

Bronisław Drak, Piotr Zientek
Politechnika Śląska, Gliwice

WPLYW PRĄDÓW ŁOŻYSKOWYCH NA USZKODZENIA ŁOŻYSK TOCZNYCH SILNIKÓW INDUKCYJNYCH DUŻEJ MOCY

INFLUENCE OF BEARING CURRENTS ON THE DEFORMATION OF ROLLING BEARINGS OF HIGH POWER INDUCTIVE MOTORS

Abstract: The negative influence of bearing currents on the durability of rolling bearings in the alternating current electric motors are shown. The reasons of bearing current formation in electric motors are given. Examples of bearing races damages of cooperating rolling bearing elements are presented. Analysis of dents distribution in the roller, roll-neck and ball bearing races are made. The method of calculation of angular and circumferential scale between dents in the rolling bearing races rings are presented.

1. Wstęp

Analiza eksploatowanych silników indukcyjnych dużej mocy pracujących w napędach potrzeb własnych elektrowni zawodowych i elektrociepłowni wskazuje, że od wielu lat coraz częściej wymagana jest wymiana łożysk tocznych w tych silnikach. Uszkodzenia łożysk tocznych występują częściej od czasu zastosowania zasilania silników z falowników PWM. Spowodowały one, że zagadnienie prądów łożyskowych w silnikach indukcyjnych jest problemem aktualnym. Należy jednocześnie zaznaczyć, że awarie silników spowodowane uszkodzeniami łożysk tocznych nie występują tak często. Wynika to z faktu, że od szeregu lat rozwinęła się nowoczesna technika diagnostyki łożysk tocznych, dzięki której dokonywana jest wymiana łożysk na nowe, przed ostatecznym zniszczeniem łożyska, które prowadzi do awarii silnika; tak wirnika jak i stojana.

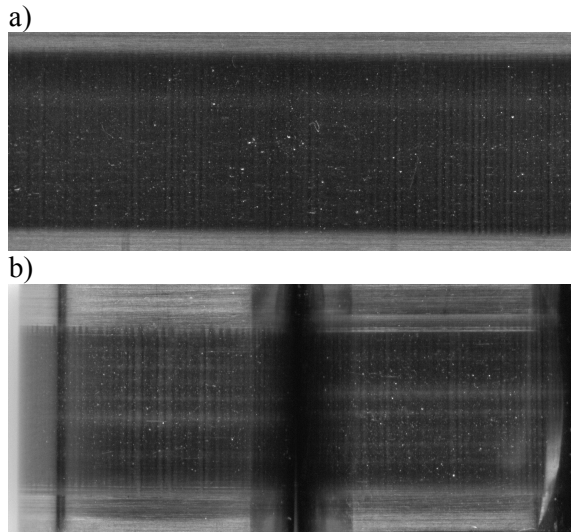
2. Przyczyny powstawania prądów łożyskowych

Przyczyny powstawania prądów łożyskowych są bardzo różne. Zastosowanie falowników PWM do zasilania silników spowodowało generowanie impulsów prądowych wysokiej częstotliwości przewodzonych przez łożyska. Przyczyną ich powstawania jest duża stromość napięciowych du/dt impulsów wyjściowych falownika oraz duża częstotliwość przełączania zaworów. Jeśli energia tych impulsów prądowych jest wystarczająco duża, to wystąpi zjawisko przemieszczenia się cząstek metalu między elementem tocznym łożyska a bieżnią. Zjawisko to znane jest jako elektryczne rozładowanie maszynowe (EDM – Electrical Discharge

Machining). W rezultacie, łożyska mogą wymagać wymiany już po bardzo krótkim okresie pracy. W stosowanych obecnie falownikach PWM funkcję zaworów pełnią przeważnie tranzystory MOSFET, posiadające znacznie krótsze czasy przełączania. W ostatnich latach daje się zauważyć rosnąca liczba uszkodzeń łożysk z powodu elektrycznego rozładowania maszynowego (EDM) występujących w okresie od jednego do sześciu miesięcy po uruchomieniu napędu. Częstotliwość występowania tych uszkodzeń zależy od budowy układu napędowego, oraz użytych technik zabezpieczeniowych. Częściowo można im zapobiec, poprzez zastosowanie odpowiedniego systemu uziemienia oraz symetrycznych kabli ekranowanych do zasilania silników.

