

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

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

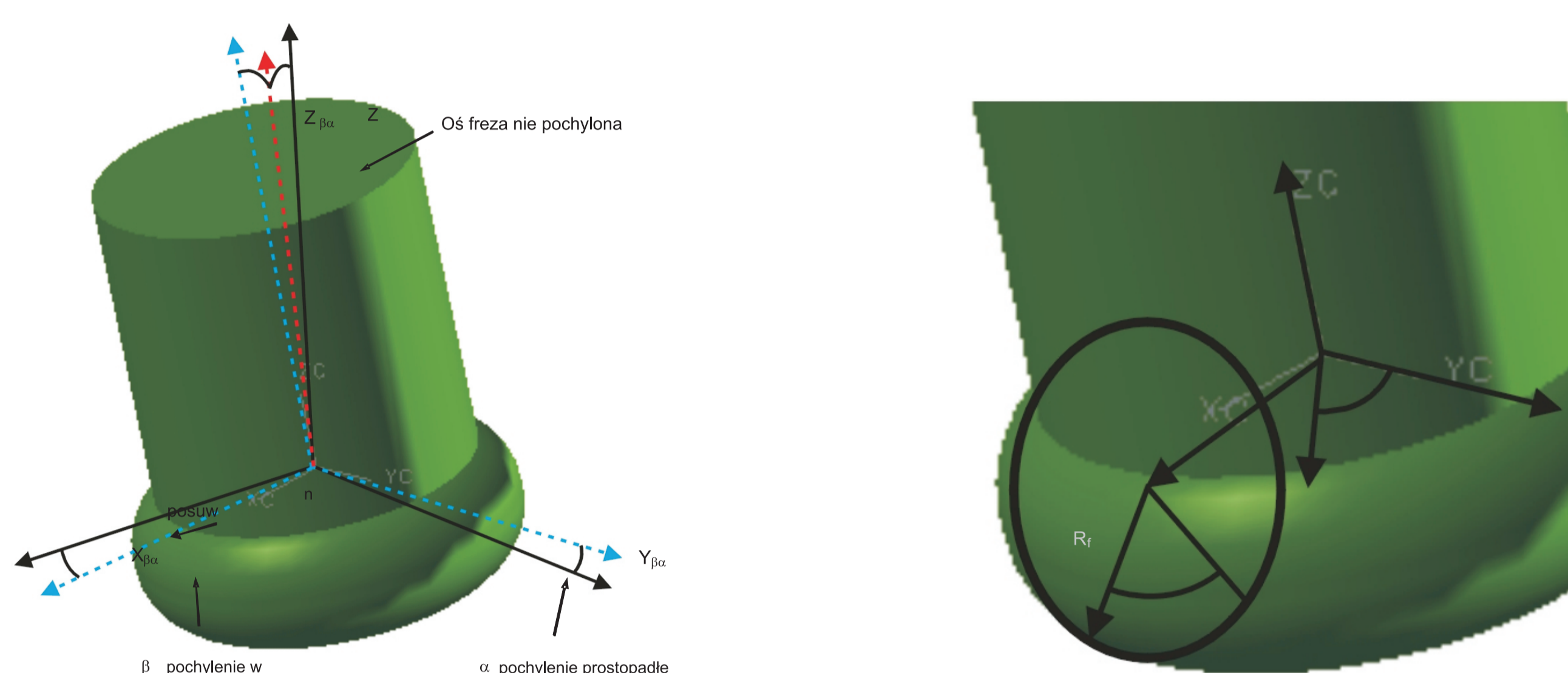
Modeling, construction and control of the HSM process taking into consideration the configured machine-instrument-detail system

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 styku narzędzia z przedmiotem obrabianym podczas obróbki powierzchni krzywoliniowych. Analizy przeprowadzone zostały dla narzędzia torusowego którego kształt pozwala na uzyskanie dużych dosuwów promieniowych a_e . Na podstawie przeprowadzonych analiz określono zależności pomiędzy kształtem powierzchni obrabianej i ustawieniem osi narzędzia względem powierzchni obrabianej.

Simultaneous 5-axis milling due to 2 additional rotational axis allows to generate toolpath which keep assumed dimensional 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.



