

Weryfikacja i optymalizacja programów sterujących na frezarki CNC metodą elementów skończonych w środowisku programu TWS Production Module 3D

Verification and optimization of control programs for CNC milling machines with the use of Production Module 3D FEM software

KRZYSZTOF JAROSZ
PIOTR LÖSCHNER
GRZEGORZ KRÓLCZYK *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.409

Niniejsza praca powstała w celu prezentacji możliwości optymalizacji programów sterujących na obrabiarki sterowane numerycznie z wykorzystaniem dedykowanego oprogramowania. Optymalizację procesu pokazano na przykładzie frezowania czołowego. Dokonano porównania różnych strategii optymalizacji, wraz z prezentacją i analizą wyników.

SŁOWA KLUCZOWE: TWS Production Module 3D, frezowanie, optymalizacja, siła skrawania

This work aims to present possibilities for optimization of milling operations with the use of commercial FEM software. A face milling operation was chosen for this study. Several optimization strategies were described and compared. Their results were presented, analyzed and discussed.

KEYWORDS: TWS Production Module 3D, milling, optimization, cutting force

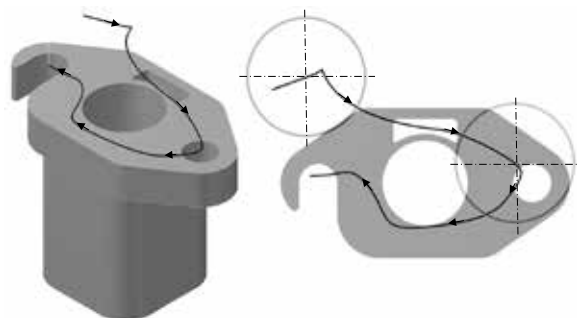
Naukowcy na całym świecie prowadzą zaawansowane badania eksperymentalne w zakresie optymalizacji różnych odmian frezowania dla szerokiego zakresu materiałów konstrukcyjnych, głównie w aspekcie minimalizacji czasu obróbki, jakości powierzchni oraz siły skrawania. Przykładowo wpływ parametrów technologicznych na jakość powierzchni obrabianej przy frezowaniu stopu aluminium AL-6061 oraz próby wyznaczenia ich optymalnych wartości zostały przeprowadzone przez Sukumar i in. [1]. Simunovic i in. opublikowali wyniki badań nad optymalizacją procesu frezowania czołowego stali S235JRG2 przy zastosowaniu różnych metod chłodzenia [2]. Możliwości procesu optymalizacji frezowania superstopów opisane zostały przez Nath i in. [3]. Yang i in. w swojej pracy [4] poruszyli tematykę optymalizacji parametrów technologicznych w procesie frezowania stopu tytanu Ti-6Al-4V. Wyniki powyższych badań pozwoliły na efektywną optymalizację procesów, jednak ich uzyskanie wymagało przeprowadzenia żmudnych badań eksperymentalnych oraz wykorzystania kosztownych urządzeń pomiarowych. W artykule zaproponowane zostało odmienne podejście do optymalizacji procesu frezowania w oparciu o modelowanie numeryczne. Zaprezentowano przykład symulacji komputerowej, wykonanej w programie Third Wave Systems Production Module 3D, w celu optymalizacji frezowania czołowego w aspekcie stabilizacji obciążenia frezi.

* Mgr inż. Krzysztof Jarosz (jarosz.krzysztof@gmail.com), mgr inż. Piotr Löschner (pleszner@op.pl), dr hab. inż. Grzegorz Królczyk prof. PO (g.krolczyk@po.opole.pl) – Katedra Technologii Maszyn i Automatykacji Produkcji, Wydział Mechaniczny, Politechnika Opolska

Przygotowanie eksperymentu

W systemie CAD utworzono model demonstratora pozwalający na ocenę różnych strategii optymalizacji podczas frezowania czołowego. Gotowy model przedmiotu obrabianego został zaimportowany do programu CAM, gdzie po wprowadzeniu wymaganych parametrów technologicznych i wyborze głowicy frezowej o średnicy 50 mm, wygenerowana została ścieżka narzędzia, schematycznie przedstawiona na rys. 1. Przedmiot obrabiany wykonany jest z aluminium AL-6061-T6. Dla operacji frezowania czołowego wybrano frez czołowy o następujących parametrach:

- głowica – Kennametal KSSM 45° 50D4R049A32S-SE14G
- płytki skrawające – SECT1404AEFNLE
- średnica robocza frezu: 50 mm
- liczba ostrzy: 4
- materiał ostrzy: węgiel spiekany WC-Co.



