

Przyczyny szybkiego uszkodzenia łożysk tocznych w silnikach elektrycznych

Jan Marek Lipiński, Artur Woźniak

Powszechnie wiadomo, że na niezawodną pracę i dużą trwałość łożysk tocznych ważny wpływ mają prawidłowy montaż i właściwa obsługa polegająca na dosmarowywaniu odpowiednim gatunkiem smaru pozabawionym zanieczyszczeń, usuwaniem nadmiaru zużytego smaru, okresową wymianą całości smaru z łożysk na nowy. Na poniższej fotografii pokazany jest przykład, gdzie użytkownik dosmarowywał łożysko, lecz nie usuwał nadmiaru zużytego smaru.

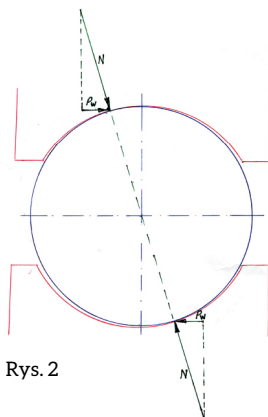


Rys. 1

Jednak najszybsza degradacja łożysk tocznych w silnikach elektrycznych spowodowana jest głównie dwiema następującymi przyczynami:

1. Nadmiernym parciem osiowym na wał silnika.
2. Przepływem prądów łożyskowych.

Ad. 1. Do ustalenia osiowego wałów silników najczęściej stosowane są łożyska kulkowe, które nie są przystosowane do przenoszenia dużych sił osiowych. Z uwagi na konstrukcję łożyska siły osiowe powodują wielokrotnie większe naciski kulek na bieżnię łożyska, co obrazowo jest przedstawione na rys. 2.



Rys. 2

Na rys. 3 widać asymetryczny ślad współpracy kulek z bieżnią łożyska. Duża asymetria jest spowodowana parciem osiowym na łożysko.



Rys. 3

Na rys. 4 wyraźnie widoczny jest asymetryczny, spowodowany parciem osiowym, ślad nacisku kulek na bieżnię. Duże naciski skutkowały już uszkodzeniami bieżni łożyska.

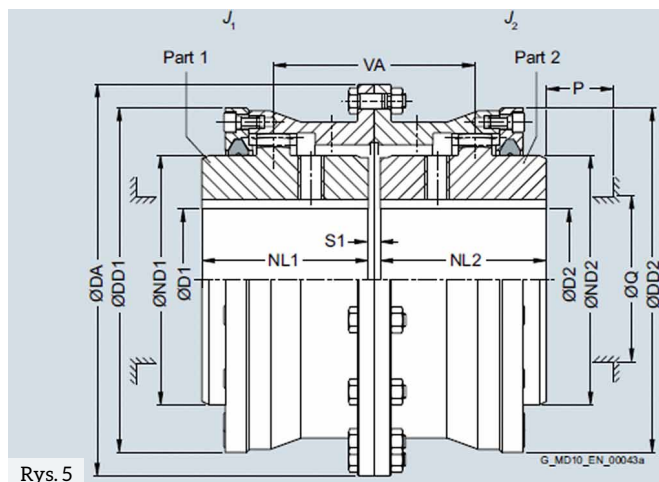
Główną przyczyną parcia osiowego jest zastosowanie niewłaściwych sprzęgła. W przypadku znacznych odległości między łożyskami oporowymi silnika i maszyny napędzanej sprzęgło powinno zapewnić kompensację przesunięć osiowych wskutek wydłużeń cieplnych wałów. Dotyczy to również silników

pracujących na wolnym powietrzu z uwagi na duże różnice temperatury otoczenia. Najlepiej spełniają ten warunek np. sprzęgła zębate, które zapewniają swobodny przesuw końcówek napędowych wałów nawet w granicach ± 3 mm. Na rys. 5 przedstawiony jest rysunek przekroju takiego sprzęgła.

Diagnostyka łożysk prowadzona właściwymi metodami lub system automatycznego wyłączania silnika przy przekroczeniu odpowiednich progów nastaw (co będzie opisane w dalszej części artykułu) pozwalają na uniknięcie rozległych uszkodzeń silnika z powodu uszkodzenia łożyska. Naprawa ogranicza się wtedy jedynie do wymiany łożyska na nowe. Oczywiście jest, że należy również usunąć przyczynę awarii.



