

# Wpływ modelu materiałowego na wyniki badań symulacyjnych frezowania stopu Inconel 718

The influence of material model on the simulation results of milling Inconel 718 alloy

ANDRZEJ MATRAS  
WOJCIECH ZĘBALA  
ŁUKASZ ŚLUSARCZYK \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.402

W pracy przedstawiono wyniki badań dotyczących określenia wpływu zastosowanego modelu materiałowego na proces optymalizacji prędkości posuwu. Podczas badań symulowano i optymalizowano frezarską obróbkę wykończeniową kołnierzy korpusu silnika lotniczego wykonanego ze stopu Inconel 718. Analizowano otrzymane przebiegi składowych sił skrawania oraz wydajności objętościowe procesu skrawania.

**SŁOWA KLUCZOWE:** model materiałowy, frezowanie, optymalizacja, wydajność skrawania

*The paper presents the results of research in order to determine the influence of applied material model on the feed speed optimization process. Finishing milling process of aircraft engine block flange made from Inconel 718 alloy was simulated and optimized. The cutting forces components and machining efficiency were analyzed.*

**KEYWORDS:** Material model, milling, optimization, cutting efficiency

Optymalizacja procesu obróbki skrawaniem może być wykonywana w celu zwiększenia wydajności obróbki, stabilizacji wartości składowych sił skrawania, poprawy jakości wytwarzanych części lub zmniejszenia kosztowności procesu obróbki [1÷3]. Przeprowadzenie procesu optymalizacyjnego może spowodować skrócenie czasu obróbki bez pogorszenia jakości produkowanego wyrobu, czego następstwem jest zmniejszenie kosztów wytwarzania [3÷4]. W wyniku kontroli wartości składowych całkowitej siły skrawania istnieje możliwość ograniczenia wartości stosowanych parametrów skrawania w miejscach, gdzie zarejestrowano za wysokie ich wartości, co zmniejsza prawdopodobieństwo wystąpienia zużycia katastroficznego ostrzy narzędzi oraz występowania braków produkcyjnych [5÷7]. Prowadzenie procesu optymalizacyjnego może być wykonywane różnymi metodami. Jedną z metod optymalizacji procesu obróbki polega na modyfikacji prędkości posuwu prowadzonej w oparciu o znajomość składowych całkowitej siły skrawania [8]. Do tego celu wymagany jest numeryczny model materiałowy, w którym zawarte są zależności pomiędzy wartościami składowych całkowitej siły skrawania, przekrojem warstwy skrawanej oraz parametrami skrawania. Optymalizacja prowadzona w taki sposób polega na utworzeniu macierzy wartości składowych sił skrawania powstających w wyniku obróbki analizowanej części z różnymi parametrami skrawania. Etap ten może być realizowany w oparciu o obliczenia

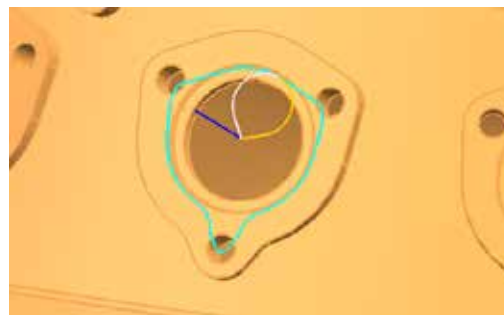
numeryczne, prowadzone najczęściej z wykorzystaniem MES lub testy skrawania wykonywane przy użyciu toru do pomiaru składowych sił skrawania [3, 5÷8].

Na drugim etapie, na podstawie utworzonego modelu materiałowego i obliczeń przekroju warstwy skrawanej obliczane są wartości składowych całkowitej siły skrawania w analizowanym procesie obróbki skrawaniem. Następnie, w oparciu o założone kryteria, prowadzona jest optymalizacja prędkości posuwu. Istotnym, a jednocześnie pracochłonnym etapem optymalizacji jest utworzenie modelu materiałowego oraz jego kalibracja. Prawidłowa konfiguracja parametrów modelu materiałowego istotnie wpływa na dokładność obliczeń.

## Przedmiot obrabiany i warunki badań

W pracy wykonano analizę oraz optymalizację operacji frezowania wykończeniowego kołnierzy znajdujących się na powierzchni korpusu silnika lotniczego. Przedmiot obrabiany wykonany jest ze stopu Inconel 718. Proces technologiczny obróbki prowadzony jest przy wykorzystaniu pięcioosiowego centrum frezarsko-tokarskiego DMU 60 FD duoBLOCK.