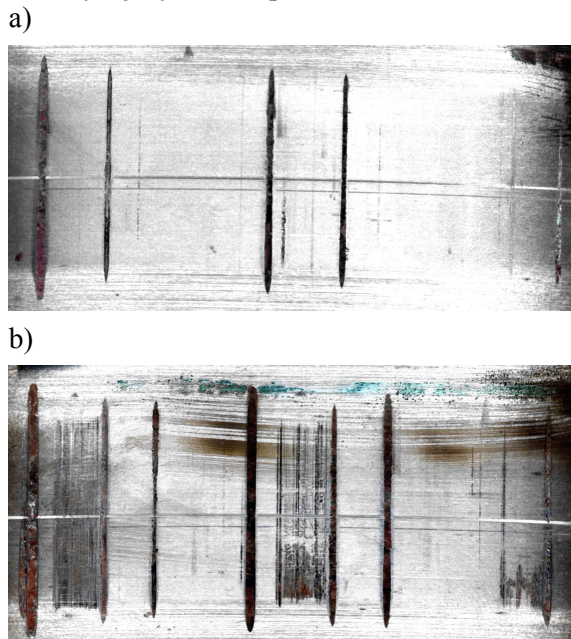
3. Uszkodzenia bieżni łożysk tocznych prądami łożyskowymi

W prawidłowo pracującym łożysku tocznym występuje warstwa oleju (film olejowy) pomiędzy bieżniami pierścieni łożyskowych i elementami tocznymi w czasie pracy łożyska. Napięcie łożyskowe może spowodować przebicie tego filmu i przeskok iskry między pierścieniem i elementami tocznymi, która wywołuje miejscowe wżery na powierzchniach bieżni pierścieni oraz na elementach tocznych. W wyniku tych przebić, powierzchnie bieżni pierścieni i elementów tocznych są pokryte gęstą siatką różnie rozłożonych wżerów elektrycznych (rys. 1).



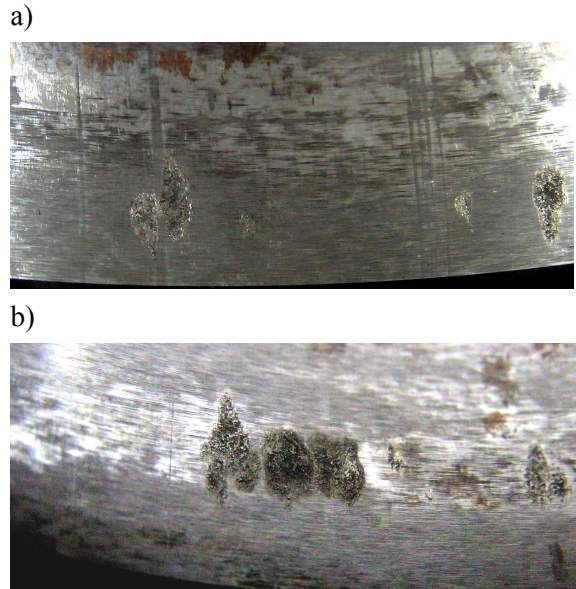
Rys.1. Wżery na powierzchni bieżni pierścienia – a) i powierzchniach wałeczków – b)

W początkowej chwili rozruchu silnika od zerowej prędkości obrotowej występuje styk między bieżniami łożysk i pewną liczbą elementów tocznych. Duże wartości prądów łożyskowych powodują bardzo wyraźnie wżery na bieżniach łożysk. W łożyskach walcowych najczęściej są to wżery wzdłuż linii styku wałeczków z bieżnią pierścienia (rys. 2). Ze zdjęć przedstawionych na rysunku wynika, że wżery te wystąpiły przy dwóch (rys. 2a) oraz trzech rozruchach silnika (rys. 2b), przy różnych początkowych położeniach na obwodzie wałeczków jednocześnie stykających się z pierścieniami.