Rys. 4



Rys. 5

W przypadku braku monitoringu łożysk i systemu zabezpieczeń degradacja łożyska może doprowadzić do jego zatarcia. Wtedy zwykle dochodzi do zniszczenia całego węzła łożyskowego. Uszkodzone zostają pokrywki i piasta tarczy łożyskowej, odrzutnik smaru i labirynty oraz – co najgorsze – wał silnika. Uszkodzenie wału najczęściej wymaga wykonania całego nowego wirnika. Często dochodzi także do zatarcia wirnika o stojan. Wtedy konieczne jest wykonanie nowego stojana uzwojonego. W tej sytuacji wątpliwa staje się opłacalność naprawy i w wielu przypadkach trzeba wykonać nowy silnik. Przypadek takiego zatarcia łożyska jest pokazany na poniższych fotografiach. Na zatartym, kompletnie zniszczonym łożysku

reklama

(rys. 6, 7) wyraźnie widać, że przyczyną awarii było bardzo silne parcie osiowe na łożysko kulkowe.

Parcie osiowe oddziałuje wzajemnie na łożyska oporowe silnika i maszyny napędzanej. Maszyny napędzane (najczęściej pompy, wentylatory, sprężarki) mają łożyska oporowe przystosowane do przenoszenia znacznych sił osiowych, jakie działają na wirnik wewnątrz maszyny. Przeważnie są to łożyska kulkowe skośne, które mogą przenosić wielokrotnie większe siły osiowe w stosunku do zwykłych łożysk kulkowych zamontowanych w silniku. Dlatego uszkodzeniu ulega łożysko silnika.



Rys. 6



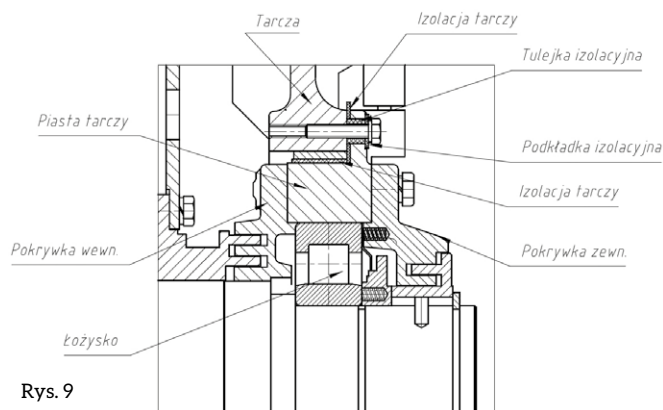
Rys. 7

Ad. 2. Niszczące działanie prądów łożyskowych objawia się najwyraźniej na bieżniach łożysk kulkowych, najczęściej w postaci charakterystycznych prążków, jak na rys. 8.



Rys. 8

W celu zabezpieczenia łożysk przed przepływem prądów łożyskowych w silnikach elektrycznych stosuje się łożyska izolowane lub specjalną konstrukcję tarczy łożyskowej, zapewniającą izolację elektryczną między tarczą a komorą łożyskową (piastą tarczy), co pokazane jest na rysunku 9.



Rys. 9

Dla przerwania obwodu prądów łożyskowych wystarczy zastosować izolowane łożysko lub izolowaną tarczę łożyskową tylko od strony przeciwnapędowej silnika (dla silników trakcyjnych z obu stron).

Powyższe rozwiązanie jest obligatoryjnie stosowane szczególnie w silnikach przeznaczonych do zasilania z przetworników

częstotliwości z powodu zwiększonego narażenia łożysk silnika na działanie prądów łożyskowych.

W eksploatacji silników problem uszkodzenia łożysk prądami łożyskowymi wynika głównie z błędów obsługi i dotyczy silników z izolowaną tarczą łożyskową. Zwarcie izolacji tarczy następuje przez rurkę smarowniczą lub zbiornik zużytego smaru, które są mocowane do piasty komory łożyskowej i fabrycznie odizolowane od tarczy i osłony wentylatora zewnętrznego silnika. Na rys. 10 przedstawiony jest przypadek zwarcia rurki do osłony poprzez wykręcenie kalamitki i wkręcenie przez obsługę dorobionej końcówki ułatwiającej dosmarowywanie. Silnik był zasilany z przetwornika częstotliwości. Nastąpiło uszkodzenie łożysk prądami łożyskowymi.



