

Bronisław Drak
Politechnika Śląska, Gliwice

NIETYPOWE USZKODZENIA SILNIKÓW INDUKCYJNYCH DUŻEJ MOCY

UNUSUAL DAMAGES OF HIGH-POWER INDUCTION MOTORS

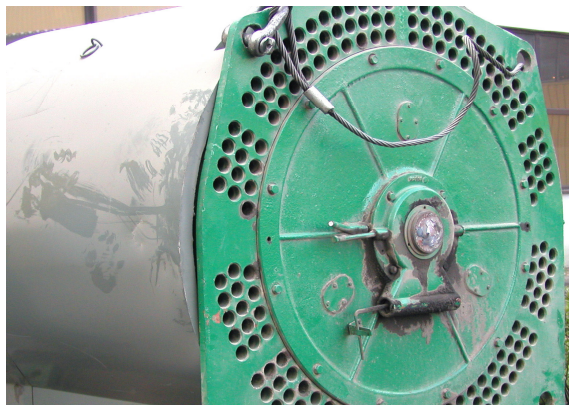
Abstract: The paper includes issues of effects of a typical damages of high-power induction motors used as company own drives of industrial power stations and heat and power stations. Main mechanical damages were discussed. Selected damages were presented both in stator and in rotor that cause failures of motors, including, among other: tearing off the motor rotor shaft, tearing off the fan blades, revolution of stator iron in relation to motor body, failure of bearing centres of motor.

1. Wstęp

W szeregu publikacjach [1 do 7] prezentowane są skutki awarii silników indukcyjnych dużej mocy stosowanych w napędach własnych elektrowni zawodowych i elektrociepłowni, które zostały wywołane zwarciami w uzwojeniach stojana i wirnika. Z analizy przyczyn awarii tych silników, można wymienić szereg nietypowych przyczyn ich awarii, których początkiem są przede wszystkim uszkodzenia o charakterze mechanicznym zmęczeniowym. Niejednokrotnie skutki takich uszkodzeń prowadzą do poważnych awarii ww. silników.

2. Urwania wału wirnika

Urwania wału wirnika występują zarówno w silnikach małej, jak i dużej mocy. Można wymienić dwa miejsca występowania takich uszkodzeń. Pierwsze z nich to urwanie końcówki wału wirnika na zewnątrz silnika. Urwanie to występuje w strefie łuku przejścia końcówki wału na średnicę wału w segmencie uszczelnienia zewnętrznego silnika. Przykład takiego uszkodzenia podano na rysunku 1, a złom zerwanego wału podano na rysunku 2.



Rys. 1. Silnik bez zerwanej końcówki wału

W takim umiejscowieniu zerwania wału wirnika, najczęściej nie ulegnie uszkodzeniu uzwojenie stojana ani wirnika. Usunięcie awarii wirnika wymaga wymiany wału wirnika. Stosowanie (co czasem jest realizowane) połączenia zerwanej lub wykonanej nowej końcówki wału z wałem wirnika poprzez spawanie powoduje najczęściej, po krótkim okresie eksploatacji, ponowne urwanie końcówki wału wirnika w strefie spawania.



Rys. 2. Widok złomu urwanej końcówki wału silnika

Drugim miejscem, w którym występują urwania wału wirnika jest strefa przejścia ze średnicy czopa łożyska po stronie napędowej silnika na większą średnicę od strony rdzenia wirnika. Na rysunku 3 przedstawiono urwany fragment wału wirnika, a widok jego złomu na rysunku 4.



Rys. 3. Fragment urwanego wału silnika



Rys. 4. Widok złomu urwanego wału silnika

Podobnie umiejscowienie zerwanego wału wirnika uwidoczniło na rysunku 5.



Rys. 5. Miejsce urwania wału silnika dwuklatkowego

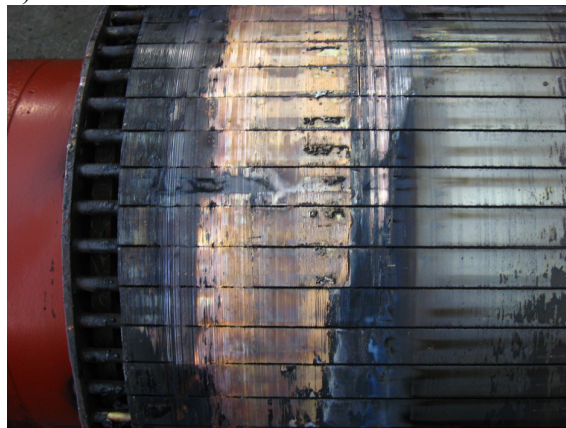
Urwanie wału wirnika wewnątrz silnika powoduje poważną jego awarię. Po zerwaniu wału, silnik jest nadal zasilany z sieci, a wyłączenie silnika następuje przez obsługę techniczną lub przez zabezpieczenia prądowe silnika, które następują po zwarcia w uzwojeniu stojana. Obracający się wirnik jest podparty tylko na jednym łożysku po stronie przeciwnapędowej. Oprócz obrotów wynikających z zasilania wir-