Obróbka wykończeniowa kołnierzy wykonywana jest głowicą skrawającą o średnicy 32 mm. W głowicy zamocowane są cztery płytki skrawające, wykonane z węglików spiekanych, pokryte powłokami TiN i TiAlN. Widok geometrii kołnierza wraz z zaznaczonymi ścieżkami narzędzia pokazano na rys. 1.



Rys. 1. Widok geometrii kołnierza oraz ścieżki narzędzia dla obróbki wykończeniowej

Przebiegi wykończeniowe wykonywane są z parametrami skrawania:  $v_c = 40$  m/min,  $f_z = 0,06$  mm/ostrze, promieniowa głębokość skrawania  $a_e$  zależy od geometrii kołnierza.

W badaniach modelowych analizowano wpływ zastosowanego modelu materiałowego na prowadzony proces optymalizacji prędkości posuwu. Obliczenia numeryczne

\* Dr inż. Andrzej Matras (amatras@mech.pk.edu.pl), prof. dr hab. inż. Wojciech Zębala (zebala@mech.pk.edu.pl), dr inż. Łukasz Ślusarczyk (slusarczyk@mech.pk.edu.pl) – Politechnika Krakowska

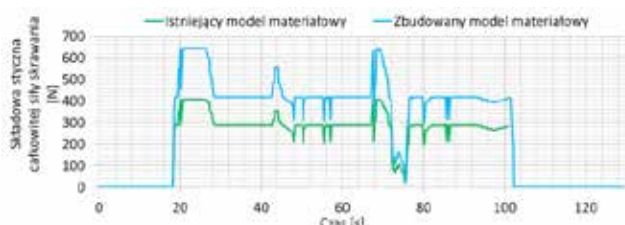
przeprowadzono z wykorzystaniem pakietu oprogramowania Production Module oraz AdvantEdge firmy ThirdWave-System [8]. Analizie poddano dwa modele materiałowe. Pierwszy z nich znajdował się w bazie modeli materiałowych użytego oprogramowania symulacyjnego. Drugi został utworzony w oparciu o wykonane obliczenia numeryczne prowadzone z wykorzystaniem MES. W tabelicy pokazano wartości składowych siły skrawania obliczone dla analizowanego zakresu zmienności parametrów skrawania. Dane te zostały wykorzystane do utworzenia drugiego modelu materiałowego.

**TABLICA. Wyniki obliczeń składowych siły skrawania dla analizowanego zakresu zmienności parametrów skrawania**

$v_c$ , m/min	$f$ , mm/ostrze	$F_x$ , N	$F_y$ , N	$F_z$ , N
30	0,07	317	195	160
	0,1	355	209	166
	0,15	491	232	186
40	0,07	319	193	160
	0,1	346	213	163
	0,15	347	230	157

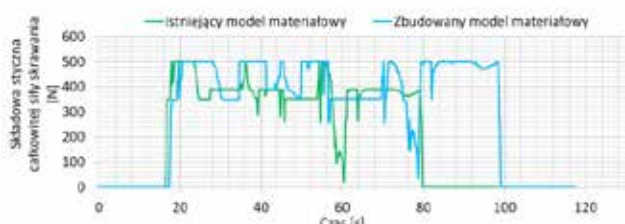
### Optimalizacja procesu obróbki

W celu optymalizacji prędkości posuwu zdefiniowano m.in. model materiałowy, ścieżki narzędzia, parametry narzędzia i obrabiarki. Optymalizację procesu skrawania prowadzono w taki sposób, aby ustabilizować wartości składowej stycznej całkowitej siły skrawania. W pierwszym etapie prowadzonej optymalizacji wykonano obliczenia wartości składowych sił skrawania z użyciem zaimplementowanego w oprogramowaniu symulacyjnym oraz zbudowanego modelu materiałowego (rys. 2).



