Natomiast ze względu na szybkość działania (szczególnie łożysk podlegających dużym obciążeniom) bardziej zasadne wydaje się stosowanie termopar i w konsekwencji wyposażanie łożysk maszyny wyciągowej np. w termopary NiCr-NiAl (najlepiej podwójne ze względu na zwiększoną niezawodność systemu monitorującego) umieszczone w środku łożyska dla łożyska krótkiego lub w dwóch płaszczyznach pomiarowych dla łożysk długich (tak jak to jest opisane w [8] – lub lepiej¹) około 0,3 mm pod powierzchnią ślizgową [14]. Dodatkowo winny być stosowane czujniki temperatury umożliwiające realizację pomiarów temperatury środka smarnego na jego wylocie z łożyska.

3. Monitorowanie drgań i przemieszczeń czopów

Główne czynniki przyczyniające się do uszkodzenia i dramatycznego skrócenia żywotności łożysk ślizgowych to: niewystarczające smarowanie, zanieczyszczenia, przeciążenie oraz

niewłaściwa obsługa i montaż. Czynniki te mogą także wtórnie wpływać na charakterystyki drganiowe części wirujących maszyny. Poprawność doboru czujników drgań rzutuje w znaczącym stopniu na poprawność działania systemu monitorowania i zabezpieczeń.

Zastosowanie czujników pracujących na bazie prądów wirowych wymaga starannego rozważenia kilku kwestii (i) oczekiwana amplituda drgań musi znajdować się w zakresie liniowej dynamiki pracy czujnika, (ii) standardowy tor pomiarowy jest skalowany dla stali AISI 4140 (które to warunki skalowania są akceptowalne dla większości różnych stali wykorzystywanych do produkcji wałów maszyn różnego przeznaczenia) natomiast w przypadku stali niestandardowych może być wymagana rekalkulacja toru pomiarowego do warunków jakiejś szczególnej aplikacji², (iii) system pomiarowy jest nie tylko wrażliwy na rodzaj stali, z której wykonany jest wał, ale także na stan powierzchni wału (lepiej: jego warstwy podpowierzchniowej), tak więc niezbędne jest zadbanie o właściwe przygotowanie ścieżki pomiarowej.

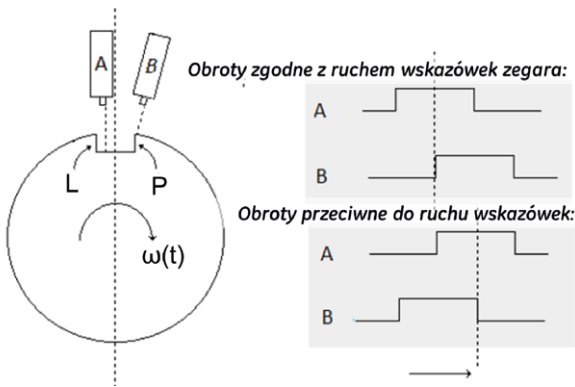
Przy wyborze toru pomiarowego należy także zwrócić uwagę na jego przystosowanie do poprawnej pracy ze względu na wymogi środowiska, w tym przede wszystkim: (i) dostosowanie elementów toru pomiarowego do maksymalnych wartości zmian pola temperatur, (ii) sprawdzenie możliwości stosowania czujnika w warunkach zróżnicowania ciśnienia po obu stronach mocowania czujnika, (iii) odporność na substancje chemiczne lub działanie agresywnych związków chemicznych (dostępne są na taką okoliczność specjalne wykonania czujników, które np. pracują bez problemu w atmosferze amoniaku) (iv) w przypadku niektórych aplikacji wymagana jest także atestacja ATEX, charakteryzująca warunki zastosowania czujników w strefach zagrożonych wybuchem, natomiast takiego wymogu nie ma w przypadku pomiarów instalowanych dla maszyn wyciągowych.

Na tor pomiarowy składają się na ogół trzy elementy: (i) sonda z krótkim kablem, (ii) przetwornik o scharakteryzowanym standardzie elektrycznym oraz (iii) kabel przedłużający zapewniający poprawność pracy całego toru pomiarowego (na rys. 5 pokazano typowe elementy torów pomiarów bezkontaktowych³).

