

Paweł Zalas, Piotr Kisielewski
Politechnika Wroclawska, Wroclaw

ZASTOSOWANIE MAGNESÓW TRWAŁYCH W SILNIKACH ELEKTRYCZNYCH MAŁEJ MOCY

APPLICATION OF PERMANENT MAGNETS IN SMALL POWER ELECTRIC MOTORS

Abstract: The work presents basic problems as well as indispensable changes in technology of the production of individual units of motors, modification of tools as well as attachments used to production and accuracy check of realization of individual parts and details as well as changes order and course technological processes in process of production of low-power line start permanent magnet synchronous motors in relation to typical similar power induction motors. The article presents experiences captured during production of the prototype motor with squirrel-cage and permanent magnets (LSPMSM), designed to line starting of fans and pumps.

1. Wstęp

Proces produkcji silników elektrycznych małej mocy dzieli się na procesy wytwarzania i obróbki poszczególnych części, składających się w efekcie końcowym na „silnik gotowy”. Poszczególne procesy technologiczne, podczas produkcji danej partii silników, przebiegają zazwyczaj równolegle, łącząc się w odpowiednio dopasowanych etapach, zgodnie z opracowanym planem organizacji produkcji.

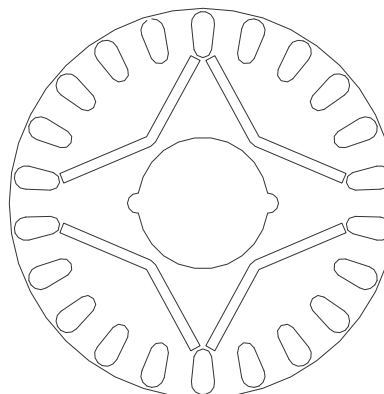
Rozwijane obecnie nowoczesne konstrukcje silników elektrycznych wzbudzanych magnesami trwałymi (LSPMSM) z klatką rozruchową, przeznaczonych do rozruchu bezpośredniego, stanowią bardzo ciekawą alternatywę dla stosowanych powszechnie klasycznych silników indukcyjnych [3, 4, 5]. Maszyna indukcyjna synchronizowana to konstrukcja, która łączy w sobie zalety silnika synchronicznego wzbudzanego magnesami trwałymi (wysoką sprawność oraz współczynnik mocy) oraz prostotę konstrukcji i obsługi silnika indukcyjnego [1, 6]. Maszyny takie najczęściej wykonuje się poprzez modyfikacje maszyny indukcyjnej. Wymaga to jednak odpowiednich zmian w technologii wytwarzania poszczególnych elementów silnika, modyfikacji narzędzi oraz przyrządów wykorzystywanych do produkcji i kontroli poprawności wykonania poszczególnych części-detali oraz zmian kolejności i przebiegu odpowiednich procesów technologicznych.

W artykule opisano podstawowe problemy oraz niezbędne zmiany w procesie produkcji silnika LSPMSM małej mocy w stosunku do klasycznego silnika indukcyjnego. Wykorzy-

stano doświadczenia zdobyte podczas wykonania prototypu silnika wzbudzanego magnesami trwałymi z klatką rozruchową, przeznaczonego do rozruchu bezpośredniego wentylatorów i pomp.

2. Konstrukcja wirnika silnika LSPMSM

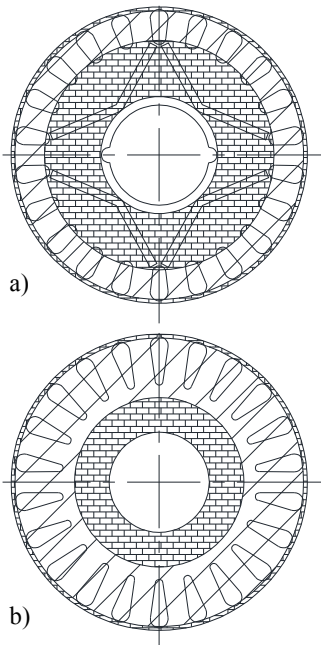
W opracowanej konstrukcji wirnika silnika LSPMSM małej mocy blacha wirnika posiada 22 żłobki klatki rozruchowej rozmieszczone równomiernie na obwodzie oraz 4 podwójne żłobki przeznaczone na magnesy trwałe. Kształt blachy pakietu wirnika silnika prototypowego pokazano na rysunku 1. Żłobki przeznaczone na osadzanie magnesów są rozmieszczone niesymetrycznie, ale powtarzalnie co 180 stopni (rys. 1).



