Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym
Modern material technologies in aerospace industry

INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ
ROZWOJU REGIONALNEGO

KONFERENCJA
RADY PARTNERÓW CZT AERONET
i PANELE EKSPERTÓW
9-10 Grudnia 2013

ZB 2

Modelowanie, konstruowanie i kontrolowanie procesu HSM z uwzględnieniem skonfigurowanego układu maszyna- przyrząd-detal

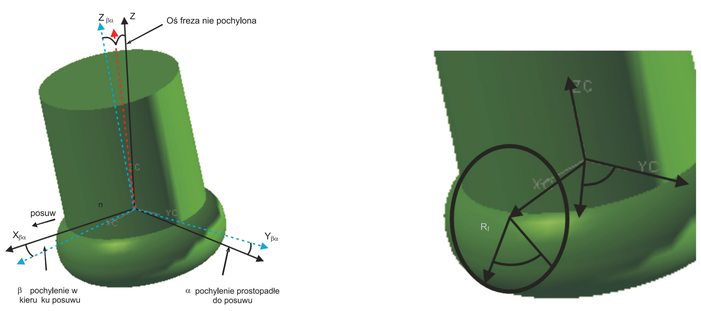
Modeling, construction and control of the HSM process taking into consideration the configurated machine-instrument-detail system

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska

Wyniki badań
Results

Jednoczesne 5-osiowe frezowanie dzięki dwóm dodatkowym osiom obrotowym pozwala na takie projektowanie toru ruchu narzędzia które zapewnia zwiększenie wydajności obróbki przy zachowaniu zakładanych tolerancji. Efektywny kształt freza może być określany przez wybór jego geometrii jak również przez odpowiednie pozycjonowanie osi freza względem powierzchni obrabianej. W pracy przedstawiono warunki styki narzędzia z przedmiotem obrabianym podczas obróbki powierzchni krzywoliniowych. Analizy przeprowadzone zostały dla narzędzia torusowego którego kształt pozwala na uzyskanie dużych dosuwów promieniowych ae. Na podstawie przeprowadzonych analiz określono zależności pomiędzy kształtem powierzchni obrabianej i ustawieniem osi narzędzi względem powierzchni obrabianej.

Simultaneous 5-axis milling due to 2 additional rotational axis allows to generate toolpath which keep assumed dimentional tolerance and increase productivity as well. Effective tool shape is defined by either itself geometry or tool positioning in reference to cutting surface. At this poster presented condition of tool contact point with workpiece surface depicted as a free form. All analyses were carried out on torus tool shape which is suitable for increasing radial tool engage. Based on research work conditions between workpiece shape and tool axis positioning were defined.



Rys.1. Opis geometrii i pochyleń osi narzędzia torusowego
Fig.1. Geometry definition and tool axis inclinations

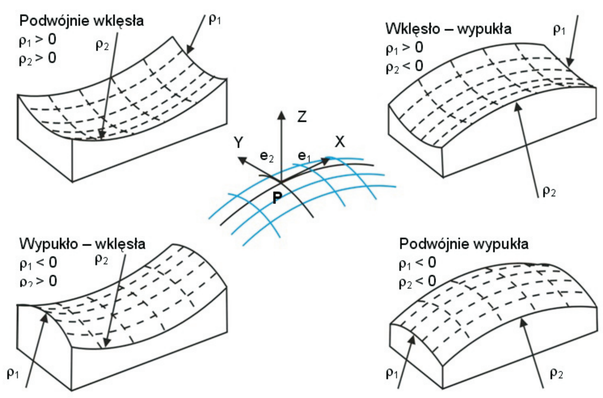
Warunki styku pomiędzy narzędziem a przedmiotem obrabianym zostały wyznaczone poprzez analizę geometrii narzędzia i p.o. oraz pochylenia osi freza względem normalnej do powierzchni w punkcie styku. Razem z parametrami technologicznymi procesu, warunki styku narzędzie-przedmiot obrabiany decydują o wydajności obróbki

$$Q_A = a_e \cdot v_f = a_e \cdot f_z \cdot z \cdot n$$

gdzie, ae- dosuw promieniowy
vf- prędkość posuwu
fz- posuw na ostrze
z- liczba ostrzy
n- prędkość obrotowa narzędzia

Rodzaje analizowanych powierzchni.