Sposób monitorowania drgań dla silników elektrycznych opisano w [15], gdzie pokazano także wymagane zgodnie z [8] konfiguracje czujników drgań dla silników łożyskowych tocznie oraz ślizgowo (*vide* odpowiednio rys. 1 i 3 w [15]). W przypadku maszyn łożyskowych ślizgowo wymagane jest zastosowanie pary wzajemnie prostopadłych czujników bezkontaktowych w każdym węzle łożyskowym (co daje możliwość obserwowania ruchu każdego czopa wału maszyny wyciągowej z osobna) oraz dodatkowo pojedynczego czujnika (może być

Rys. 5. Typowe elementy bezkontaktowych torów pomiarów wirowych wykorzystywane dla pomiarów drgań względnych i położeń wzajemnych





Rys. 6. Podwójny znacznik fazy umożliwiający rozpoznawanie kierunku obrotów oraz (z prawej) indykacja zdarzeń przez czujniki A i B w zależności od kierunku obrotów wału

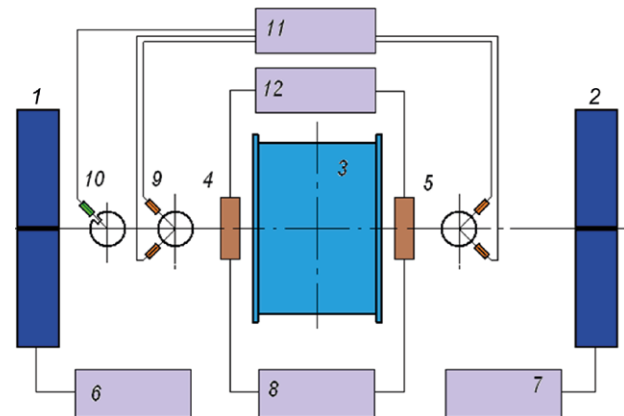
także typu wiroprowadowego) wykorzystywanego jako tzw. znacznik fazy (w żargonie diagnostyki zwanym Keyphasorem) [16].

Bezkontaktowe czujniki wiroprowadowe nadzorujące położenie i ruch wałów najlepiej jest mocować bezpośrednio do łożysk, natomiast w przypadku niewielkich agregatów o zwartej i sztywnej budowie mogą być one także mocowane do pokryw łożyskowych. Takie czujniki bezkontaktowe (zwane także zbliżeniowymi) są w stanie zmierzyć średnie promieniowe położenie wału (przesunięcia czopa łożyska) w obszarze luzu łożyskowego lub położenie osiowe względem łożyska oporowego (wzdłużnego). Pomiaru te są przydatne do diagnozowania mimośrodowości położenia czopów w panewkach, obciążenia wału, a także oceny stopnia zużycia łożysk (w zakresie powiększenia się luzów łożyskowych).

Zastosowanie pojedynczego znacznika fazy jest wystarczające w przypadku agregatów maszynowych pracujących jednokierunkowo (ze względu na kierunek obrotów wirnika). W przypadku maszyny wyciągowej mamy jednak z definicji do czynienia z kierunkowo alternatywnymi obrotami wirnika. W takiej sytuacji celowe jest stosowanie systemu monitorowania stanu technicznego maszyny wyposażonego w podwójny znacznik fazy, tak jak to zostało pokazane na rys. 6. Dysponując takimi dwoma sygnałami, system diagnostyki stanu technicznego maszyny wyciągowej będzie posiadał zdolność lepszej oceny pracy wirników w łożyskach.

Znacznik fazy pozwala prowadzić wektorowe pomiary drgań w systemie monitorowania stanu technicznego i w konsekwencji realizować w warunkach stanów przejściowych m.in. analizy BODE NX (także w postaci biegunowej), widma kaskadowe (także w wersji pełnej), co może być pomocne przy wyznaczeniu rezonansów strukturalnych, gdyby system monitorowania rozszerzyć dodatkowo o pomiary sejsmiczne, a także umożliwia budowanie wykresów zmiany położenia środków czopów. Znacznik fazy może być także użyteczny w przypadku pracy maszyny wyciągowej ze stałymi obrotami, np. na okoliczność wykonywania analiz typu APHT NX.