Rys. 1. Demonstrator wraz ze ścieżką narzędzia wygenerowaną w programie CAM Mastercam X9 oraz przykładowe położenia głowicy frezarskiej w skrajnych punktach obróbki

Jako bazowe parametry technologiczne przyjęto:

- posuw na ostrze $f_z = 0,075$ mm
- prędkość skrawania $v_c = 475$ m/min
- głębokość skrawania $a_p = 4,5$ mm.

Przyjęte parametry zawierają się w dolnym zakresie wartości proponowanych przez producenta narzędzi dla obróbki aluminium. Gwarantuje to możliwość optymalizacji procesu w szerszym zakresie parametrów technologicznych.

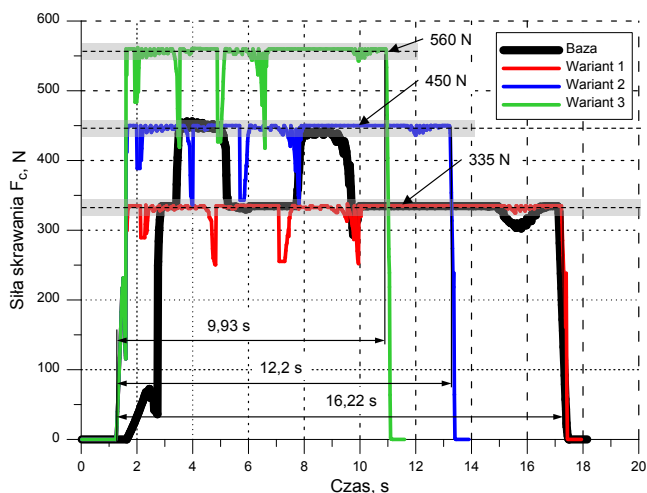
Optymalizacja operacji planowania czoła w TWS Production Module 3D

W oparciu o analizę problemu przyjęto, jako podstawowe kryterium optymalizacji, ustabilizowanie i kontrolę

wartości siły głównej skrawania. Maksymalna wartość posuwu dla przyjętego narzędzia skrawającego, zgodnie z danymi producenta, wynosi 0,24 mm/ostrze. Optymalizację przeprowadzono dla trzech różnych wariantów:

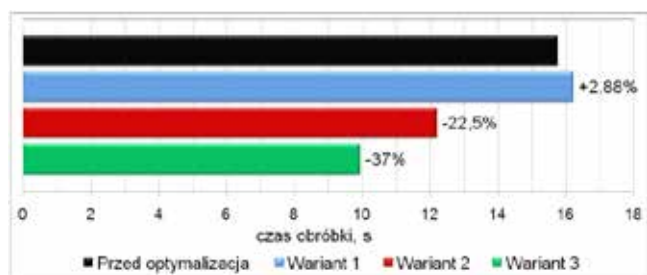
- Wariant 1 – ustabilizowanie wartości siły F_c .
- Wariant 2 – zwiększenie wartości siły F_c do najwyższej względem danym bazowych, czyli 450 N.
- Wariant 3 – zwiększenie wartości siły F_c o 25% w stosunku do wariantu 2.

Efekt wyników optymalizacji dla zakładanych wariantów procesu przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Przebieg zmian siły skrawania F_c w funkcji czasu obróbki przed optymalizacją (Baza) oraz dla trzech wariantów optymalizacji

Na rys. 3 przedstawiono sumaryczny czas skrawania dla frezowania czołowego przed optymalizacją i po optymalizacji według ustalonych trzech wariantów.



Rys. 3. Czas obróbki przed optymalizacją i po optymalizacji wraz z jego procentowymi zmianami względem procesu bazowego

W pierwszym z rozpatrywanych wariantów uzyskano nieznaczne wydłużenie czasu obróbki, wynoszące nieco poniżej 3%. Ponadto zauważyć można, iż program został zoptymalizowany w taki sposób, aby obróbka rozpoczęła się wcześniej niż pierwotnie, a także od razu ze stałą wartością siły F_c .

Dla drugiego wariantu optymalizacji uzyskano oszczędność czasu obróbki wynoszącą 22,5%. Zgodnie z zadanymi warunkami początkowymi wartość siły głównej skrawania została wyrównana do najwyższej występującej w przejściu obróbkowym. Jednakże na wykresie nadal zaobserwować można nieregularności. Prawdopodobnie wynikają one z przerywanego charakteru pracy narzędzia.