Do prowadzonych analiz wybrano 4 typy powierzchni. Wybrane powierzchnie opisane są za pomocą krzywizny k (odwrotności promienia okręgu ściśle stycznego) w dwóch prostopadłych do siebie kierunkach, wzdłuż których krzywizna przyjmuje wartości ekstremalne. Istnieją zawsze dwa lub nieskończenie dużo (kula i płaszczyzna) kierunki których krzywizna przyjmuje wartości ekstremalne . Przyjęto znak ujemny dla krzywizny wypukłej, znak dodatni dla krzywizny wklęsłej. Celem 5-osiowego pozycjonowania narzędzia podczas frezowania powierzchni krzywoliniowych jest zapewnienie optymalnego przylegania konturu freza do obrabianej powierzchni oraz zapobieganiu kolizji (w sensie podcięć).



Rys.2. Rodzaje analizowanych powierzchni
Fig.2. Types of analyzed surfaces

Algorytm wykluczający kolizję narzędzia i powierzchni obrabianej.

Do wyznaczenia ustawienia freza w sposób wykluczający możliwość kolizji narzędzia z przedmiotem obrabianym zaproponowano wykorzystanie sfery o promieniu R. We wnętrzu sfery znajduje się czynny zarys narzędzia, punkt styku narzędzia i p.o. należy do sfery i zarys narzędzia jest styczny do sfery.

Promień sfery R obliczony jest za pomocą równania:

$$R = \frac{R_f - r_p}{\sin(\beta)} + r_p$$

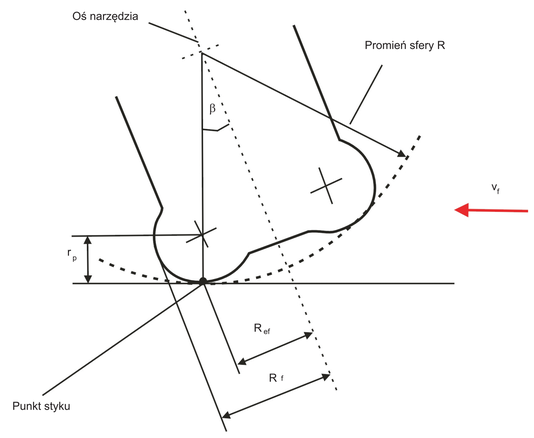
gdzie, rp- promień płytki skrawającej
b- kąt pochylenia osi narzędzia w kierunku posuwu
Rf- promień freza

Kolizja narzędzia z powierzchnią obrabianą nie zachodzi jeżeli spełniony jest warunek:

$$R \le \rho_1, \rho_2$$

gdzie, ρ1, ρ2 - najmniejszy promień krzywizny wklęsłej

Powyższy warunek musi być spełniony dla konturów wklęsłych (dla których krzywizna na znak dodatni). Dla konturów wypukłych kolizja nie występuje.



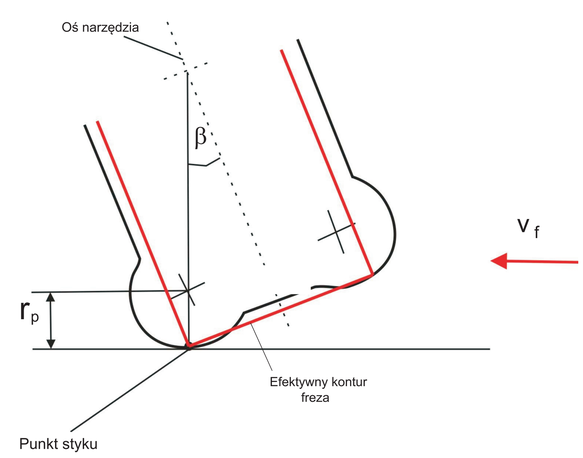
Rys.3. Schemat wykrywania kolizji narzędzia z przedmiotem obrabianym
Fig.3. Collision detection scheme between tool and workpiece