nik wykonuje dodatkowe ruchy oscylacyjne w rodzaju bąka. Rdzeń wirnika ocierając o rdzeń stojana powoduje wzajemne wycieranie blach rdzeni, a ciepło wydzielające się przy tarcia niszczy izolację uzwojenia stojana i następują zwarcia w jego uzwojeniu, a prądy zwarcie ostatecznie wyłączają zasilanie silnika. Widok uszkodzeń stojana i wirnika uwidoczniło na rysunku 6. Taka awaria prowadzi często do konieczności złomowania silnika. W najlepszym przypadku zachodzi konieczność przepakietowania rdzeni i wykonania nowego uzwojenia stojana oraz uzwojenia klatkowego wirnika.

a)



b)



Rys. 6. Skutki urwania wału wirnika (rys. 5: a) - uszkodzenie stojana, b) - uszkodzenie wirnika

Oględziny złomów urwanych wałów jednoznacznie wskazują, że urwania wystąpiły w wyniku naprężeń zmęczeniowych. Zerwania końcówki wału na zewnątrz silnika jest często spowodowane niewspółosiowym połączeniem wału silnika z wałem urządzenia napędzanego. Oględziny złomów wskazują, że proces zmęczeniowego zrywania wałów jest długotrwały, na co wskazują częściowo pokryte rdzą złomy zerwanych wałów.

3. Uszkodzenie wentylatora

Uszkodzenie wentylatora jest jedną z przyczyn awarii silnika. Uszkodzenie jest długotrwałe i ma charakter zmęczeniowy. Uszkodzeniu ulegają najczęściej wieńce wentylatora lub łopatki. Na rysunku 7 uwidoczniło częściowo uszkodzony wentylator silnika pionowego o niskiej prędkości obrotowej, ale dużej średnicy wirnika. Zerwane łopatki wentylatora, pod działaniem sił odśrodkowych, uszkadzają izolację czoła uzwojenia stojana, wywołując miejscowe zwarcia w części czołowej uzwojenia (rys. 8), przez co zachodzi konieczność przewojenia stojana.



Rys. 7. Widok uszkodzonego wentylatora



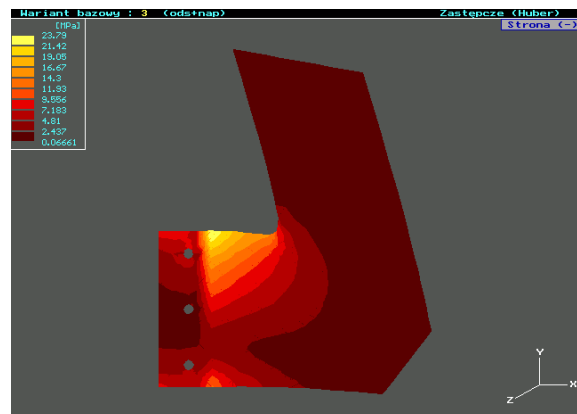
Rys. 8. Skutki uszkodzenia uzwojenia stojana przez zerwane łopatki wentylatora

Wszystkie uszkodzone łopatki wentylatora (przymocowane do płyty prasującej rdzeń wirnika) miały tak samo umiejscowione pęknięcia uwidocznione na rysunku 9.



