

Strategia 5-osiowej obróbki łopatek turbin uwzględniająca zmiany krzywizny obrabianego profilu

Strategy of 5-axis machining of the turbine blades, taking into account changes in the curvature of the machined profile

JAN BUREK
MICHAŁ GDULA
PAWEŁ SUŁKOWICZ
PIOTR ŻUREK *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.12.539

W artykule przedstawiono opracowaną w ramach badań własnych strategię symultanicznego pięcioosiowego frezowania piór łopatek turbin ze stopu Inconel 718 frezem toroidalnym z uwzględnieniem zmiennego promienia krzywizny w kierunku posuwu narzędzia. Metoda ta umożliwia zwiększenie dokładności kształtowej oraz równomierny rozkład parametrów chropowatości powierzchni przedmiotu obrabianego poprzez współpracującą z systemem CAM procedurę adaptacji kąta prowadzenia.

SŁOWA KLUCZOWE: obróbka 5-osiowa, łopatka turbiny, frez toroidalny

The article presents elaborated within the framework of own research strategy of 5-axis machining of the turbine blades made of Inconel 718 alloy, taking into account a variable radius of curvature in the feed direction of the tool. This method allows to increase the shape accuracy and the uniform distribution surface roughness of the machined part. This is done by cooperating with the CAM system optimization procedure adaptation the lead angle.

KEYWORDS: 5-axis machining, turbine blade, toroidal cutter

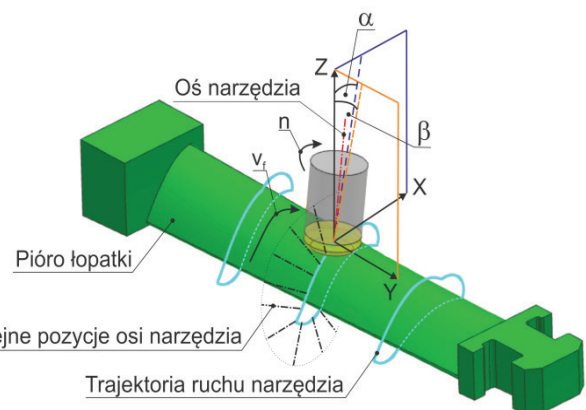
Znaczny postęp w dziedzinie obecnych systemów CAD/CAM oraz wieloosiowych centrów obróbkowych stwarza znaczne możliwości modelowania, jak i programowania procesu symultanicznego 5-osiowego frezowania oraz obróbki elementów o zarysie krzywoliniowym. Przykładem tego jest łopatka turbiny. Element tego typu powinien spełniać najwyższe wymagania dokładności kształtu oraz jakości powierzchni. Stąd też dąży się do opracowywania nowych strategii pięcioosiowej obróbki, które umożliwią zwiększenie dokładności wykonania łopatek, co w znaczący sposób przełoży się na podniesienie sprawności przepływowej maszyny wirnikowej. Ma to szczególne znaczenie w przemyśle lotniczym, jak i energetycznym [1, 2, 4, 6, 8].

Opracowanie technologii obróbki łopatek turbin jest procesem skomplikowanym z uwagi na ciągłą zmianę krzywizny ich aerodynamicznego profilu, dlatego też podjęto próbę opracowania nowej strategii obróbki łopatek turbin, zwłaszcza z materiałów trudnoobrabialnych, która uwzględni zmiany krzywizny obrabianego profilu powierzchni krzywoliniowej. Strategię opracowano na podstawie badań własnych.

* Dr hab. inż. Jan Burek, prof. PRz (jburek@prz.edu.pl), mgr inż. Michał Gdula (gdulam@prz.edu.pl), mgr inż. Paweł Sułkowicz, mgr inż. Piotr Żurek – Politechnika Rzeszowska im. I. Łukasiewicza, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Katedra Technik Wytwarzania i Automatykacji

Obecnie stosowana strategia 5-osiowego frezowania łopatek turbin

Obecnie stosowany rodzaj strategii obróbki powierzchni łopatki polega na zastosowaniu 5-osiowych centrów obróbkowych. Kształt łopatki zostaje zamodelowany w środowisku CAD w oparciu o zadane przekroje poprzeczne poszczególnych profili, natomiast proces obróbki zostaje zaprogramowany w środowisku CAM, głównie w oparciu o strategię 5-osiowego frezowania czołowego. Charakterystyczną cechą tej metody jest to, że oś narzędzia skrawającego, frezu kulistego lub walcowo-czołowego usytuowana jest prostopadle do wzdłużnej osi łopatki i pokrywa się z wektorami normalnymi obrabianej powierzchni krzywoliniowej. W celu zapewnienia odpowiednich warunków styku pomiędzy narzędziem a obrabianą powierzchnią wprowadza się stałe odchylenie osi frezu względem wektora normalnego kinematycznym parametrem kąta prowadzenia α i/lub pochylenia β (rys. 1) [3, 5, 7].