Rys. 1. Blacha wirnika silnika LSPMSM

W procesie pakietowania wirnika typowego silnika indukcyjnego małej mocy (w.m.80) wstępne pozycjonowanie blach ma na celu ustalenie odpowiedniego skosu żłobków.

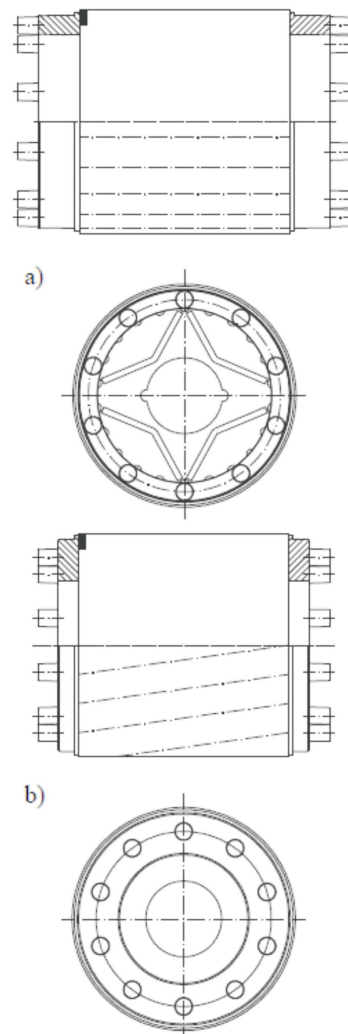
W przypadku opracowanego silnika wzbudzanego magnesami trwałymi wstępne pozycjonowanie blach wirnika będzie mieć na celu ustalenie prostoliniowości zębów wirnika oraz przestrzeni przeznaczonych w dalszym etapie produkcji na zamontowanie magnesów trwałych. Wymaga to odpowiedniej modyfikacji narzędzi przeznaczonych do pakietowania. W celu zwiększenia pewności poprawnego przebiegu tego procesu w opracowanej konstrukcji blachy wirnika przewidziano dodatkowe marki (półkoliste wycięcia w blachach od strony wału), rozmieszczone symetrycznie na wewnętrznej średnicy blachy (rys. 1). W procesie pakietowania i osadzania blach na technologiczny trzpień rozprężny również jego kształt musi zostać zmodyfikowany i dopasowany do kształtu marek blachy.



Rys. 2. Powierzchnia uszczelniająca i formująca pierścień: silnik prototypowy (a), typowy silnik indukcyjny (b)

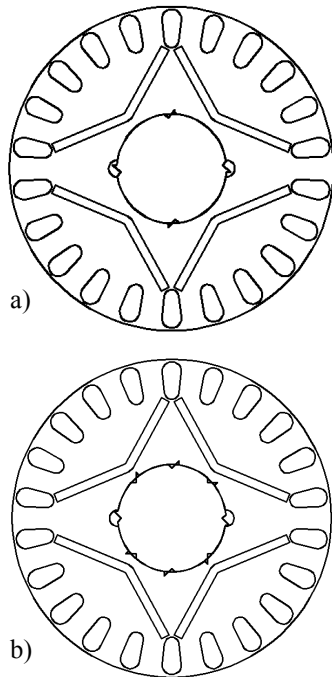
Odlewanie klatki wirnika opracowanego silnika LSPMSM oraz pierścieni zwierających pręty klatki i nadlewek wykorzystywanych w procesie wyważania „wirnika gotowego” wykonane będzie metodą ciśnieniową. Ze względu na wysoką temperaturę panującą w tym procesie odlewanie musi się odbywać przed włożeniem magnesów do wirnika. W innym przypadku doszłoby do odmagnesowania magnesów trwałych pod wpływem wysokiej temperatury. W celu ustalenia odpowiednich wymiarów pierścienia zwierającego pręty klatki wirnika w procesie produkcji typowego silnika indukcyjnego sto-

