

Wojciech Poprawski, Tomasz Wolnik
Instytut Napędów i Maszyn Elektrycznych KOMEL, Katowice

INNOWACYJNA KONSTRUKCJA WIRNIKA W SILNIKU INDUKCYJNYM DWUKŁATKOWYM PRZEZNACZONYM DO PRACY Z CZĘSTYMI ROZRUCHAMI

INNOVATIVE DESIGN OF DOUBLE SQUIRREL CAGE INDUCTION MOTOR FOR HIGH START FREQUENCY OPERATION

Streszczenie: W artykule przedstawiono przypadek uszkodzenia klatki wirnika silnika indukcyjnego wysokiego napięcia. Silnik pracuje w napędzie o dużej częstotliwości wykonywanych rozruchów. Przeprowadzono analizę pracy i przyczyn uszkodzenia klatki, jak również zaprezentowano nowy rozwiązanie konstrukcyjne wirnika pozwalające wydłużyć bezawaryjny czas pracy maszyny.

Abstract: In the paper the case of the squirrel cage failure in high voltage induction motor is described. This motor is operating in the drive characterised by high start frequency. The analysis of drive operation and reasons of failure carried out. The changes in rotor construction has been proposed to increase the motor service life.

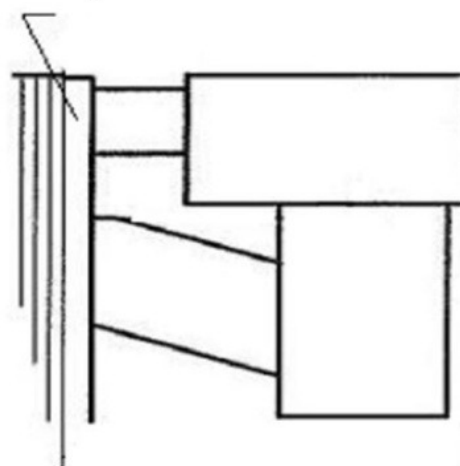
Słowa kluczowe: uszkodzenia klatki, silniki o dużej częstotliwości rozruchów, silniki wysokiego napięcia
Key words: damage of squirrel cage, motors with high starting frequency, high voltage motors

1. Wstęp

Rozruch silników klatkowych odbywa się zwykle przez bezpośrednie załączenie na pełne napięcie sieci. W przypadku napędów wymagających częstych rozruchów oznacza to znaczne narażenia uzwojeń silnika na termiczne i dynamiczne oddziaływanie prądu rozruchowego o dużej wartości. Narażenia termiczne są szczególnie duże w silnikach z wirnikiem dwuklatkowym ze względu na stosunkowo niewielką pojemność cieplną prętów klatki rozruchowej. Silniki takie są przy tym zwykle stosowane w napędach wymagających wysokiego momentu rozruchowego, co przekłada się wprost na wyższe straty w klatce przy rozruchu. W takich napędach powinno się stosować silniki specjalnie przystosowane do trudnych warunków pracy – dotyczy to zwłaszcza konstrukcji klatki rozruchowej wirnika.

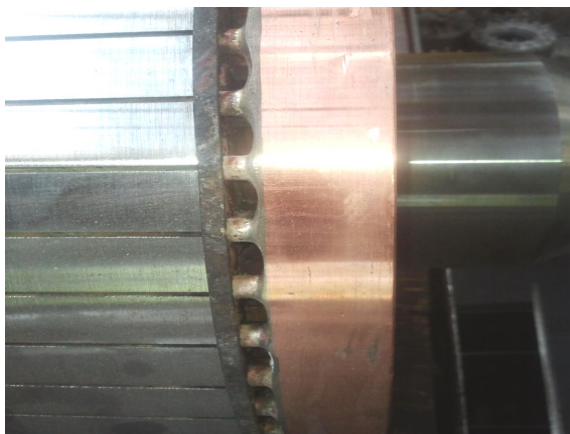
Zagadnienie to omówiono na przykładzie awarii dwuklatkowego silnika wysokiego napięcia o mocy kilkuset kilowatów, który pracował w napędzie wymagającym przeprowadzania ok. 20-30 rozruchów na godzinę. Czas rozruchu silnika wynosił ok. 1-2 s. Konstrukcję części czołowej klatki wirnika pokazano schematycznie na rysunku 1 oraz na fotografii (rys.2).