Dosuw promieniowy

Zaprojektowana w systemie CAD powierzchnia krzywoliniowa może być poprzez obróbkę jedynie przybliżona do kształtu „idealnego". Dlatego celem obróbki wykończeniowej jest osiągnięcie takiego kształtu powierzchni który mieści się w założonej tolerancji przy równoczesnym minimalizowaniu czasu obróbki. Teoretyczna wysokość chropowatości w kierunku posuwu zależy od promienia płytki skrawającej rp oraz posuwu na ostrze fz.
Lokalna geometria konturu powierzchni obrabianej nie musi być uwzględniana jeżeli promień ostrza skrawającego rp jest znacznie mniejszy od promienia krzywizny (rp<<ρ). W przypadku teoretycznej chropowatości wyznaczonej prostopadle do kierunku posuwu decydujące znaczenie ma przyleganie konturu powierzchni obrabianej do efektywnego konturu freza.

Efektywny kontur freza

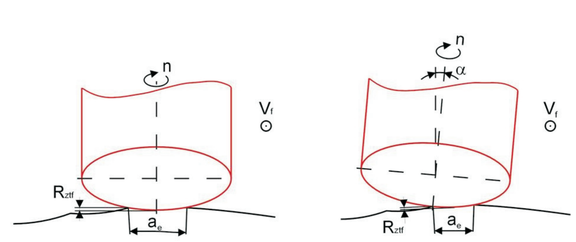
Efektywny kontur freza wyznaczony jest przez obrót punktu styku narzędzia i przedmiotu obrabianego wokół pochylonej o kąt b osi narzędzia (). Obok geometrii freza (promień freza i promień płytki skrawającej) pochylenie osi freza w kierunku posuwu (kąt b) ma decydujące znaczenie dla osiąganych dosuwów promieniowych narzędzia ae.



Rys.4. Wyznaczenie efektywnego konturu freza
Fig.4. Effective tool outline definition

Aby określić wpływ parametrów geometrycznych na możliwe do osiągnięcia dosuwy promieniowe ae dla wybranych powierzchni krzywoliniowych opracowano program w środowisku NX7.5. Program na podstawie danych wejściowych:

- promieni konturów powierzchni obrabianej ρ1, ρ2
- promienia freza Rf i promienia ostrza skrawającego rp
- kąta pochylenia β i kąta pochylenia α
- teoretycznej wysokości chropowatości w kierunku prostopadłym do posuwu
, pozwala na wyznaczenie maksymalnego dosuwu promieniowego ae.

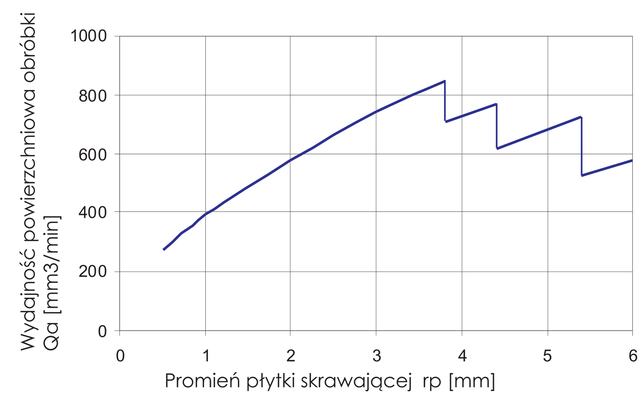


Rys.5. Dosuw promieniowy a) bez pochylenia o kąt α b) z pochyleniem o kąt α
Fig.5. Radial engagement a) without lead angle α b) with lead angle α

Wydajność powierzchniowa obróbki

Wydajność powierzchniowa obróbki Qa przedstawia pole powierzchni obrobionej w jednostce czasu i definiowana jest jako iloczyn dosuwu promieniowego ae oraz prędkości posuwu vf

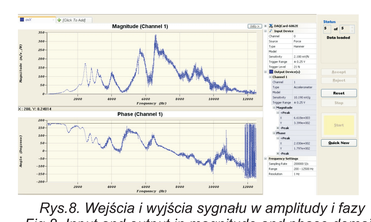
Do obliczenia wydajności powierzchniowej obróbki przyjęto prędkość skrawania vc=200[m/min], promień freza Rf=20[mm], kąt pochylenia w kierunku prostopadłym do posuwu a=0[o], teoretyczną wysokość chropowatości Rzt=10[mm]. Obliczenie prędkości obrotowej narzędzia n uwzględnia promień efektywnego konturu freza.