Bardziej zaawansowane systemy diagnostyki umożliwiają prowadzenie analiz diagnostycznych w uzależnieniu od wielowymiarowego stanu obciążeń [17] (w tym przypadku przez „stan” można m.in. rozumieć: zróżnicowane obciążenie wirnika



Rys. 7. Konfiguracja czujników stosowanych do monitorowania łożysk ślizgowych oraz silnika elektrycznego maszyny wyciągowej; 1 i 2 – silniki elektryczne; 3 – bęben linowy; 4 i 5 – łożyska ślizgowe; 6 i 7 – skrzynka terminali pomiaru temperatury uzwojeń silników; 8 – skrzynka terminali pomiaru temperatury łożysk; 9 – bezkontaktowe czujniki przesunięcia; 10 – czujniki fazy i kierunku obrotu wirnika; 11 – skrzynka połączeń czujników bezkontaktowych; 12 – skrzynka interfejsowania czujnika monitorującego jakość środka smarnego



Rys. 8.

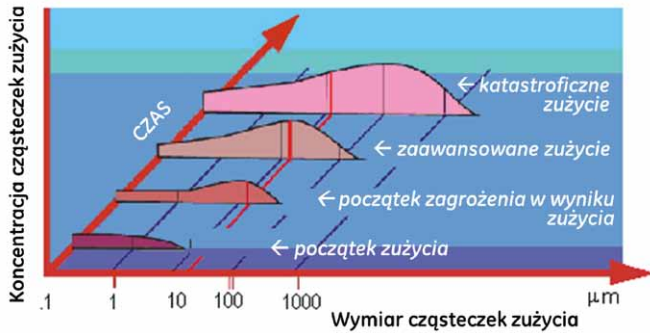
Typowy układ przetworników bezstykowych (w uchwytach TYP 21000) do monitorowania łożysk silnika elektrycznego: (+/- przetworniki XY 45°) i pojedynczy czujnik Keyphasor (0°) z widocznym na wale wgłębieniem do indykacji fazy

maszyny wyciągowej, lewe bądź prawe obroty wirnika maszyny wyciągowej etc.).

Na rys. 7 pokazano konfigurację czujników stosowanych do monitorowania łożysk ślizgowych oraz silnika elektrycznego maszyny wyciągowej, natomiast na rys. 8 parę czujników XY zamontowanych w łożysku silnika z pomocą obudów TYP 21000 oraz dodatkowo czujnik znacznika fazy (na fotografii jest także widoczna fazka na wale umożliwiająca indykację pojedynczego impulsu na każdy obrót wału).

4. Monitorowanie stanu środka smarnego

Monitorowanie jakości środka smarnego może być prowadzone z punktu widzenia różnych kryteriów, jak np. lepkość kinematyczna, zawartość cząstek stałych, zawartość wody, kwasowość etc. W tym celu mogą być stosowane różnego typu techniki analizy (tak tradycyjne offline, jak i coraz częściej wdrażane metody online). Dla monitorowania stanu technicznego maszyny wyciągowej pierwszoplanowe znaczenie ma monitoro-



Rys. 9. Ocena stanu technicznego uzależniona od wielkości i koncentracji cząstek stałych w substancji smarnej



Rys. 10. Czujniki metalowych cząstek zużycia: (A) FG-K19567, (B) FG-K19400-Ex posiadający certyfikat ATEX

wanie oleju ze względu na zawartość i wielkość cząstek stałych, a to ze względu na silne obciążenie łożysk maszyny wyciągowej. Klasyfikowanie poszczególnych cząstek stałych dostarcza dodatkowych danych na okoliczność mechanizmu zużycia i stopnia jego zaawansowania. Rozróżnianie w ramach prowadzonej klasyfikacji cząstek z materiałów żelaznych oraz nieżelaznych może być pomocnym w identyfikacji tego podzespołu maszyny, który podlega ponadnormatywnemu zużyciu. Wielkość cząstek zużycia i ich koncentracja winny być obserwowane w funkcji czasu, tak jak to pokazano na rys. 9.