Blacha skrajna



Rys. 1. Połączenie prętów z pierścieniami

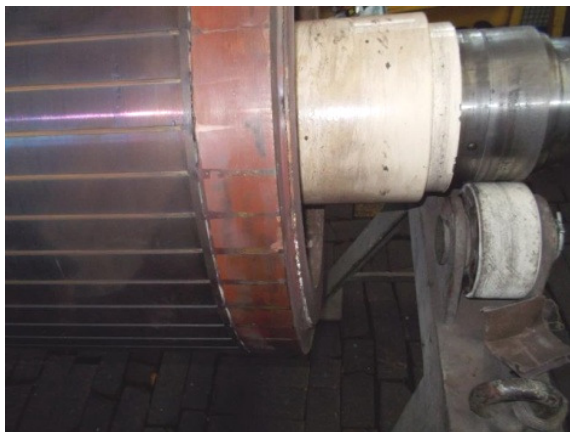
Pręty (okrągłe) klatki rozruchowej wykonane są z mosiądzu, prostokątne pręty klatki pracy i oba pierścienie zwierające z miedzi. (rys.1).



Rys. 2. Wirnik fabrycznie nowy

2. Uszkodzenia wirnika

Podczas przeglądu silnika po 1 roku pracy stwierdzono zaskakujące zjawisko – oba pierścienie zwierające klatki rozruchowej zostały dosunięte do pakietu! (Rys.3).



Rys. 3. Wirnik po 1 roku pracy - widoczne przesunięcie pierścienia klatki rozruchowej do pakietu



Rys. 4. Uszkodzona klatka rozruchowa

Jednocześnie nastąpiło niewielkie odkształcenie pierścieni zwierających klatki rozruchowej. Ponieważ nie stwierdzono innych uszkodzeń, po przetoczeniu zewnętrznej powierzchni pierścieni zwierających silnik oddano do eksploatacji. Po kilku miesiącach nastąpiła awaria silnika – zniszczeniu uległa klatka rozruchowa (rys.4). Część prętów klatki rozruchowej została uszkodzona poprzez ich wytopienie w okolicy blach skrajnych pakietu wirnika (rys.5).



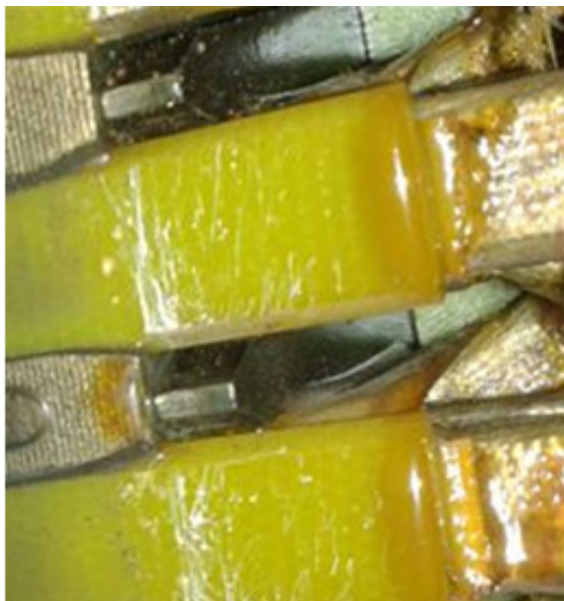
Rys. 5. Uszkodzona klatka wirnika, widok po obcięciu pierścienia zwierającego klatki rozruchowej – widoczne wytopienie pręta klatki rozruchowej

Przerwanie prętów spowodowało zamykanie się prądu przez blachy pakietu, iskrzenie i wypalenie otwarcia żłobka, a następnie odgięcie prętów pod wpływem siły odśrodkowej do szczeliny i zatarcie o pakiet stojana.

3. Analiza przyczyn uszkodzeń wirnika

W uszkodzonym wirniku początkowym zjawiskiem było dosunięcie pierścieni zwierających klatki rozruchowej do pakietu (rys.3). Możliwe to jest tylko wtedy, gdyby wystąpiły ubytki materiału prętów klatki rozruchowej pod wpływem wysokiej temperatury przy rozruchu.

Ze względu na skalę zniszczenia silnika trudno było ocenić ewentualne ślady na uzwojeniu stojana. Dlatego poddano szczegółowym oględzinom uzwojenie stojana nowego silnika innego typu, ale o identycznej konstrukcji klatki wirnika po próbie nagrzewania przy pracy S4-60% 40 c/h. Na klinach żłobkowych i cewkach uzwojenia stojana można było zauważyć ślady drobnych kropeł mosiądzu (rys.6). Świadczy to o tym, że już po kilkunastu godzinach pracy z dużą ilością rozruchów zaczyna się proces degradacji prętów klatki rozruchowej.