Wzrost wartości siły głównej skrawania o 25% skutkuje oszczędnościami czasu rzędu 37%. Wartość siły została przez program wyrównana i podniesiona do określonej w kryteriach optymalizacji wartości ($F_c = 550$ N). Analogicznie jak dla wariantu 2 można zaobserwować jej spadki w miejscach, gdzie nie wszystkie ostrza narzędzia biorą

udział w usuwaniu materiału, jednak dla prawie 92% czasu pracy narzędzia siła F_c utrzymywana jest na stabilnym ustalonym poziomie.

TABLICA. Procentowe wartości czasu stabilnej pracy narzędzia

Przed optymalizacją	Wariant 1	Wariant 2	Wariant 3
66,40%	92,80%	92,37%	92,72%

W tabelicy przedstawiono procentowe wartości stabilnej pracy narzędzia względem całkowitego czasu obróbki. Za kryterium stabilnej pracy narzędzia przyjęto utrzymanie średniej wartości siły głównej skrawania na poziomie $\pm 5\%$. Dla każdego wariantu optymalizacji procentowa wartość czasu stabilnej pracy narzędzia jest podobna – na poziomie 92%. W odniesieniu do testów przed optymalizacją daje to wzrost stabilności o ok. 26%.

Podsumowanie i wnioski

Wykazano, że w oparciu o program TWS Production Module 3D możliwa jest optymalizacja parametrów technologicznych frezowania czołowego w aspekcie minimalizacji czasu obróbki. Osiągnięto to poprzez ustabilizowanie wartości siły skrawania na ustalonych, zadanych przez autorów poziomach.

Stwierdzono, że ustabilizowanie wartości siły skrawania (wariant 1) na poziomie najniższych wartości F_c procesu bazowego pozwoliło na wyrównanie dynamiki procesu przy nieznacznym jedynie wydłużeniu czasu obróbki.

Kolejne zmiany kryteriów stabilizacji siły F_c , analizowane odpowiednio w wariantach 2 i 3, pozwoliły na skrócenie czasu obróbki aż o 22,5% i 37%. Należy nadmienić, że system TWS Production Module 3D, dokonując zmian parametrów technologicznych, nigdy nie przekracza wartości granicznych ustalonych przez operatora. Można więc być pewnym, że warunki pracy ostrza są zgodne z parametrami dopuszczonymi przez producenta narzędzia.

Osiągnięto wyraźne ustabilizowanie przebiegów zmian wartości siły głównej skrawania w funkcji czasu obróbki. Niemożliwe jest jednak wyeliminowanie wszystkich nieregularności przebiegu wartości siły F_c . Wynika to głównie ze zmiennej szerokości warstwy skrawanej.

Należy zauważyć, że ustabilizowanie przebiegu siły skrawania, w oparciu o tanie i w miarę szybkie metody numeryczne, pozwala na wyeliminowanie możliwych przyczyn powstawania drgań w procesie obróbkowym, a tym samym na zwiększenie trwałości narzędzia, jaki i poprawę stabilności obróbki frezowaniem.

LITERATURA

1. Sukumar M.S., Venkata Ramaiah P., Nagarjuna A. "Optimization and prediction of parameters in face Milling of Al-6061 using Taguchi and ANN Approach". *Procedia Engineering*. Vol. 97 (2014): pp. 365+371.
2. Simunovic K., Simunovic G., Saric T. "Single and multiple goal optimization of structural steel face milling process considering different methods of cooling/lubricating." *Journal of Cleaner Production*. Vol. 94 (2015): pp. 321+329.
3. Nath Ch., Brooks Z., Kurfess T.R. "Machinability study and process optimization in face milling of some super alloys with indexable copy face mill inserts." *Journal of Manufacturing Processes*. Vol. 20 (2015): pp. 88+97.
4. Yang D., Zhanqiang L. "Surface topography analysis and cutting parameters optimization for peripheral milling titanium alloy Ti-6Al-4V." *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*. Vol. 51 (2015): pp. 192+200.
5. Niesłony P., Jarosz K., Löschner P., „Optymalizacja programów sterujących dla tokarek CNC”. *STAL Metale & Nowe Technologie*. Nr 5–6 (2015): s. 114+117.