

Optymalizacja projektowania i procesu produkcji silników elektrycznych

Marcin Krawczyk

1. Wstęp

Projektując maszyny elektryczne, zwraca się uwagę na dane wejściowe, optymalny proces produkcji oraz zamierzony efekt końcowy. Początek istnienia zakładów elektrycznych w Żychlinie datuje się na 1921 rok [1]. Przez lata zmieniają się wymogi rynku co do parametrów elektrycznych, zastosowania maszyn, ceny oraz czasu dostawy. Tylko w ciągu ostatnich lat, starając się dostosować do specjalnych wymagań klientów, wspólnie z BOBRME Komel wdrożyliśmy szereg aplikacji, między innymi silniki w wykonaniu morskim, silniki TEFC spełniające wymogi NEMA MG1, silniki użytkowane w przemyśle górnym, silniki trakcyjne, silniki szybkoobrotowe, silniki pierścieniowe i wiele innych [2]. Tematyka optymalizacji przy tak złożonych układach jest szeroka, dlatego w artykule omówiono wybrane zagadnienia.

2. Elektryczne silniki klatkowe

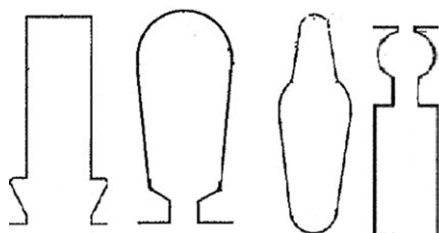
Indukcyjne elektryczne silniki klatkowe obecnie należą do najczęściej używanych napędów maszyn i urządzeń przemysłowych. W tym celu dąży się, aby możliwie maksymalnie przyspieszać oraz upraszczać proces obliczeń, projektowania, wykonywania i badań silników elektrycznych.

2.1. Optymalizacja obliczeń obwodu elektromagnetycznego

Obliczanie obwodu elektromagnetycznego jest pierwszym etapem podlegającym optymalizacji. Do obliczeń wykorzystywane są dedykowane programy połączone z unifikowaną bazą danych istniejących narzędzi, materiałów i dotychczasowych wykonań obwodów wg kart uzwojeń silnika zwanej KUS.

Baza zawiera między innymi:

- kształty obrysów do produkcji blach stojana i wirnika;
- kształty żłobka stojana i wirnika – rys. 1;
- dane KUS istniejących konstrukcji;
- kształty pierścieni zwierających;
- rodzaje i wymiary drutów nawojowych;
- gatunki blachy prądnicowej i dostępne szerokości itd.



Rys. 1. Przykładowe kształty żłobków blach stojana i wirnika

Streszczenie: W artykule przedstawiono wybrane zagadnienia optymalizacji procesu od projektowania do wytworzenia silników elektrycznych. W obecnych czasach, przystępując do projektowania maszyn elektrycznych, zwraca się uwagę nie tylko na to, aby powstał wyrób zgodny z założeniami wejściowymi. Uwzględnia się również szereg innych czynników zmierzających do wykonania produktu wysokiej jakości, w możliwie najkrótszym czasie oraz przy jak najniższym koszcie wytworzenia. Poszczególne etapy projektu są analizowane pod kątem unifikacji istniejących rozwiązań.

Słowa kluczowe: maszyny elektryczne, optymalizacja procesu

OPTIMISATION OF ELECTRICAL MOTORS DESIGN ENGINEERING AND PRODUCTION PROCESS

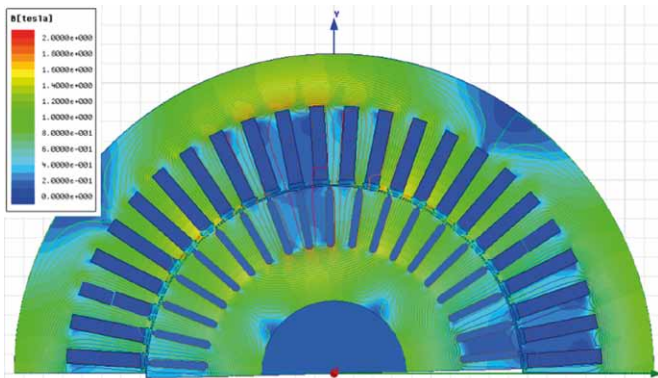
Abstract: The article presents selected issues of optimisation of electric motors production from design engineering to final product. Currently, when designing of electrical machines begins, attention is paid to more than merely manufacturing a product in line with the inputs. A number of other factors are taken into account to make a high quality product in the shortest possible time and at the lowest possible cost of production. The individual stages of the project are analysed for the unification of existing solutions.