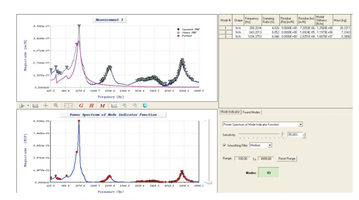
Rys.6. Wpływ promienia płytki skrawającej rp na wydajność powierzchniową obróbki QA
Fig.6. Cutting insert radius rp influence on surface produtivity QA

Badania eksperymentalne
Experimental research

Rys.7. Wejścia i wyjścia sygnału w dziedzinie czasu
Fig.7. Input and output in time domain



Rys.8. Wejścia i wyjścia sygnału w amplitudy i fazy
Fig.8. Input and output in magnitude and phase domain



Rys.9. Postacie modalne sygnału
Fig.9. Modal analysis

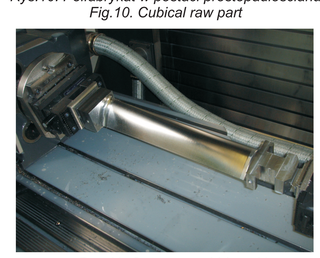
Stabilność procesu 5-osiowego frezowania można zbadać za pomocą metodyki opartej na wykreśleniu tzw. krzywej workowej. Metoda uwzględnia ch-kę procesu, obrabiarki oraz uchwytu obróbkowego.

Stability of 5-axis milling might be easily conduct by ploting stability lobe curve. The method considers process characteristics, machine tool and fixture as a inputs for stability area definition.

Part to machining: Turbine blade

Material: CRES 430C
Tool: Sandvik R300–012A16L–07L
Feedrate: 0,04 [mm/flute]
Teeth: 4
Radius: 12 [mm]
Length: 32 [mm]
Helix: 30 [deg]
Rake: 5 [deg]
Lead angle: 4[deg]
Tilt angle: 0.5[deg]
Machine tool: DMU 100 monoBlock
CAM: NX7.5

Rys.10. Półfabrykat w postaci prostopadłościanu
Fig.10. Cubical raw part



Rys.11. Gotowa część łopatki
Fig.11. Finished turbine blade

Wnioski
Conclusions

Właściwy dobór parametrów geometrycznych procesu 5-osiowego frezowania powierzchni krzywoliniowych można podsumować w następujący sposób:
- promień płytki skrawającej rp należy maksymalizować do wartości przy której konieczne będzie zwiększenie średnicy narzędzia lub zmniejszenie liczy ostrzy,
- zwiększanie średnicy narzędzia jest sensowne tylko gdy równocześnie zwiększana jest liczba ostrzy narzędzia.

Proper selection of geometric features during 5-axis milling of free-form surfaces might be wrap-up as follow:
- radius of cutting inserts should be maximize up to boundary value where increasing tool diameter or decreasing number of inserts are requested,
- increasing tool diameter is reasonable with increasing number of inserts simultaneously only.

Przykłady zastosowania w lotnictwie
Examples of application in aviation

Wieloosiowe frezowanie z wykorzystaniem narzędzi torusowych jest wykorzystywane w przemyśle lotniczym do obróbki powierzchni krzywoliniowych kompresorów silników turbinowych oraz łopatek turbiny wysokiego ciśnienia.

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym
Collaboration with aviation industry

Wieloosiowe frezowanie z wykorzystaniem narzędzi torusowych jest wykorzystywane w firmie HAMILTON SUNDSTRAND do obróbki powierzchni krzywoliniowych kompresorów silnika APU oraz łopatek turbiny wysokiego ciśnienia.

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO