

STRESZCZENIE PRACY DOKTORSKIEJ

**Proces symultanicznego pięcioosiowego frezowania  
powierzchni złożonych frezem toroidalnym**

**Autor: mgr inż. Michał Gdula**

**Promotor: dr hab. inż. Jan Burek, prof. PRz**

**Promotor pomocniczy: dr inż. Łukasz Żyłka**

Celem rozprawy było określenie współzależności pomiędzy pięcioosiowymi parametrami orientacji osi freza toroidalnego (kątem prowadzenia  $\alpha$  oraz kątem pochylenia  $\beta$ ) i parametrami geometrycznymi obrabianej powierzchni (promienie krzywizny  $\rho_1$  i  $\rho_2$ ), a dokładnością kształtu i strukturą geometryczną powierzchni po obróbce oraz opracowanie własnej koncepcji metody sterowania orientacją osi freza toroidalnego względem powierzchni o zmiennym promieniu krzywizny obrabianego profilu.

W pierwszej części pracy dokonano przeglądu literatury w zakresie modelowania i obróbki powierzchni złożonych, w szczególności procesu symultanicznego pięcioosiowego frezowania frezem toroidalnym. Poddano analizie wybrane zagadnienia ważne z punktu widzenia procesu symultanicznego pięcioosiowego frezowania frezem toroidalnym, mające wpływ na kształtowanie warstwy skrawanej, a przez to na składowe siły skrawania i dokładność kształtu oraz na konstytuowanie parametrów stereometrycznych warstwy wierzchniej.

W ramach badań symulacyjnych określono istotność wpływu parametrów geometrycznych analizowanych typów powierzchni: to jest promieni krzywizny  $\rho_1$  i  $\rho_2$  oraz orientacji osi narzędzia określanej przez kąt prowadzenia  $\alpha$  i kąt pochylenia  $\beta$ , na geometrię warstwy skrawanej. Wykazano, że na zmianę geometrii warstwy skrawanej istotnie wpływają dwa parametry, a mianowicie promień krzywizny powierzchni  $\rho_1$  oraz kąt prowadzenia  $\alpha$ .

Uzyskane wyniki badań symulacyjnych były punktem wyjścia do realizacji badań doświadczalnych, których celem było określenie wpływu tych istotnych parametrów, to jest promienia krzywizny powierzchni  $\rho_1$  oraz kąta prowadzenia  $\alpha$  na składowe siły skrawania i wybrane parametry 2D i 3D chropowatości powierzchni w procesie symultanicznego pięcioosiowego frezowania frezem toroidalnym. Na podstawie przeprowadzonej analizy statystycznej i otrzymanych zależności opracowano koncepcję metody sterowania kątem prowadzenia  $\alpha$ , którą zweryfikowano doświadczalnie na przykładzie obróbki powierzchni pióra łopatki turbiny.

W badaniach weryfikacyjnych wykazano, że opracowany algorytm doboru kąta prowadzenia  $\alpha$ , w symultanicznej pięcioosiowej obróbce pióra łopatki turbiny, umożliwia zwiększenie dokładności geometrycznej wykonania powierzchni o około 30%, w stosunku do obróbki bez zastosowania przedmiotowego algorytmu. Podobny rezultat uzyskano mierząc wybrane parametry 2D i 3D chropowatości powierzchni, które także uległy znacznej poprawie i równomiernemu rozkładowi.

Rozprawę zakończono przedstawiając wnioski końcowe oraz propozycję dalszych prac badawczych w zakresie symultanicznego pięcioosiowego frezowania powierzchni złożonych.

PhD THESIS ABSTRACT

**Process of simultaneous five-axis milling of sculptured surfaces  
of the toroidal cutter**

**Author:** MSc Eng. Michał Gdula

**Supervisor:** DSc PhD Eng. Jan Burek, prof. RUT

**Assistant Supervisor:** PhD Eng. Łukasz Żyłka

In this work were performed analysis of the process of simultaneous 5-axis milling sculptured surfaces of the toroidal cutter.

The aim of the dissertation was to determine the effect of the toroidal cutter axis orientation (lead angle  $\alpha$  and tilt angle  $\beta$ ) and the geometric parameters of machined sculptured surfaces (radii of curvatures), in the process of simultaneous 5-axis milling, on the accuracy of contour shape and quality of the curved surface after 5-axis machined.

The utilitarian aim of the work was to develop a method of controlling of the toroidal cutter axis orientation depending on the surface curvature.

In the first part of this work presents of literature review in the area of modeling and machining of the sculptured surfaces. In particular, attention was drawn to the process of simultaneous 5-axis milling of the toroidal cutter. Analyzed the impact of geometry of the cut layer and the cutting force on the accuracy of 5-axis machining.

In the next part of the work describes the realization of simulation research. These studies was carried out in the CAD/CAM environment. Determined the significance of the effect of the surface curvatures and toroidal cutter axis orientation on the geometry of the cut layer. It has been shown that changes in the geometry of the cut layer significantly affect two parameters, namely the radius of surface curvature  $\rho_l$  and the lead angle  $\alpha$ .

The results of simulation studies were the starting point to the realization experimental research. The aim of the of this study was to determine the impact of these important parameters, it is the radius of the surface curvatures  $\rho_l$  and the lead angle  $\alpha$ , on the components of the cutting force and selected parameters 2D and 3D surface roughness in the process of simultaneous 5-axis milling of the toroidal cutter. On the basis of statistical analysis and the obtained dependences was developed steering method an lead angle  $\alpha$ , which was verified experimentally in the machining of the turbine blade.

In the verification tests been shown that the developed algorithm for selecting the lead angle  $\alpha$ , allows to increase the accuracy of machining by approximately 30%, compared to the machining without the use of this algorithm. A similar result was obtained by measuring selected parameters 2D and 3D surface roughness, which also improved significantly and even distribution.

Dissertation completed providing final conclusions and a proposal for further research in the area simultaneous 5-axis milling sculptured surfaces.