Keywords: electrical machines, optimisation of proces

Najbardziej optymalnym rozwiązaniem jest, gdy do danej konstrukcji projektowanego silnika uda się dopasować istniejący KUS. Posiadamy wówczas kompletną dokumentację techniczną obwodu elektromagnetycznego oraz przyrządy technologiczne. Jeżeli jest to niemożliwe, staramy się optymalizować konstrukcję tak, aby ograniczyć do minimum koszty związane z nowym oprzyrządowaniem oraz rodzajem i ilością materiałów zastosowanych w projekcie. W tym celu przeprowadza się wielowariantowe obliczenia obwodu elektromagnetycznego.

2.2. Optymalizacja konstrukcji mechanicznej

Projektowanie konstrukcji mechanicznej maszyn elektrycznych jest ściśle związane z technologią wytwarzania. Wówczas zwracamy uwagę na technologiczność konstrukcji, czyli optymalizację wykonania na etapie konstruowania [3].



Rys. 2. Analiza zjawisk elektromagnetycznych w programie Maxwell

reklama

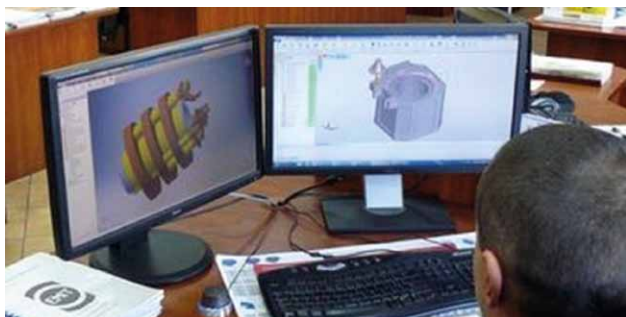
Celami priorytetowymi produkcji silnika są:

- jakość wyrobu;
- koszt wytworzenia wyrobu;
- czas wytworzenia wyrobu.

Biorąc pod uwagę główne cele, na optymalizację mają wpływ m.in.:

- ilość do wykonania detali/wyrobów;
- przeznaczenie detali/wyrobów, np. Ex;
- rodzaj i postać zastosowanego materiału;
- kształt nowo opracowanych detali (możliwie proste, bez konieczności zakupu nowych narzędzi obróbczych i pomiarowych);
- użycie detalu z istniejących konstrukcji;
- powtarzalne detale i materiały handlowe;
- zastosowanie oprzyrządowania specjalnego/wykonanie bez przyrządów wydłużając proces;
- możliwość obróbki detalu na maszynach NC.

reklama



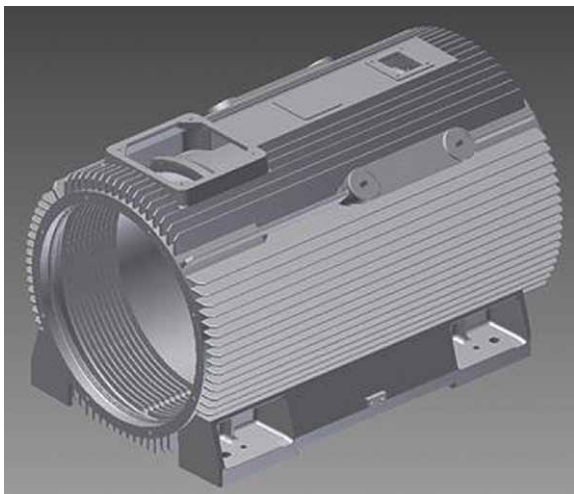
Rys. 3. Projektowanie konstrukcji w programie CAD oraz tworzenie kodu obróbczego na maszyny CNC przy wsparciu aplikacji CAM

Dla jednostkowych zamówień silników, o ile nie jest to wykonanie Ex, należy wykorzystać istniejące konstrukcje na bazie odlewów.