Rys. 9. Miejsce pęknięcia łopatek wentylatora

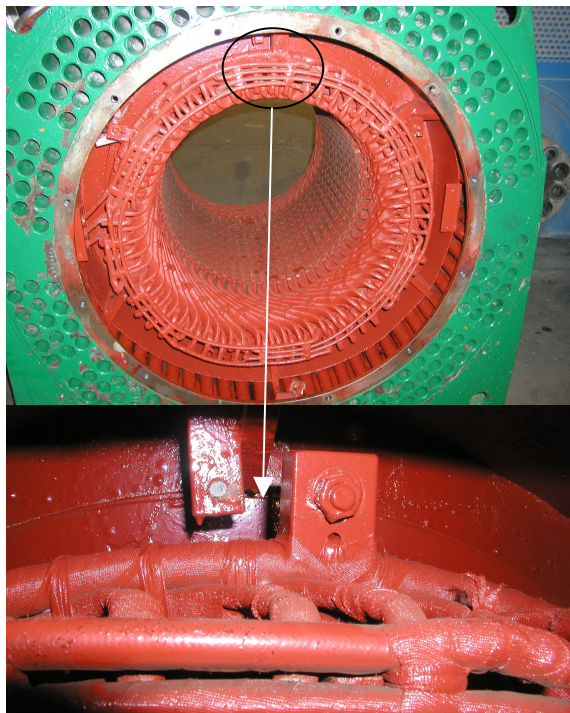
Przeprowadzone obliczenia w programie opartym na MES wykazały, że w strefie pęknięcia łopatek występują największe naprężenia wywołane łącznie przez siły odśrodkowe, siły oporu powietrza oraz siły od przyspieszeń kątowych. Mapę rozkładu naprężeń zastępczych podano na rysunku 10.



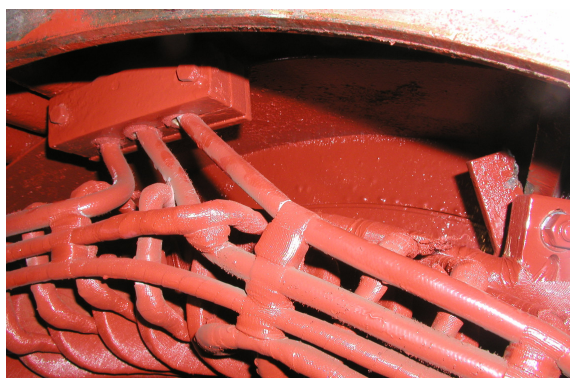
Rys. 10. Mapa naprężeń zastępczych w łopacie wentylatora

4. Obrót rdzenia stojana

W czasie długoletnich oględzin i analizy przyczyn awarii silników indukcyjnych dużej mocy, jedynie w trzech silnikach stwierdzono, że przyczyną ich awarii był obrót rdzenia stojana względem korpusu silnika. W wyniku takiego obrotu następuje zerwanie śrub mocujących pierścienie usztywniające czoła uzwojenia stojana (rys. 11) oraz naciągnięcie (rys. 12) lub zerwanie przewodów zasilających uzwojenie stojana.



Rys. 11. Skutki obrotu rdzenia stojana



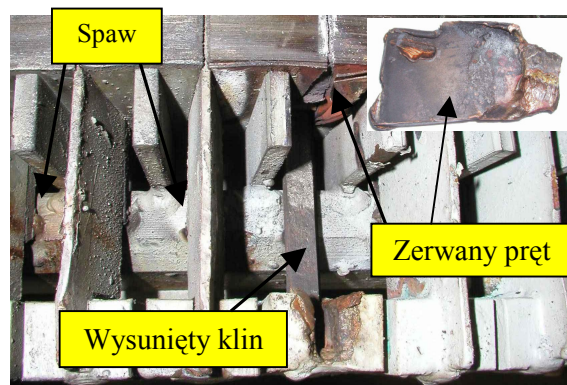
Rys. 12. Naciągnięte przewody zasilające uzwojenie stojana

5. Zerwanie prętów klatki wirnika

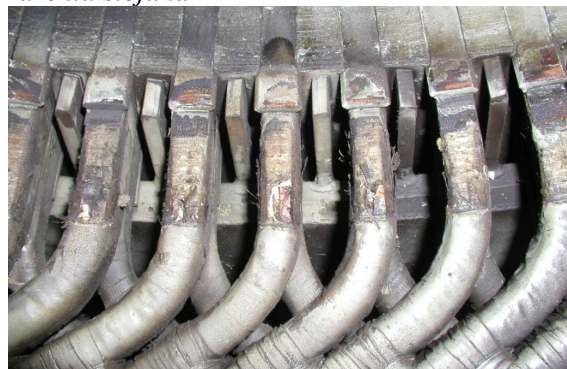
W wirnikach jednoklatkowych z prętami o przekroju trapezu stosuje się kliny stalowe dla usztywnienia prętów w żłobkach rdzenia wirnika. Kliny te wbijają się między prętem i dnem żłobka, a następnie spawają się punktowo (rys. 13.) do płyty prasującej rdzeń wirnika.