Ocena przeciętnych maksymalnych rozmiarów cząstek oraz rozkład ich wielkości jest jednym z ważniejszych celów prowadzonych badań. Ogólnie można stwierdzić, że uszkodzenie systemu technicznego jest proporcjonalne do wielkości cząstek. Wdrażając tego typu monitoring i nie dysponując wiedzą *a priori*, można przyjąć wstępnie cztery klasy wielkości cząstek:

- minimalne – mniejsze od 5 µm;
- małe – w przedziale 5–25 µm;
- średnie – w przedziale 25–60 µm;
- duże – powyżej 60 µm.

Monitorowanie środka smarnego ze względu na cząstki stałe jest możliwe z pomocą czujników Parker-Kittiwake, tak jak pokazano przykładowo na rys. 10 i scharakteryzowano w tabeli 1 [12]. Czujniki te umożliwiają monitorowanie stanu oleju w czasie rzeczywistym i w przypadku dostarczenia informacji o pojawieniu się cząstek stałych o podwyższonych gabarytach lub o zwiększonej koncentracji dają możliwość realizacji proaktywnego podejścia służb utrzymania ruchu do zaistniałego problemu.

Czujniki posiadają tradycyjne wyjścia analogowe, wyjścia przekaźnikowe (0/1), a także umożliwiają interfejsowanie cyfrowe z systemami automatyki bądź też z systemem bardziej kompleksowej diagnostyki maszyny wyciągowej. Dla zastoso-

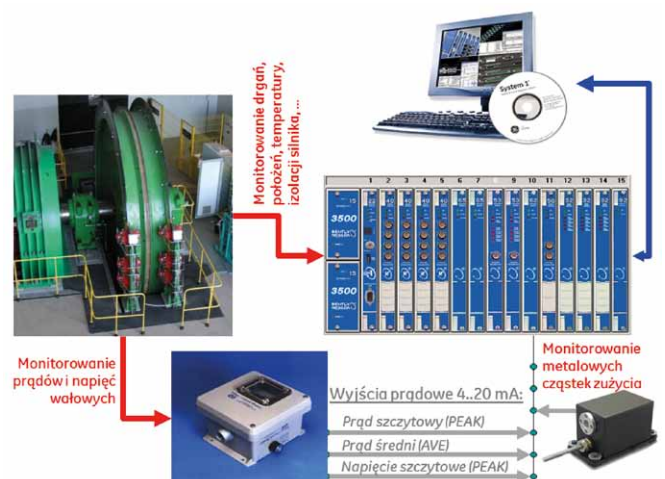
Tabela 1

Charakterystyka czujnika	FG-K19567	FG-K19400-Ex
Granice detekcji	Stan oleju (jednostki jakości oleju)	Skład metalurgiczny i kategoria wielkości cząstek stałych w cieczy
Metale żelazne	>40 µm (0,04 mm)	>40 µm (0,04 mm)
Metale nieżelazne	>135 µm (0,135 mm)	>135 µm (0,135 mm)
Temperatura otoczenia	od -20 do 70°C	od -40 do 65°C
Dopuszczalna temperatura oleju	od -20 do 130°C	od -40 do 90°C
Wyjście analogowe	2*(4-20 mA), 1*0/1	1*0/1
Wyjście cyfrowe	RS232, RS485	RS 485, TCP IP
Zasilanie	15-30 V DC	20-28 V DC
Szczelność	IP67	IP66
ATEX	-	II 2 G, Ex mb IIB T5, Ta = -40...+65°C

wań na wieżach szybowych wystarczające jest stosowanie czujnika w wersji nie-Exowej, jak scharakteryzowany w kolumnie środkowej tabeli 1.