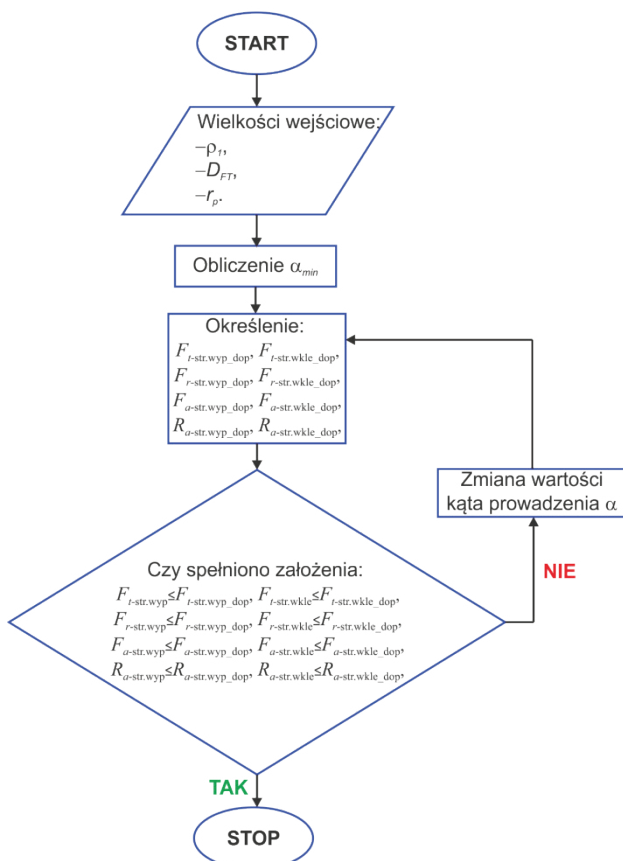
Rys. 1. Pięcioosiowe frezowanie łopatek turbin

Strategia ta umożliwia obróbkę łopatki turbiny z pełnego materiału w jednym zamocowaniu, jednakże ma zasadniczą wadę – nie uwzględnia zmian krzywizny obrabianych profili powierzchni łopatki, co powoduje ciągłe przemieszczanie i zmianę punktu styku powierzchni działania frezu z powierzchnią obrabianą, a tym samym zmiany kierunku i działania składowych siły skrawania, jak również zmiany wartości prędkości skrawania. Powoduje to odkształcenia zarówno przedmiotu obrabianego jak i narzędzia, co w konsekwencji prowadzi do powstawania błędów kształtu łopatki i nierównomiernego rozkładu parametrów chropowatości [1, 2].

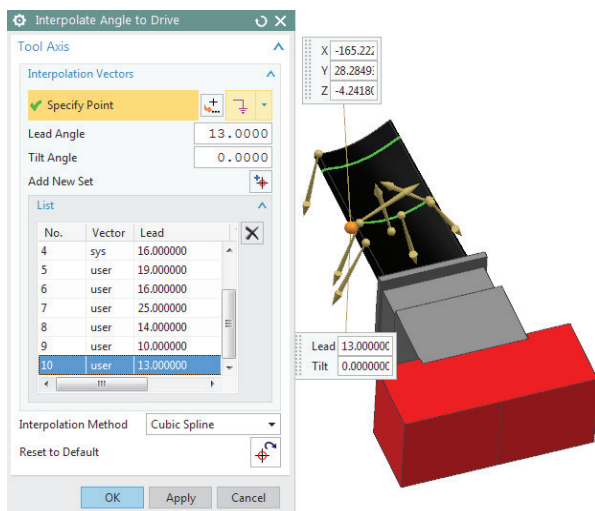
Strategia 5-osiowej obróbki łopatek turbin z adaptacją kąta prowadzenia do zmian krzywizny obrabianego profilu powierzchni krzywoliniowej

Celem badań własnych było opracowanie adaptacyjnej strategii 5-osiowej obróbki łopatek turbin, umożliwiającej zwiększenie wydajności i dokładności kształtu obrabianego przedmiotu poprzez adaptację kąta wyprzedzenia α osi frezu toroidalnego w zależności od zmian promienia krzywizny profilu powierzchni obrabianej [4].