Na pręt trapezowy uzwojenia klatkowego wirnika działają: siły elektrodynamiczne o składowej stałej skierowanej do dna żłobka, siły odśrodkowe od prędkości obrotowej wirnika oraz nierównomierne pole termiczne na wysokości i długości pręta. Czynniki te sprawiają, że po długotrwałej eksploatacji silnika może wystąpić pęknięcie ww. punktowego spawu i stopniowe wysunięcie klina do pierścienia zwierającego. To powoduje dodatkowy nacisk końca klina na

pręt w strefie pierścienia zwierającego w wyniku działania sił odśrodkowych, a w konsekwencji stopniowe uszkodzenie lutu łączącego pręt z pierścieniem zwierającym. W końcowym etapie może wystąpić zmęczeniowe zrywanie i odginanie pręta klatki. Wirujący jego fragment powoduje uszkodzenia izolacji czoł uzwojenia stojana (rys. 14) prowadzące do zwarć zwojowych i awarii uzwojenia stojana.



Rys. 13. Uszkodzenia po wyjściu pręta ze żłobka rdzenia stojana

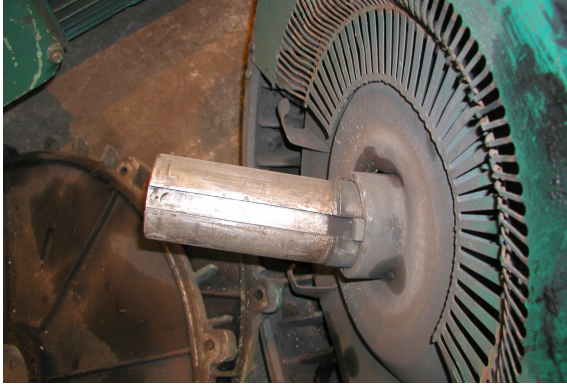


Rys. 14. Zniszczona izolacja prostoliniowych wysięgów czoł uzwojenia stojana

6. Skutki uszkodzenia sprzęgła

Do nietypowych przyczyn awarii silnika indukcyjnego można zaliczyć uszkodzenie w połączeniu sprzęgłem silnika z maszyną napędzaną. W wyniku tego, uszkodzeniu ulega maszyna napędzana oraz silnik napędowy. Może wystąpić zgięcie końcówki wału silnika oraz zsuniecie tarczy połówki sprzęgła (rys. 14).

Siły dynamiczne powstałe w przy deformacji końcówki wału mogą spowodować zniszczenie odlewu korpusu silnika oraz zniszczenie uzwojenia stojana (rys. 15).



Rys. 12. Zgięta końcówka wału bez tarczy sprzęgła



Rys. 15. Zniszczony korpus silnika i uzwojenie stojana

7. Uszkodzenie węzła łożyskowego

Uszkodzenie węzła łożyskowego może być spowodowane: uszkodzeniem łożyska (w tym prądami łożyskowymi), brakiem smarowania łożyska, a także nieprawidłowym połączeniem silnika z urządzeniem napędzanym. Pierwszym objawem uszkodzenia łożyska jest zmiana koloru bieżni łożyskowych i elementów toczyń łożyska, a także występowanie mikroskopijnych wżerów spowodowanych prądami łożyskowymi. Powoduje to zwiększone wartości amplitudy drgań węzła łożyskowego. Zwiększona temperatura węzła łożyskowego wskazuje na zmniejszenie smarowania łożyska. W wyniku tego może wystąpić wytarcie powierzchni wewnętrznej gniazda łożyskowego lub wytarcie czopa wału, na którym jest osadzony pierścień wewnętrzny łożyska. W przypadku braku smarowania łożyska proces niszczenia węzła łożyskowego przebiega bardzo szybko.

Wytarcie gniazda łożyskowego lub czopa łożyskowego na wale wirnika, dość często są usuwane przez ich regenerację. Należy zwrócić uwagę na regenerację czopa łożyskowego po-

przez napawanie i obróbkę wiórową. Mogą bowiem występować ukryte mikropęknięcia w czopie w strefie łuku przejścia wału na większą jego średnicę, co może w krótkim czasie skutkować urwaniem wału w tej strefie.

Na rysunku 16 zaprezentowano szczególne zniszczenie czopa wału i pierścienia wewnętrznego łożyska.



Rys. 16. Zniszczony: a) - czop łożyskowy, b - pierścień wewnętrzny łożyska

Luz promieniowy w zniszczonym łożysku był większy od szczeliny powietrznej między wirnikiem i stojanem, a przez to nastąpiło wytarcie blach rdzenia stojana i wirnika, a także wypalenie klinów żłobkowych w stojanie (rys. 17). Zniszczenia były tak obszerne z powodu tego, że wyłączenie zasilania silnika nastąpiło dopiero przez zabezpieczenia prądowe silnika.