Rys. 6. Ślady mosiądzu na uzwojeniu stojana

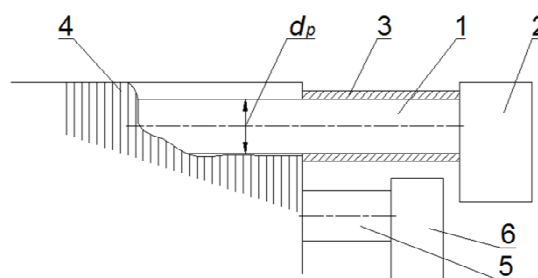
W uszkodzonym silniku obliczony przyrost temperatury prętów klatki rozruchowej dla czasu rozruchu ok. 2 s wynosi 75 K. Obliczenia wykonano dla pręta w żłobku przy założeniu współczynnika wymiany ciepła do żelaza $\alpha=500 \text{ W/m}^2\text{K}$. Pręty poza pakietem nagrzewają się do wyższej temperatury niż w żłobku ze względu na mniejszy o rząd współczynnik wymiany ciepła [1]. Jednak nawet biorąc pod uwagę dużą liczbę rozruchów (ok. 30 c/h) pręty klatki rozruchowej nie powinny przy normalnej pracy nagrząć się pod wpływem prądu rozruchowego tak, aby wystąpiło wyrzucanie kropel mosiądzu na stojan.

4. Klatka rozruchowa

W prętach klatki rozruchowej silnika indukcyjnego dwuklatkowego wydziela się w czasie rozruchu duża ilość ciepła. Występuje przy tym znaczna różnica w osiowym rozkładzie temperatury prętów ze względu na różne sposoby wymiany ciepła w części żłobkowej i pozapakietowej pręta. Ograniczenie luzu żłobkowego dla poprawy oddawania ciepła do pakietu nie zmienia faktu, że temperatura pozapakietowej części prętów pozostaje nadal wysoka [1]. Zmniejszanie odległości pierścieni zwierających od pakietu jest natomiast niekorzystne ze względu na wzrost naprężenia zginającego w prętach od rozszerzalności cieplnej pierścieni.

Na rysunku 7 przedstawiono propozycję innowacyjnego rozwiązania konstrukcyjnego klatki rozruchowej, które pozwala na ograniczenie

temperatury pozapakietowej części prętów. Klatka rozruchowa według tego rozwiązania charakteryzuje się tym, że na końcówki wszystkich prętów 1, wystających poza pakiet, są nałożone tulejki 3 z materiału takiego samego jak pręty – rys.7. Średnica wewnętrzna d_r tulejek 3 jest równa średnicy d_p prętów z tolerancją ujemną $d_r = (d_p - \Delta)$, a długość tulejek 3 jest równa lub mniejsza od odległości pierścienia 2 zwierającego od pakietu 4 blach wirnika. Tulejki 3 przylegające do pierścieni zwierających 2 korzystnie jest połączyć trwale z pierścieniami zwierającymi lutem twardym, spawem bądź zgrzewem.



Rys. 7. Innowacyjne rozwiązanie konstrukcyjne klatki rozruchowej: 1 – pręt rozruchowy, 2 – pierścień rozruchowy, 3 – tulejka, 4 – pakiet, 5 – pręt pracy, 6 – pierścień pracy, d_p – średnica pręta rozruchowego

Sposób wykonania klatki rozruchowej polega na tym, że po włożeniu prętów 1 do żłobków, tulejki 3 nagrzewa się do temperatury przy której średnica wewnętrzna tulejki jest większa od średnicy pręta d_p , po czym gorące tulejki 3 nakłada się na końcówki prętów 1, następnie na końcówki prętów 1 zakłada się pierścień 2 zwierające i łączy się je z prętami lutem twardym bądź zgrzewa lub spawa. Tulejki 3 nałożone na końcówki prętów 1 zwiększają przekrój i pojemność cieplną pozapakietowej części prętów 1, tym samym w końcówkach prętów 1 gęstość prądu jest mniejsza i obniża się ich temperatura. Klatka rozruchowa wykonana z prętów 1 z nałożonymi tulejkami 3 będzie charakteryzować się większą trwałością rozruchową. Rozwiązanie to jest przedmiotem zgłoszenia patentowego [2].

5. Zakończenie

Nadmierne nagrzewanie pozapakietowej części prętów klatki rozruchowej w czasie rozruchu może prowadzić do awarii silnika. Nałożenie tulejek na końcówki prętów rozruchowych znacznie obniży temperaturę połączenia prętów

rozruchowych z pierścieniami i tym samym zwiększy odporności klatki rozruchowej wirnika na narażenia cieplne wynikające z dużej częstości rozruchów silnika.

6. Literatura

[1]. Mróz J.: *Wymiana ciepła w uzwojeniu dwuklatkowym silnika indukcyjnego w czasie rozruchu*. Maszyny Elektryczne - Zeszyty Problemowe, KOMEL nr 58/1999, s. 88-90.

[2]. Bernatt J., Będkowski B., Poprawski W.: *Klatka rozruchowa w wirniku silnika indukcyjnego dwuklatkowego i sposób jej wykonania*. Zgłoszenie patentowe nr P.415875, UPRP 2016.