5. Monitorowanie prądów/napięć wałowych

Tak jak wspomniano wcześniej, jednym z problemów dotyczących łożysk maszyny wyciągowej może być erozja elektryczna łożysk. Tak więc w takich sytuacjach może być dodatkowo wymagane zastosowanie monitorowania stanu elektrycznego wału maszyny wyciągowej. W tym celu mogą być zastosowane dodatkowe szczotki podłączone do specjalnego modułu monitorującego prądy i napięcia wałowe – tak jak to pokazano na rys. 11. Moduł monitorujący może działać samodzielnie w przypadku prewencyjnego utrzymania ruchu dzięki posiadanym wyjściom przekaźnikowym. Natomiast w przypadku utrzymania ruchu bazującego na stanie technicznym winny być także wykorzystywane jego trzy wyjścia prądowe informujące o prądach i napięciach występujących na wale. Wyjścia te umożliwiają podłączenie do systemu monitorowania, który jest wykorzystywany na rzecz monitorowania drgań, położenia, temperatury itd. Pokazany na rysunku przykładowo SYSTEM 3500 posiada 6-kanalowy monitor umożliwiający podłączenie



Rys. 11. Kompleksowy system monitorowania stanu technicznego maszyny wyciągowej, uwzględniający także nadzór prądów i napięć wałowych

sygnałów analogowych 4–20 mA, tzn. takich, jak wypracowywane przez ww. moduł monitorowania efektów elektrycznych lub wcześniej omówiony monitoring cząstek metalicznych w oleju. System monitorowania i zabezpieczeń SYSTEM 3500 umożliwia akwizycję sygnałów ze wszystkich rodzajów dyskuutowanych czujników, a dzięki wbudowanemu procesorowi komunikacyjnemu może być w przypadku potrzeby rozszerzony o system diagnostyki (na rysunku 11 pokazano SYSTEM 1), umożliwiając nadzór maszyny wyciągowej zarówno w stanach jej ustalonej, jak i transjentowej pracy.

6. Uwagi końcowe

W artykule omówiono system monitorowania stanu technicznego łożysk maszyny wyciągowej. Zastosowanie czterech omówionych technik nadzoru zapewnia pełną informację o prawidłowej pracy łożysk ślizgowych maszyny wyciągowej i ich bieżącym stanie technicznym. W przypadku potrzeby system monitorowania łożysk może być łatwo rozszerzony o system nadzoru stanu technicznego innych elementów agregatu (jak np. część elektryczna silnika, zaszprzętowanie z bębniem itd.).

Należy pamiętać, że o stanie technicznym maszyny wyciągowej decyduje nie tylko stan łożysk. W niektórych przypadkach na niezawodność mogą także znacząco wpływać inne uszkodzenia, jak np. dotyczące obwodów elektrycznych silnika. Statystyki podają, że z punktu widzenia częstotliwości uszkodzeń silników łożyskowanych ślizgowo to właśnie stan izolacji jest odpowiedzialny za ~60% uszkodzeń [7]. Takie dodatkowe rodzaje monitorowania stanu technicznego mogą być na ogół włączone do tego samego systemu monitorowania, który został zaproponowany do nadzoru łożysk ślizgowych, i uczynić ten system nadzoru bardziej kompleksowym.

Przypisy

- Standard [8] wymaga dla łożysk długich usytuowania płaszczyzn pomiarowych temperatury w proporcjach: 25%–50%–25%. Natomiast jeśli gabaryty łożyska wraz z uwarunkowaniami na poprawną instalację czujników temperatury na to pozwalają, można dążyć do zwiększenia odległości między płaszczyznami pomiarowymi nawet do 80–90% i stosowanie np. proporcji: 10%–80%–10% – co może w wielu przypadkach skutkować zwiększeniem wrażliwości pomiarowej na okoliczność rozpoznania nieosiowości.
- Profesjonalni producenci torów pomiarowych posiadają na ogół opracowane modyfikacje dla wielu typów niestandardowych stali, które dostosowują czułość toru pomiarowego do wymaganych warunków pracy.
- Niektórzy producenci, którzy nie posiadają wystarczająco wysokiej kultury technicznej, budują zintegrowane tory pomiarowe, które wewnątrz sondy posiadają również zintegrowany przetwornik. Rozwiązanie takie posiada wątpliwe walory eksploatacyjne, bowiem (i) sonda w przypadku wielu zastosowań winna charakteryzować się zdecydowanie wyższą odpornością temperaturową niż możliwa do osiągnięcia dla elektroniki wykorzystywanej w konstrukcji przetwornika, (ii) w przypadku uszkodzenia np. mechanicznego sondy niezbędne jest poniesienie kosztów całego zintegrowanego toru pomiarowego, które to koszty są zbliżone do kosztu całego zdeintegrowanego toru pomiarowego, jak pokazany przykładowo na rys. 5.