Rys. 17. Zniszczony rdzeń i uzwojenie stojana

8. Zwarcie w nieczynnej skrzynce zasilającej silnika

Uszkodzenia lub zwarcia w skrzynce zasilającej uzwojenie stojana występują dość często. Rzadko jednak występuje awaria silnika, posiadającego dwie skrzynki zasilające, gdy jej przyczyną są zwarcia w nieczynnej skrzynce zasilającej. Na rysunku 18 uwidoczono odsłoniętą nieczynną skrzynkę zasilającą. W skrzynce tej końce przewodów, które mogą zasilac uzwojenie stojana są zaizolowane taśmą izolacyjną. Przyczyną zwarcia przewodów do korpusu silnika było przeprowadzenie tych przewodów poprzez przepusty stalowe (redukcje hydrauliczne) przyspawane do korpusu silnika.



Rys. 18. Widok miejsca zwarcia w nieczynnej skrzynce zasilającej

W czasie eksploatacji silnika występowało stopniowe przecieranie gumowej izolacji przewodów zasilających o ostre krawędzie gwintu w przepuście, przyspieszone drganiami silnika. W końcowym etapie wystąpiło zwarcie między przewodem zasilającym jednej fazy do korpusu silnika powodujące wyłączenie zasilania silnika przez zabezpieczenia ziemnozwarciowe.

9. Podsumowanie

1. Przedstawione uszkodzenia silników indukcyjnych dużej mocy zostały zaliczone do nietypowych, ponieważ występują dość rzadko, w przeciwieństwie do uszkodzeń występujących w uzwojeniach stojana, które są najczęściej spowodowane uszkodzeniem izolacji uzwojenia stojana.
2. Uszkodzenia nietypowe mają najczęściej początek w uszkodzeniach elementów mechanicznych silnika. Ujawniają się nagle po dłuższym okresie eksploatacji silnika. Mają charakter uszkodzeń zmęczeniowych, których początkiem były mikroskopijne pęknięcia niemożliwe naj-

częściej do wykrycia w czasie typowych przeglądów silników.

3. Skutki takich uszkodzeń mogą być bardzo poważne, prowadzące często do konieczności złomowania silnika.

4. Służby techniczne powinny zwracać szczególną uwagę na wszelkie możliwe uszkodzenia typu mechanicznego z uwagi na to, że skutki uwidaczniają się po długim okresie eksploatacji i dlatego ubezpieczyciele nie są skłonni do zwrotu kosztów naprawy tak uszkodzonych silników.

Literatura

- [1]. Drak B.: *Analiza awarii silników indukcyjnych dużej mocy*. Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne BOBRME KOMEL Nr 54, Katowice 1997, ss.82-87.
- [2]. Drak B.: *Zagadnienia elektromechaniczne cół uzwojeń stojanów maszyn indukcyjnych dużej mocy prądu przemiennego*, Zeszyty Naukowe Pol. Śl., Zesz. 1401, Gliwice 1998, ss. 189.
- [3]. Drak B., Rut R.: *Naprężenia termiczne w klatkach silników indukcyjnych dużej mocy*. Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne BOBRME KOMEL Nr 58, Katowice 1999, ss.123-130.
- [4]. Drak B.: *Wpływ uszkodzeń wirników klatkowych na skutki awarii silników indukcyjnych dużej mocy*. Materiały XII Konferencji Remontowej Energetyki, Szczyrk, 3-5 października 2001, ss.229-240.
- [5]. Drak B.: *Statystyka uszkodzeń silników wysokonapięciowych prądu przemiennego w elektrowniach zawodowych*. Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne BOBRME KOMEL, Nr 65, Katowice maj 2003, ss.41-46.
- [6]. Drak B.: *Uszkodzenia uzwojeń klatkowych wirników silników indukcyjnych dużej mocy*. Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej "Elektryka" z.188, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2004, ss.103-110.
- [7]. Drak B.: *Typowe uszkodzenia silników indukcyjnych dużej mocy*. Zeszyty Problemowe - Maszyny Elektryczne BOBRME KOMEL Nr 89, Katowice 2011, ss.7-14.

Autor

Dr hab. inż. Bronisław Drak, prof. Pol. Śl.,
Zakład Maszyn Elektrycznych
i Inżynierii Elektrycznej w Transporcie
Instytutu Elektrotechniki i Informatyki
Politechniki Śląskiej
ul. Akademicka 10a, 44-100 Gliwice
tel/fax: 32-2371447

E-mail: bronislaw.drak@polsl.pl

Artykuł opracowano w ramach projektu Narodowego Centrum Nauki nr 6025/B/T02/2011/40