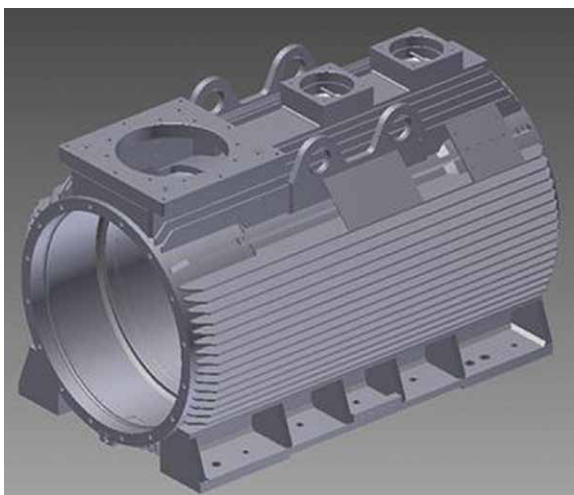
W przypadku braku możliwości wykorzystania w projekcie odlewów należy zastosować bardziej czasochłonną i kosztowną konstrukcję spawaną [4].

2.3. Optymalizacja procesu wytwarzania maszyn elektrycznych

Optymalnie przeprowadzony proces projektowania wpływa bezpośrednio na przygotowanie procesu technologicznego i wytworzenie wyrobu.



Rys. 4. Konstrukcja odlewana



Rys. 5. Konstrukcja spawana

Produkcja jednostkowa zazwyczaj jest droższa niż seryjna. Brak seryjnego wykonania to:

- większy udział czasu przygotowawczo-zakończeniowego t_{pz} w procesie wytworzenia;
- większy koszt zakupu małych ilości materiału;
- procentowy większy udział kosztów przyrządów specjalnych w wyrobie;
- potrzeba wykwalifikowanych pracowników jest większa.

Przy specjalizacji w jednostkowym wytwarzaniu maszyn elektrycznych optymalizacja jest szczególnie ważna. Należy inwestować w najnowsze technologie zmierzające do skracania czasów procesów i zmniejszania kosztów produkcji wyrobu. Szereg wytwórców maszyn i urządzeń, wychodząc naprzeciw oczekiwaniom klientów, oferuje produkty z możliwością prostego programowania z pulpitu maszyny. Jest to szczególnie wygodne przy produkcji jednostkowej, jeżeli obciążenie czasowe pracą stanowiska jest poniżej 100%.

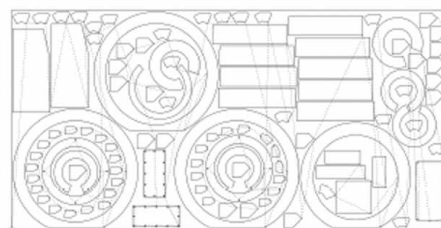
Przy produkcji seryjnej istotne jest, by wykorzystywać obróbkę na maszynach numerycznych z zastosowaniem dedykowanych pod dany materiał narzędzi skrawających. W przypadku braku możliwości obróbki detali w firmie na maszynach NC należy skorzystać z kwalifikowanych kooperantów lub

uruchomić technologię alternatywną z zastosowaniem przyrządów specjalnych i konwencjonalnych maszyn.

Oto kilka przykładów procesowych.

W przypadku cięcia detali plazmą lub metodą acetylenowo-tlenową używa się programu do optymalizacji ułożenia części ciętych termicznie na arkuszu blachy, tzw. nestingu.

	Wymiary ark [mm] 3000 x 1500 x 3	Gatunek met S235JR	Nazwa wytopu S235JR	Diagnoz. ciecia [m] 80,32	Ilość prostok. 148	Zadanie TS349	Nazwa programu GDF1_2	
	Użyte ark [m] 2463,92 x 1480,00	Masa ark [kg] 158,000	Nazwa ark AD-1	Czas ciecia 01:48:07	Maszyna Mazak_Plasma	Arkusz nr: 3/4	Programista Michał	
Abytunek procesy Plazma GDMF							Data wygenerowania programu 2016/06/13 10:30:07	



Masa ark [kg] 158,000	Masa detali netto [kg] 87,354	Masa złomu [kg] 36,303	Użytek szczerzynowy 7,363	Użytek % netto 60,74	Użytek % prost. 134,85	Podpis operatora
Liczba palecników 1		Odniesienie palecnika 0				

Rys. 6. Raport rozkładu części do wypalenia

Każda część w bazie ma wykonany „szkic”, czyli kształt detalu ze ścieżką cięcia, i opisane cechy, jak gatunek i grubość materiału, rodzaj cięcia termicznego. Program komasuje „szkice części” z różnych zleceń, klasyfikując je wg cech, i układa optymalnie na arkuszu – rys. 6.

Taka metoda pozwala nie tylko zoptymalizować czas cięcia termicznego, ale również ograniczyć do minimum ilość odpadu blachy.