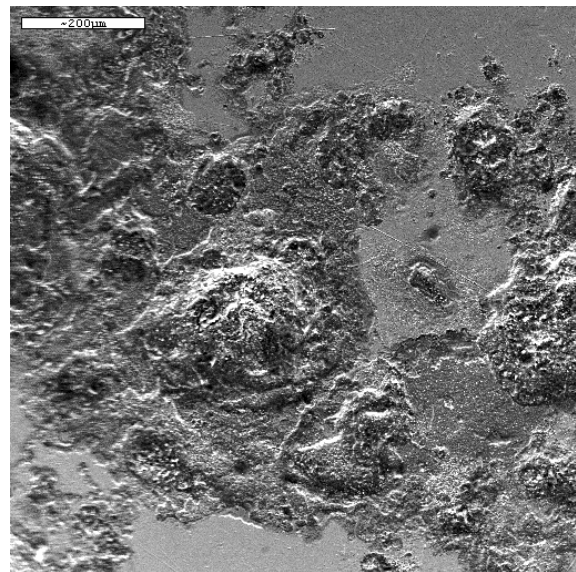
Rys.2. Wżery liniowe na bieżni pierścienia łożyska walcowego

W pierwszych chwilach rozruchu silnika powstają także bardzo nieregularne rozległe wżery na bieżniach pierścieni łożysk, uwidocznione na rysunku 3. Na rysunku 3a widoczne są także początkowe, regularnie rozłożone prążki na powierzchni bieżni pierścienia wewnętrznego.



Rys.3. nieregularne wżery na bieżniach pierścienia wewnętrznego oraz dodatkowo widoczne regularne prążki – a)

Kształt wżerów jest różny, tak na powierzchniach pierścieni łożyska jak i elementach tocznych. Na rysunku 4 uwidoczniono wżer na powierzchni kulki, powiększony na mikroskopie skaningowym.



Rys.4. Powiększenie wżeru na kulce łożyska tocznego

4. Wgniecenia na powierzchniach bieżni pierścieni i elementach toczyńnych łożyska

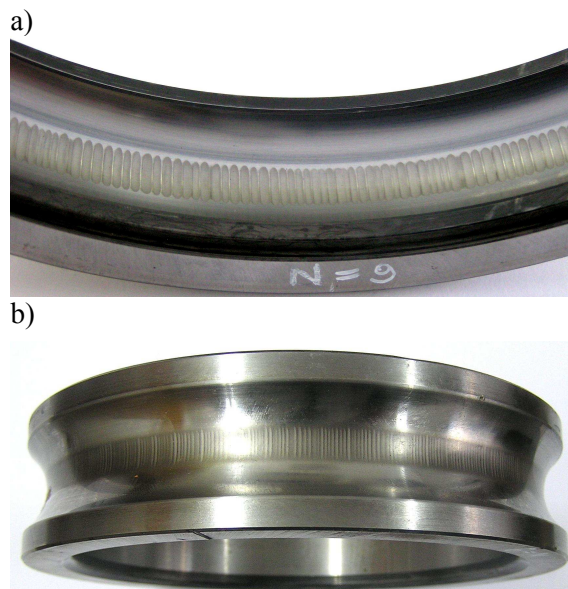
Podczas wymiany łożysk toczyńnych walcowych zauważane są często wgniecenia (prążki) na bieżniach toczyńnych pierścieni – wewnętrznego i zewnętrznego oraz na elementach toczyńnych. Na bieżniach toczyńnych pierścieni łożysk walcowych widoczne są prążki umiejscowione w równych odległościach na obwodzie pierścieni, ułożone równoległe do osi łożyska. Na bieżniach pierścieni wewnętrznych są widoczne prążki na całym obwodzie pierścienia. Różnie są rozmieszczone prążki na bieżni pierścienia zewnętrznego. Jeżeli obciążenie łożyska osadzonego na poziomym wale silnika występuje pionowo w dół, to prążki występują w dolnej części pierścienia. (rys. 5).