Rys. 10

Na rys. 11 pokazany jest przypadek zwarcia zbiornika zużytego smaru do osłony przez niezłożenie specjalnej podkładki izolacyjnej pod śrubę mocującą zbiornik do osłony po usunięciu zużytego smaru ze zbiornika.



Rys. 11

Dla wyeliminowania powyższych błędów obsługi zastosowano dwuczęściowe odizolowane od siebie zbiorniki zużytego smaru i rurki smarownicze z dodatkową izolacją, uniemożliwiającą zwarcie do osłony.

Zdarza się również, że parcie osiowe i przepływ prądów łożyskowych występują jednocześnie. Wówczas degradacja łożysk jest bardzo szybka. Niekiedy wystarczy kilka tygodni do kompletnego zniszczenia. Na rys. 12 i 13 wyraźnie widoczna duża asymetria odcisków na bieżni dowodzi silnego parcia osiowego, a charakterystyczne prążki świadczą o przepływie prądów łożyskowych.

W pokazanych przypadkach, gdzie nie doszło jeszcze do zatarcia łożysk, uniknięcie groźnych awarii i bardzo dużych kosztów napraw silników zostało osiągnięte dzięki diagnostyce pracy łożysk prowadzonej odpowiednimi metodami. Coraz powszechniej na komorach łożyskowych silników montowane są czujniki mierzące skuteczną prędkość drgań RMS w mm/s, co pozwala na ocenę, czy poziom drgań nie przekracza wymagań normy. Jednak pomiar jedynie prędkości drgań nie daje oceny pracy i stanu łożysk, co zostanie przedstawione na rys. 14.

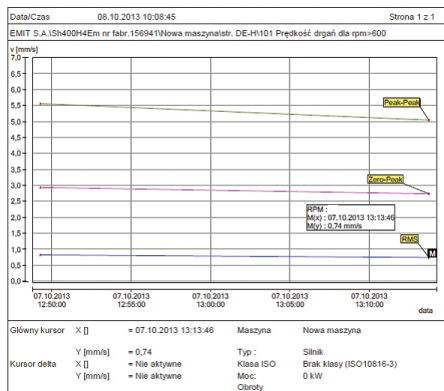
Prędkość drgań silnika na komorach łożyskowych była niewielka,



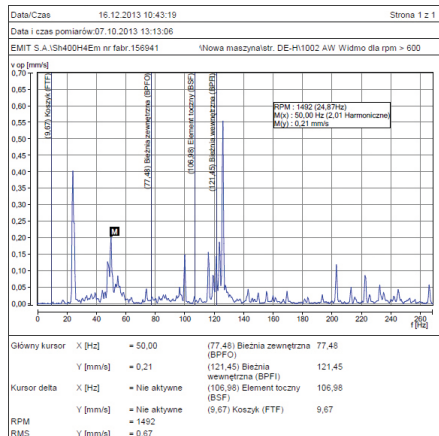
Rys. 12



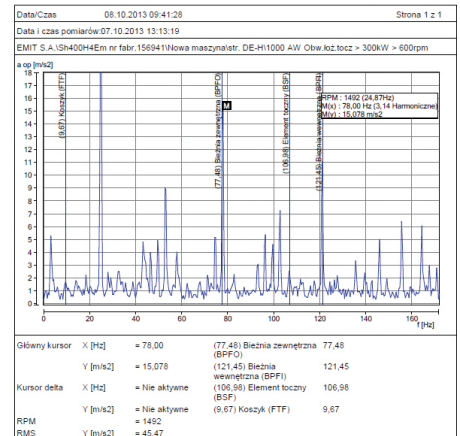
Rys. 13



Rys. 14



Rys. 15



Rys. 16

kilkukrotnie mniejsza od dopuszczalnej normą, jednak użycie w oparciu o pomiary SPM sygnalizował niewłaściwą pracę łożysk. Diagnosta EMIT wykonali pomiary silnika na stanowisku pracy miernikiem VIBXpert II f-my Pruftechnik. Poniżej są zamieszczone pomiary na komorze łożyskowej silnika od strony napędowej.

Jak widać na wykresie, skuteczna prędkość drgań nie przekraczała RMS 0,74 mm/s przy dopuszczalnej normą 4,5 mm/s.