sowane są pierścienie formująco-uszczelniające. Ich dodatkowym przeznaczeniem jest uszczelnienie formy zapobiegające wlaniu się ciekłego aluminium do przestrzeni przeznaczonej na wał silnika. W przypadku opracowanego silnika wzbudzanego magnesami trwałymi dodatkowym zadaniem wkładek formujących pierścień zwierający klatkę rozruchową jest uniemożliwienie przedostania się aluminium do przestrzeni przeznaczonych na magnesy trwałe. Wymaga to odpowiedniej modyfikacji obu wkładek, zwięźnienia pierścienia zwierającego klatkę oraz zmiany rozstawu dysz doprowadzających ciekłe aluminium. Na rysunku 2 pokazano obszar uszczelniany przez wkładki formujące (kreskowanie kratkowe) oraz obszar przeznaczony na pierścień zwierający klatkę (kreskowanie ukośne) w typowym silniku indukcyjnym oraz silniku prototypowym.



Rys. 3. Pakiet blach wirnika po operacji odlewania: silnik prototypowy (a), typowy silnik indukcyjny (b)

W celu utrzymania odpowiednich parametrów pierścienia zawierającego pręty klatki rozruchowej [2] silnika LSPMSM opracowano odpowiedni kształt z uwzględnieniem minimalnych skosów odlewniczych i nadlewek. Widok pakietu blach wirnika opracowanego silnika oraz typowego silnika indukcyjnego zbliżonej mocy po operacji odlewania pokazano na rysunku 3.

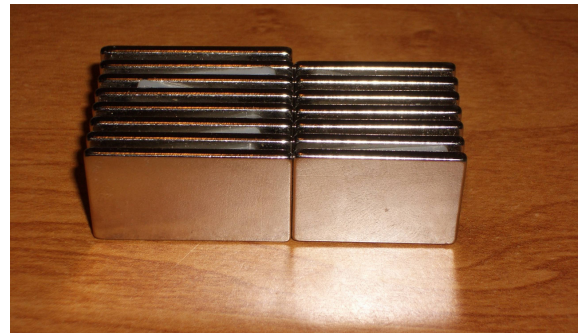


Rys. 4. Uproszczony widok pakietu blach wirnika oraz wału :4 radełka (a) , 8 radełek (b)

W typowym silniku indukcyjnym zbliżonej mocy do silnika prototypowego w celu uniemożliwienia obrotu pakietu blach wirnika na wale stosowane są zazwyczaj cztery radełka proste rozmieszczone symetrycznie na obwodzie. W opracowanym silniku wzbudzonym magnesami trwałymi, ze względu na zastosowanie marek blachy wirnika (rys. 1) zachodzi prawdopodobieństwo trafienia dwóch radełek na pustą przestrzeń pakietu. Taki przypadek pokazano na rysunku 4. Ze względu na to w opracowanym silniku LSPMSM ilość radełek pod pakiet musi być zwiększona dwukrotnie (z 4 do 8) i powinny być one przesunięte o kąt około 45° względem siebie (rys.4).

W opracowanej konstrukcji wirnika zastosowano neodymowe magnesy płytkowe o kształcie prostokątnym typu N40SH (rys.5, 6). Przyjęty nieskomplikowany kształt zwiększa łatwość wykonania przestrzeni na magnesy trwałe oraz minimalizuje prawdopodobieństwo uszkodzenia magnesów w trakcie instalacji

w wirniku. Taki kształt magnesów trwałych obniża również istotnie ich cenę, ponieważ cena magnesu jest uzależniona nie tylko od rodzaju, objętości i powłoki ochronnej, ale również od jego kształtu. Jednak ze względu na ich kruchość w opracowanej konstrukcji silnika LSPMSM zastosowano dwa magnesy na długości pakietu wirnika (rys. 5), w każdym z 4 podwójnych żłobków (rys. 1). Stanowi to dodatkową trudność, ponieważ wymaga od obsługi zainstalowania 16 magnesów z zachowaniem odpowiedniej biegunowości.