Do obróbki przez toczenie, frezowanie, wiercenie, gwintowanie detali pojedynczych wykorzystywane są obrabiarki NC z panelem do szybkiego programowania bezpośrednio na maszynie, np. Mazatrol – rys. 7.



Rys. 7. Centrum NC z napędzanymi narzędziami i programowaniem Mazatrol

Operator obrabiarki przy wykorzystaniu dostępnej z pulpitu maszyny nakładki szybkiego programowania generuje dla nieskomplikowanych detali program NC.

Szlifowanie średnic wału (wirnika) jest realizowane na podstawie danych wprowadzanych przez operatora, takich jak średnica obrabiana z tolerancją, długość stopnia i odległość od czoła wału. Obróbka jest wykonywana z automatycznym pomiarem wymiaru i błędów kształtu podczas procesu przez moduł pomiarowy Marposs. Dzięki temu maszyna sama koryguje wymiar ze względu na zużycie ściernicy i temperaturę obróbki.



Rys. 8. Szlifowanie stopni wału na wirniku z pomiarem Marposh

W produkcji jednostkowej takie podejście w przypadku prostych operacji obróbkowych pozwala lepiej wykorzystywać operatorów bez konieczności angażowania technologa do opracowania programów w CAM-ie.

Optymalne opracowanie technologii detali obwodów elektromagnetycznych jest szczególnie istotne ze względu na złożoność procesu i znaczny koszt ogólny materiałów wchodzących w nie detali.

Detale w produkcji powtarzalnej, takie jak blachy magnetyczne stojana i wirnika, wykonuje się z wykorzystaniem wykrojników. Dla wykonań prototypowych, jeżeli nie można zastosować istniejących wykrojników, optymalnym rozwiązaniem jest wykonanie blach stojana i wirnika ciętych laserem.

Kształtowanie cewek stojana w produkcji seryjnej realizowane jest półautomatycznie, dając powtarzalne detale do zwojenia stojanów.



Rys. 9. Rozciąganie cewek stojana

Powtarzalność detali obwodów magnetycznych jest szczególnie istotna ze względu na proces ich składania. Detale i zespoły maszyn elektrycznych są sprawdzane na poszczególnych etapach produkcji w celu weryfikacji poprawności wykonania.

Zmontowane maszyny elektryczne poddawane są próbom finalnym.

Przeprowadzane są próby elektryczne oraz mechaniczne na biegu jałowym, jak również pod obciążeniem.



Rys. 10. Pomiary stojana uzwojonego cyfrowym testerem uzwojeń

3. Podsumowanie i wnioski

Optymalne projektowanie i wytwarzanie maszyn elektrycznych zależy między innymi od:

- unifikacji obliczeń elektromagnetycznego obwodu silnika;
- ilości projektowanych maszyn (produkcja jednostkowa/seryjna);
- unifikacji konstrukcji mechanicznej;
- możliwości parku maszynowego;
- optymalnej technologii wytworzenia;
- sprawdzonych kooperantów;
- bazy detali handlowych.

Kluczowe jest wykorzystywanie posiadanych baz wyrobów, detali, oprzyrządowania specjalnego, znormalizowanych detali handlowych, specjalizowanych maszyn i urządzeń procesowych w celu szybkiego projektowania i wytwarzania maszyn elektrycznych.

Wpływa to bezpośrednio na czas oraz koszt wytworzenia wyrobu finalnego.

Literatura

- [1] HICKIEWICZ J., WEBER E., SADOWSKI P.: *Zygmunt Okoniewski (1877–1936) w 140 rocznicę urodzin*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 1/2017.
- [2] BERNATT J., GLINKA T.: *Problemy konstrukcji maszyn elektrycznych w aktualnych pracach BOBRME KOMEL*. „Maszyny Elektryczne – Zeszyty Problemowe” 83/2009.
- [3] KRATOCHWIL Z.: *Technologia wytwarzania maszyn elektrycznych wirujących*. WNT, Warszawa 1975.
- [4] Krawczyk M.: *Wpływ rodzaju materiału na proces wytwarzania detali w Zakładzie Maszyn Elektrycznych EMIT SA*. Konferencja „Młodzi dla Techniki” – Płock 2015 – prezentacja, praca niepublikowana.

dr inż. Marcin Krawczyk
ZME EMIT S.A.
e-mail: marcin.krawczyk@cantonigroup.com