Również pomiar widma prędkości drgań nie wskazywał na uszkodzenie łożyska, ponieważ amplitudy pików widma były niewielkie, a ich częstotliwości nie pokrywały się z częstotliwościami charakterystycznymi dla uszkodzenia poszczególnych elementów (koszyk, bieżnia zewnętrzna, element toczny, bieżnia wewnętrzna) zamontowanego łożyska 6324MC3 FAG (rys. 15).

Dopiero pomiar widma obwiedni przyspieszenia drgań wykazał uszkodzenie łożyska. Częstotliwości pików widma pokrywały się z charakterystycznymi dla uszkodzeń bieżni zewnętrznej i wewnętrznej łożyska. Bardzo duża ich amplituda (powyżej 15 m/s²) kwalifikowała łożysko do natychmiastowej wymiany na nowe. Dopuszczalną amplitudę 0-P pików obwiedni przyspieszenia drgań pokrywających się z częstotliwościami charakterystycznymi uszkodzenia elementów łożyska przyjmuje w granicach do 1 m/s² (rys. 16).

Również szerokopasmowy – w przedziale do 40 000 Hz – pomiar przyspieszenia drgań Zero-Peak potwierdził uszkodzenie łożyska (530 m/s² przy dopuszczalnej 75 m/s² dla prędkości obrotowej 1500 obr./min.).

Pomiary drugiego łożyska strony przeciwnapędowej również wykazały jego uszkodzenie i konieczność wymiany na nowe. łożyska zostały uszkodzone przepływem prądów łożyskowych. Przyczyną było zwarcie na rurce smarowniczej strony przeciwnapędowej, które zostało usunięte.

Przedstawione powyżej wyniki pomiarów potwierdzają, że pomiary tylko samej prędkości drgań nie dają żadnego obrazu o stanie łożysk we wczesnej fazie ich degradacji, natomiast pokazują, czy prawidłowe jest wyważenie wirnika silnika, sprzęgnięcie z maszyną napędzaną i posadowienie silnika na stanowisku pracy (wpływ posadowienia przedstawia inny artykuł autorów pt. „Wpływ posadowienia na wielkość drgań silników elektrycznych”).

Prawidłowa ocena stanu łożysk wymaga szerokopasmowego pomiaru przyspieszenia drgań w granicach do 40 kHz i pomiarów widma obwiedni przyspieszenia drgań w granicach do 1 kHz. Ocena na podstawie widma wymaga znajomości typu i producenta łożyska oraz pomiaru prędkości obrotowej silnika. Oczywiście jest to jedna z lepszych, metod diagnostyki łożysk tocznych. Drugą, dość powszechnie stosowaną, jest metoda pomiaru impulsów uderzeniowych SPM. Do metod opierających się o trend zmian należy również dość prosty pomiar współczynnika szczytu, będący stosunkiem wartości szczytowej 0-p przyspieszenia drgań do wartości skutecznej RMS w danym przedziale częstotliwości. Dla łożysk w dobrym stanie wartość tego bezwymiarowego współczynnika wynosi ok. 3. Wzrost wartości do 10–15 wskazuje na pogorszenie się stanu łożyska i konieczność jego wymiany na nowe.

W przypadku braku diagnostyki łożysk może dojść do zatarcia łożyska i bardzo dużych zniszczeń silnika, jak w przypadku przedstawionym na rys. 6 i 7.

Natomiast w przypadku braku diagnostyki, jeżeli na komorach łożyskowych silnika są zamontowane czujniki drgań mierzące skuteczną prędkość drgań w systemie ciągłym online, najpewniejszym systemem zabezpieczenia silnika przed rozległymi zniszczeniami wskutek zatarcia łożyska jest automatyczne wyłączenie silnika po przekroczeniu nastawionego progu prędkości drgań. Dla uniknięcia niepotrzebnych wyłączeń próg powinien mieć wartość ok. 2–3-krotnie większą od wartości drgań występujących podczas normalnej pracy silnika na stanowisku pracy. Początek zacierania łożyska następuje po skasowaniu luzu między elementami tocznymi a bieżniami do wartości ujemnych. Przejście z toczenia w tarcie elementów tocznych po bieżniach skutkuje szarpnięciem i chwilowym nagłym wzrostem drgań (kilku- lub nawet kilkunastokrotnym). Automatyczne wyłączenie zabezpiecza silnik przed rozległymi zniszczeniami. Wystarczy wymienić na nowe jedynie samo łożysko i usunąć przyczynę awarii.

Jan Marek Lipiński, Artur Woźniak
Zakład Maszyn Elektrycznych EMIT SA