Literatura

- SOMEYA T.: *Journal Bearing Data Book*. Springer Verlag, Berlin 1989.
- STRZELECKI S., WÓJCICKI W., FAMULSKI W.: *Bearing systems of the rope wheels of pit shafts hoists*. Proc of the International Scientific-Technical Conference, Centre of Mining Mechanization, KOMAG 2005, Poland, pp. 43–48.
- STRZELECKI S.: *Maximum Oil Film Pressure and temperature of Two-Lobe Journal Bearings with Different Bush Profile*. „Lubrication Science” Volume 12, Issue 3, May 2000, pp. 254–264.
- SOMEYA T., STANDZIAK G., STRZELECKI S., TOWAREK Z.: *Low speed, heavily loaded half-lemon journal bearing*. XXI Int. Scientific-Technical Conference, TEMAG 23–25.10.2013, Gliwice – Ustroń, pp. 263–274.
- STANDZIAK G., STRZELECKI S., TOWAREK Z.: *Performance characteristics of low speed, heavily loaded two axial groove cylindrical journal bearings of mine hoisting machine*. World Tribology Congress, 2013, Torino, Italy.
- CONDITION MONITORING THROUGH NON DESTRUCTIVE TESTINGS OF MACHINES AND PLANTS, <https://harshparmar.files.wordpress.com>.
- NOWICKI R.: *Monitorowanie online stanu technicznego izolacji silników indukcyjnych*. „Napędy i Sterowanie” 5/2014, s. 84–98.
- Machinery Protection Systems, API STANDARD 670, 5th edition, NOV 2014.
- LITRELL N.: *Selecting the right sensor for your machine*. „ORBIT” Vol. 33, No. 1, 2013.
- LITRELL N.: *Application consideration for Eddy-Current Proximity Probes*. „ORBIT” Vol. 29, No. 1, 2009.
- WÓJCICKI R.: *Badania łożysk ślizgowych pracujących w warunkach tarcia mieszanego*. VII Sympozjum Podstaw Konstrukcji Maszyn, Materiały Vol. II, Lublin 1995, s. 1024–1030.
- The Parker Kittiwake Metallic Wear Debris Sensors. www.parker-kittiwake.gb. 2014.
- STRZELECKI S., KUŚMIERZ L., PONIEWAŻ G.: *Thermal deformation of pads in tilting 5-pad journal bearing*. Maintenance and Reliability, No. 2 (38)/2008, Polish Maintenance Society, Warsaw, pp. 12–16.
- STRZELECKI S., SOCHA Z.: *Operating temperatures of the bearing system of grinding spindle*. „TRIBOLOGIA” 2(236)/2010, pp. 157–167.
- NOWICKI R.: *Klasyczne metody nadzoru stanu technicznego agregatów napędzanych silnikami elektrycznymi*. „Napędy i Sterowanie” 11/2013, s. 32–43.
- NOWICKI R.: *Rola znacznika fazy w systemach nadzoru stanu technicznego*. „Napędy i Sterowanie” 6/2014, s. 52–65.
- NOWICKI R.: *Multi state analysis in condition management*. „ORBIT” Vol. 34, No. 2, 2014, p. 25.

Grzegorz Standziak – Katowicki Holding Węglowy, KHW SA;
Ryszard Nowicki – GE POWER CONTROLS, Oddział BENTLY NEVADA;
Stanisław Strzelecki – COBR Maszyn Włókienniczych
POLMATEX-CENARO