Rys. 5. Płytkowe magnesy neodymowe typu N40SH



Rys. 6. Wirnik silnika prototypowego wzbudzonego magnesami trwałymi

Osadzanie magnesów w opracowanym silniku LSPMSM przewidziano ręczne z zastosowaniem narzędzi niemagnetycznych. Proces ten wymaga stworzenia specjalnego stanowiska

wykonanego również z materiałów niemagnetycznych, gdyż znaczne siły oddziaływania magnesów bardzo utrudniają ich rozłączenie i rozłożenie na pulpicie roboczym.

W celu zapobiegnięcia wysuwaniu się magnesów z pakietu blach wirnika przewidziano zastosowanie dwuskładnikowego kleju epoksydowego odpornego na wysokie temperatury. Wymaga to jednak stworzenia dodatkowej powierzchni odstawczej w celu zapewnienia wymaganego czasu do utwardzenia się kleju przed przekazaniem wirnika do kolejnej operacji w toku produkcji silnika.

3. Podsumowanie

Przebieg procesów technologicznych podczas produkcji silników LSPMSM małej mocy nie odbiega stanowczo od procesu produkcji typowego silnika indukcyjnego o zbliżonej mocy. Specyficzny kształt blachy wirnika wymaga jednak zaprojektowania i wykonania odpowiednio dopasowanych narzędzi (dedykowanych do konkretnego modelu wirnika), niezbędnych do poprawnego przebiegu poszczególnych procesów. Największe zmiany w stosunku do klasycznego silnika indukcyjnego w przebiegu procesów technologicznych podczas produkcji wirnika opracowanego silnika dotyczą procesu pakietowania oraz odlewania klatki rozruchowej. Wszelkie zmiany konstrukcyjne kształtu blachy wirnika wynikające na przykład z optymalizacji parametrów silnika wiążą się z koniecznością ponownego opracowania i zmiany oprzyrządowania niezbędnego w wieloseryjnej produkcji przemysłowej.

4. Literatura

- [1]. Bernatt J., T., Glinka T.: *Problemy konstrukcji maszyn elektrycznych w aktualnych pracach BOBRME Komel*. Problemy eksploatacji maszyn i napędów elektrycznych. PEMINE, Ryto, 2009. Katowice : BOBRME "Komel", 2009, s. 13-24.
- [2]. Dąbrowski M.: *Projektowanie maszyn elektrycznych prądu przemiennego*. WNT, Warszawa 1994.
- [3]. Glinka T.: *Maszyny elektryczne wzbudzone magnesami trwałymi*. Wydawnictwo Pol. Śląskiej, Gliwice 2002.
- [4]. Kisielewski P.: *Technologia montażu magnesów trwałych w wirniku silnika synchronicznego dużej mocy*. Zagadnienia maszyn, napędów i pomiarów elektrycznych. Wrocław, Oficyna Wydaw. PWroc., 2010, s. 40-47.
- [5]. Zawilak T., Antal L.: *Porównanie silnika indukcyjnego z silnikiem synchronicznym z magnesami trwałymi i rozruchem bezpośrednim*. Zagadnienia

maszyn, napędów i pomiarów elektrycznych. Wrocław, Oficyna Wydaw. PWroc., 2005, s. 212-221.

- [6]. Zawilak T., Antal L.: *Porównanie silnika indukcyjnego oraz synchronicznego z magnesami trwałymi i rozruchem bezpośrednim - badania eksperymentalne*. Problemy eksploatacji maszyn i napędów elektrycznych. PEMINE, Ryto, [23-25] maj 2007. Katowice : BOBRME "Komel", 2007, s. 277-282.

Praca naukowa finansowana ze środków na naukę w latach 2010-2013 jako projekt badawczy POIG.01.01.02-00-113/09

Autorzy

dr inż. Paweł Zalas

dr inż. Piotr Kisielewski

Politechnika Wrocławska,
Instytut Maszyn, Napędów
i Pomiarów Elektrycznych,
ul. Smoluchowskiego 19
50-372 Wrocław