Cel ten osiągnięto przez opracowanie w ramach badań własnych procedury optymalizacyjnej (rys. 2), która współpracuje ze środowiskiem CAM, tworząc adaptacyjną strategię 5-osiowej obróbki elementów o zarysie krzywoliniowym (rys. 3).

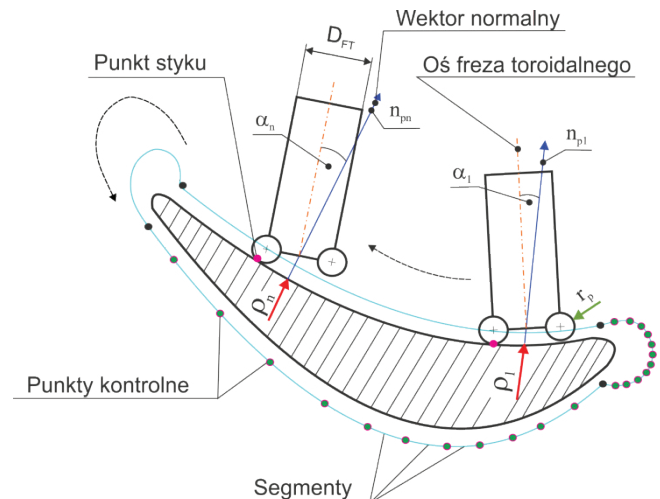


Rys. 2. Procedura optymalizacyjna obróbki łopatek turbin



Rys. 3. Okno definicji 5-osiowej obróbki łopatek turbin z adaptacją kąta prowadzenia do zmian krzywizny obrabianego profilu powierzchni

Strategia polega na zastosowaniu do obróbki frezu toroidalnego, którego ruch roboczy odbywa się po helikalnej 5-osiowej trajektorii ruchu. Segmenty ścieżek narzędzia leżą w płaszczyznach równoległych do osi obrotu frezu, wyznaczonych przez aktualną pozycję tej osi w przestrzeni oraz wektor normalny w początkowym punkcie kontrolnym segmentu ścieżki. Oś frezu toroidalnego prowadzona jest w przestrzeni w sposób płynny względem wektora normalnego obrabianej powierzchni, zaczerpionego w punktach kontrolnych segmentów ścieżki narzędziowej, i wyprzedza punkt styku frezu z powierzchnią obrabianą poprzez adaptację zmiany wartości kąta wyprzedzenia α_1 dla promienia ρ_1 , α_n dla promienia ρ_n itd. (rys. 4).



Rys. 4. Istota opracowanej strategii 5-osiowej obróbki łopatek turbin z adaptacją kąta prowadzenia do zmian krzywizny obrabianego profilu powierzchni

Podsumowanie

Opracowana w ramach badań własnych strategia 5-osiowego frezowania łopatek turbin, uwzględniająca zmiany krzywizny obrabianego profilu, pozwala uzyskać większą dokładność kształtową obrabianego przedmiotu oraz równomierny rozkład parametrów chropowatości obrabianej powierzchni, co wykazano w badaniach własnych [4].

LITERATURA

- Burek J., Żyłka Ł., Gdula M., Płodzień M. „Wpływ orientacji osi freza toroidalnego na składowe siły skrawania w pięcioosiowej obróbce łopatek turbin”. *Mechanik CD*, nr 8–9 (2015): s. 764–774.
- Burek J., Gdula M. „Dokładność geometryczna obróbki łopatek turbin frezem toroidalnym”. *Obróbka Skrawaniem: Badania i rozwój, pod redakcją Jana Burka w ramach Konferencji SOSX* (2016): s. 639–644.
- Cao L.X., Gong H., Liu J. „The offset approach of machining free form surface Part 2: Toroidal cutter in 5-axis NC machine tools”. *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 184 (2007): pp. 6–11.
- Gdula M. „Proces symultanicznego pięcioosiowego frezowania powierzchni złożonych frezem toroidalnym”. Praca doktorska w realizacji.
- Gilles P., Monies F., Walter R. „Optimum orientation of a torus milling cutter: Method to balance the transversal cutting force”. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 47 (2007): pp. 2263–2272.
- Mucha M. „Optymalizacja wydajności obróbki elementów o zarysie krzywoliniowym ze stopu tytanu”. Praca doktorska (2015).
- Ozturk B., Lazoglu I., Erdim H. „Machining of free-form surfaces. Part II: Calibration and forces”. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 46 (2006): pp. 736–746.
- Zębala 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.