Rys.5. Prążki na bieżni pierścienia zewnętrznego łożyska walcowego: a) – brak prążków w górnej części pierścienia, b) – prążki w dolnej części pierścienia

Na bieżniach pierścieni łożysk walcowych, prążki są odcinkami o długości wynikającej z liniowego styku wałeczków z bieżniami pierścieni.

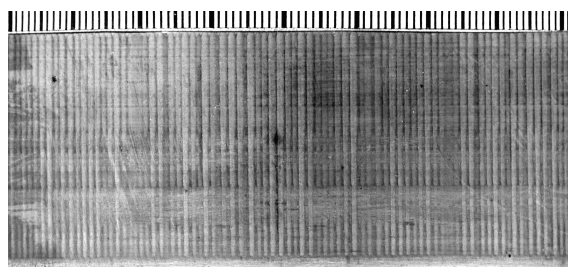
Rozmieszczenie prążków na bieżniach pierścieni łożysk kulkowych jest takie samo jak w łożyskach walcowych. Kształt prążków jest jednak inny, ponieważ wynika on z linii styku powierzchni kulistej kulki z ukształtowanymi toroidalnie powierzchniami bieżni pierścienia wewnętrznego i zewnętrznego. Kształt i rozmieszczenie prążków na bieżniach pierścieni łożyska kulkowego pokazano na rysunku 6.



Rys.6. Prążki na bieżni pierścienia zewnętrznego – a) i w dolnej części pierścienia wewnętrznego – b)

Podobne prążki są zauważane na powierzchniach elementów toczyńnych, a szczególnie na wałeczkach łożysk walcowych (rys. 1). W analizowanych łożyskach toczyńnych nie stwierdzono prążków na powierzchniach kulek łożysk kulkowych, co wynika głównie z kulistego kształtu elementów toczyńnych. Zauważono natomiast wżery punktowe (rys. 4).

Dla zobrazowania rozmieszczenia prążków na bieżni pierścienia wewnętrznego łożyska walcowego (o średnicy 160 mm), przedstawiono na rysunku 7 prążki na tle podziałki milimetrowej



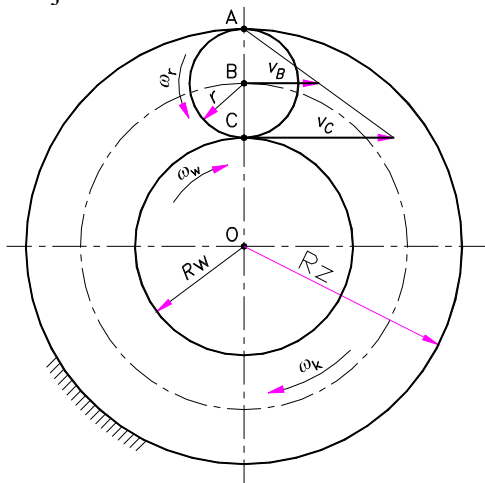
Rys.7. Prążki na pierścieniu wewnętrznym łożyska walcowego na tle podziałki milimetrowej

Wgniecenia (prążki) na bieżniach pierścieni łożysk toczyńnych są wynikiem docisku toczyńnych się po nich elementów toczyńnych. Działanie prądów łożyskowych znacząco przyspiesza ich powstawanie, na skutek zmiany struktury materiału pierścieni pod działaniem prądów łożyskowych.

Dla wyznaczenia podziałki kątowej i obwodowej między prążkami na bieżniach łożyska

przyjmuje się, że nie występują luzy promieniowe w łożysku.

Łożysko toczne jest rodzajem przekładni planetarnej, w której pierścień zewnętrzny jest utwierdzony w gnieździe łożyskowym, a elementy toczne (wałeczki, kulki) o promieniu r toczą się po bieżni pierścienia zewnętrznego o promieniu R_z oraz bieżni pierścienia wewnętrznego o promieniu R_w (rys. 8). Koszyczek łożyska odzwierciedla jarzmo przekładni planetarnej.