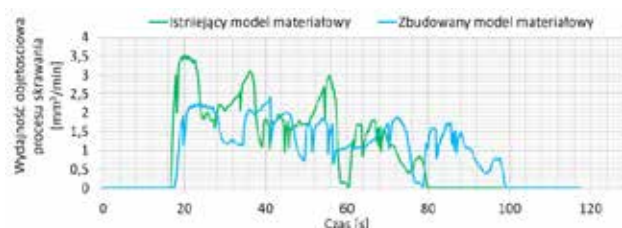
Rys. 2. Wartości składowej stycznej całkowitej siły skrawania obliczone z wykorzystaniem zastosowanych modeli materiałowych

W następnym etapie badań przeprowadzono optymalizację procesu obróbki poprzez modyfikację prędkości posuwu. Jako kryterium optymalizacyjne przyjęto wartość siły stycznej  $F_c = 500$  N. Ograniczono także maksymalny dopuszczalny posuw do wartości  $f_{z\_gran} = 0,15$  mm/ostrze. Zmiany w czasie wartości składowej stycznej całkowitej siły skrawania obliczone dla procesów optymalizowanych z wykorzystaniem obu modeli materiałowych pokazano na rys. 3.



Rys. 3. Wartości składowej stycznej całkowitej siły skrawania obliczone dla procesów optymalizowanych, z wykorzystaniem zastosowanych modeli materiałowych

Na rys. 4 pokazano zmiany w czasie wydajności objętościowej procesu skrawania otrzymane w wyniku prowadzonej optymalizacji procesu obróbki.



Rys. 4. Zmiany wydajności objętościowej procesu skrawania dla procesów optymalizowanych z zastosowaniem obu modeli materiałowych

### Podsumowanie

Optymalizacja przeprowadzona z zastosowaniem istniejącego w oprogramowaniu symulacyjnym modelu materiałowego spowodowała skrócenie czasu obróbki o 24%. Analogiczną sytuację uzyskano w wyniku przeprowadzenia procesu optymalizacji przy użyciu utworzonego modelu materiałowego. Otrzymano jednak mniejsze skrócenie czasu obróbki, wynoszące 9%. Natomiast maksymalna wartość składowej stycznej całkowitej siły skrawania obliczona z wykorzystaniem zaimplementowanego modelu materiałowego wynosiła 63% wartości siły maksymalnej obliczonej z użyciem utworzonego modelu materiałowego. Analizując powyższe zestawienia, stwierdzić można, że wykorzystanie zaimplementowanego w oprogramowaniu symulacyjnym modelu materiałowego daje lepsze efekty prowadzonej optymalizacji. Jest to jednak stwierdzenie iluzoryczne. Wykorzystanie kodu NC optymalizowanego w oparciu o źle skalibrowany model materiałowy może powodować uszkodzenie wykonywanej części oraz stosowanych narzędzi skrawających.

**Badania przeprowadzono w ramach programu INNO-LOT, umowa numer INNOLOT/II/9/NCBR/2013 – „Zaawansowane techniki wytwarzania kadłuba silników lotniczych”, współfinansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.**

### LITERATURA

- Zębała W., Matras A., Beno J. "Optimization of Free-Form Surface Milling". *Manufacturing Engineering*. (2011): pp. 17÷20.
- Rubeo M. A., Schmitz T. L. "Mechanistic force model coefficients: A comparison of linear regression and nonlinear optimization". *Precis Eng. Vol. 45* (2016): pp. 311÷321.
- Zębała W. "Milling Optimization of Difficult to Machine Alloys". *Management and Production Engineering Review*. Vol. 1, No. 1 (2010): pp. 59÷70.
- Zębała W., Plaza M. "Comparative study of 3-and 5-axis CNC centers for free-form machining of difficult-to-cut material". *International Journal of Production Economics*. Vol. 158 (2014): pp. 345÷358.
- Baskar N., Asokan P., Saravanan R., Prabhakaran G. "Optimization of Machining Parameters for Milling Operations Using Non-conventional Methods". *Int J Adv Manuf Tech*. Vol. 25 (2005): pp. 1078÷1088.
- Li Z.Z., Zhang Z.H., Zheng I. "Feedrate optimization for variant milling process based on cutting force Prediction". *Int. J. Adv. Manuf. Tech*. Vol. 24 (2004): pp. 541÷552.
- Merdol S.D., Yusuf Y. "Virtual cutting and optimization of three-axis milling processes". *Int J of Mach Tool Manu*. Vol. 48 (2008): pp. 1063÷1071.
- "User's Manual of AdvantEdge v7.2 and Production Module v7.2 machining simulation software" (2016).