Rys.8. Szkic rozkładu prędkości w elementach łożyska tocznego

Chwilowym środkiem obrotu wałeczka (kulki) jest punkt A. Prędkość obwodowa punktu B i C wynosi: $v_B = \omega_r r$ oraz $v_C = 2\omega_r r = \omega_w R_w$. Wobec tego prędkość kątowa wałeczków wynosi $\omega_r = 0,5\omega_w R_w / r$. Prędkość obwodowa środków wałeczków równa jest prędkości punktu B, czyli $\omega_r r = \omega_k (R_w + r)$. Po wstawieniu za ω_r $\omega_w = 2\omega_k (R_w + r) / R_w$. Przełożenie obrotów między pierścieniem wewnętrznym i koszyczkiem $i_w^k = n_w / n_k = 2(R_w + r) / R_w$. Po jednym pełnym obrocie koszyczka wystąpi i_w^k obrotów pierścienia wewnętrznego łożyska (punktu C).

W celu wyznaczenia odległości między prążkami na bieżniach łożyska, należy najpierw wyznaczyć po ilu pełnych obrotach koszyczka n_{ko} nastąpi także pełna liczba obrotów pierścienia wewnętrznego n_{wo} . Łatwo to wykonać wykorzystując w tym celu np. program EXEL.

Przyjmując wstępnie, że rozpatruje się jeden element toczny, to po n_{wo} pełnych obrotach pierścienia wewnętrznego na bieżni tego pierścienia wystąpi n_{ko} prążków, równomiernie rozłożonych na obwodzie o podziałce kątowej $\alpha_1 = 2\pi / n_{ko}$.

Z uwagi na parzystą liczbę elementów tocznych Z , do obliczeń podziałki kątowej między

prążkami bierze się połowę tej liczby. Wobec tego podziałka kątowa między prążkami przy uwzględnieniu wszystkich elementów tocznych $\alpha_Z = \alpha_1 / 0,5Z$. Ostatecznie, odległości obwodowe między prążkami wyznaczają zależności:
— dla pierścienia wewnętrznego $t_w = \alpha_Z \cdot R_z$,
— dla pierścienia zewnętrznego $t_z = \alpha_Z \cdot R_w$.

Przykład obliczeń i pomiarów

Łożysko kulkowe typu FAG_6024_2ZR_C3
 $r = 9$, $R_w = 132$, $R_z = 168$, $Z = 18$.

Obliczenia $t_w = 0,698$, pomiary $t_w = 0,700$

Obliczenia $t_z = 0,962$, pomiary $t_z = 1,001$

5. Podsumowanie

Praktyka wskazuje, że problematyka prądów łożyskowych jest aktualna. Uszkodzeniu ulegają także łożyska silników zasilanych z sieci napięcia sinusoidalnego, gdy pracują w pobliżu przemienników częstotliwości.

Zapoczątkowanie uszkodzeń łożysk tocznych zwykle ma miejsce podczas rozruchów silnika przy dużych wartościach prądów, a jednocześnie maksymalnych wartościach prądów łożyskowych.

Literatura

- [1].Brajinin E. I. i inni: *Isledowanie powrezhenij rolkowych podszipnikow elektriceskich maszin pod dejstwijem elektriceskogo toka*. Elektrotechnika nr 1, 1983, ss. 43-47
- [2].Drak B., Zientek P.: *Badania uszkodzeń łożysk tocznych spowodowane prądami łożyskowymi*. Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe BOBRME, nr 69/2004, Katowice, s. 165-168
- [3].Krzemień Z.: *Wpływ prądów łożyskowych na stan bieżni łożysk silników indukcyjnych zasilanych z falowników PWM*. Prace Naukowe Instytutu Maszyn, Napędów i Pomiarów Elektrycznych Politechniki Wrocławskiej. Studia i Materiały, nr 20, 2000

Autorzy

Dr hab. inż. Bronisław Drak, prof. Pol. Śl.
Katedra Maszyn i Urządzeń Elektrycznych
Politechniki Śląskiej
ul. Akademicka 10a, 44-100 Gliwice
tel: 032-2371447
e-mail: Bronislaw.Drak@polsl.pl

Mgr inż. Piotr Zientek
Katedra Maszyn i Urządzeń Elektrycznych
Politechniki Śląskiej
ul. Akademicka 10a, 44-100 Gliwice
tel: 032-2372652
e-mail: Piotr.Zientek@polsl.pl