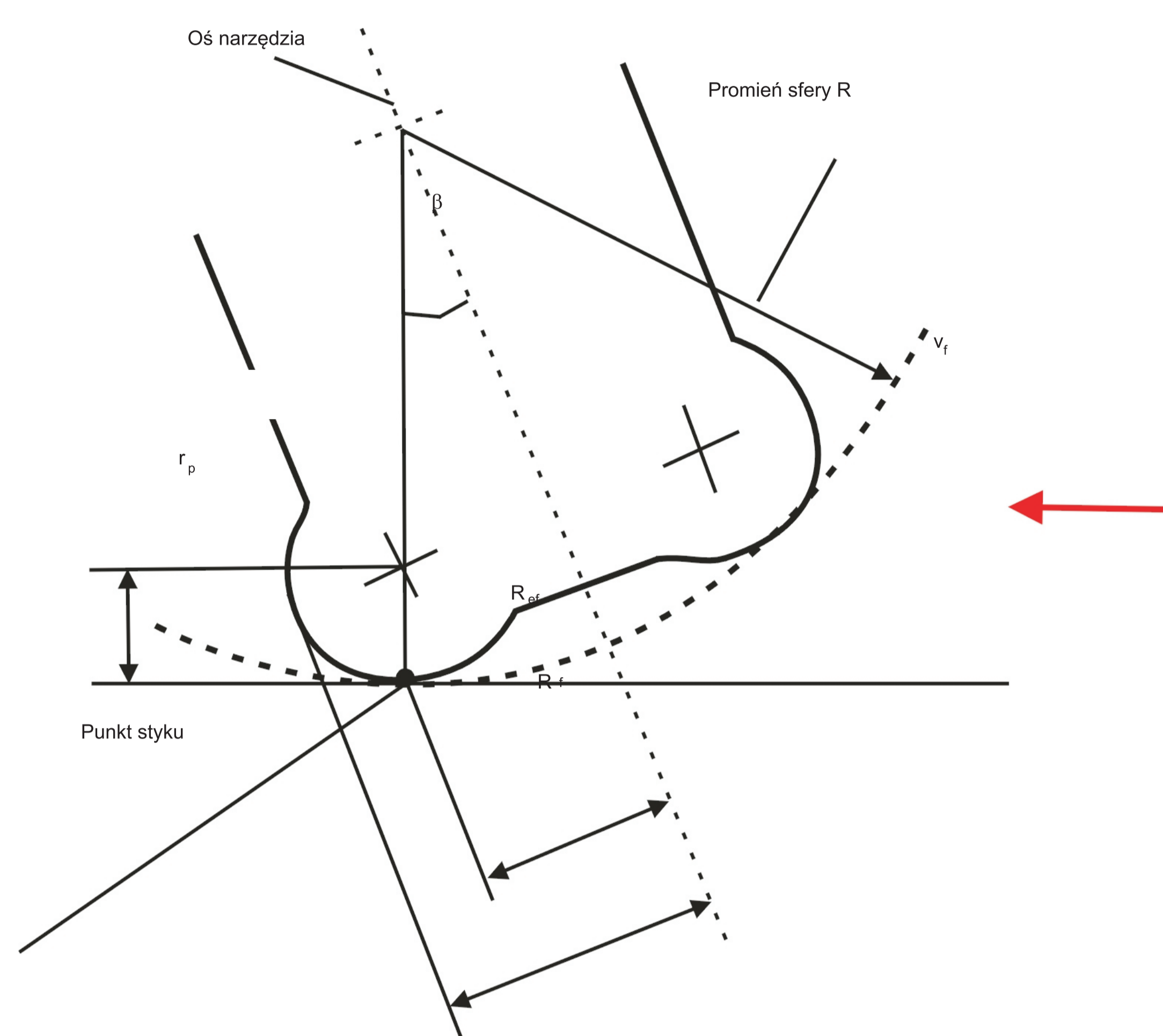
Rys. 1. Opis geometrii i pochylenia osi narzędzia torusowego
Fig. 1. Geometry definition and tool axis inclinations

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

$$R \leq \rho_1, \rho_2$$

gdzie, ρ_1, ρ_2 - najmniejszy promień krzywizny wklęsłej

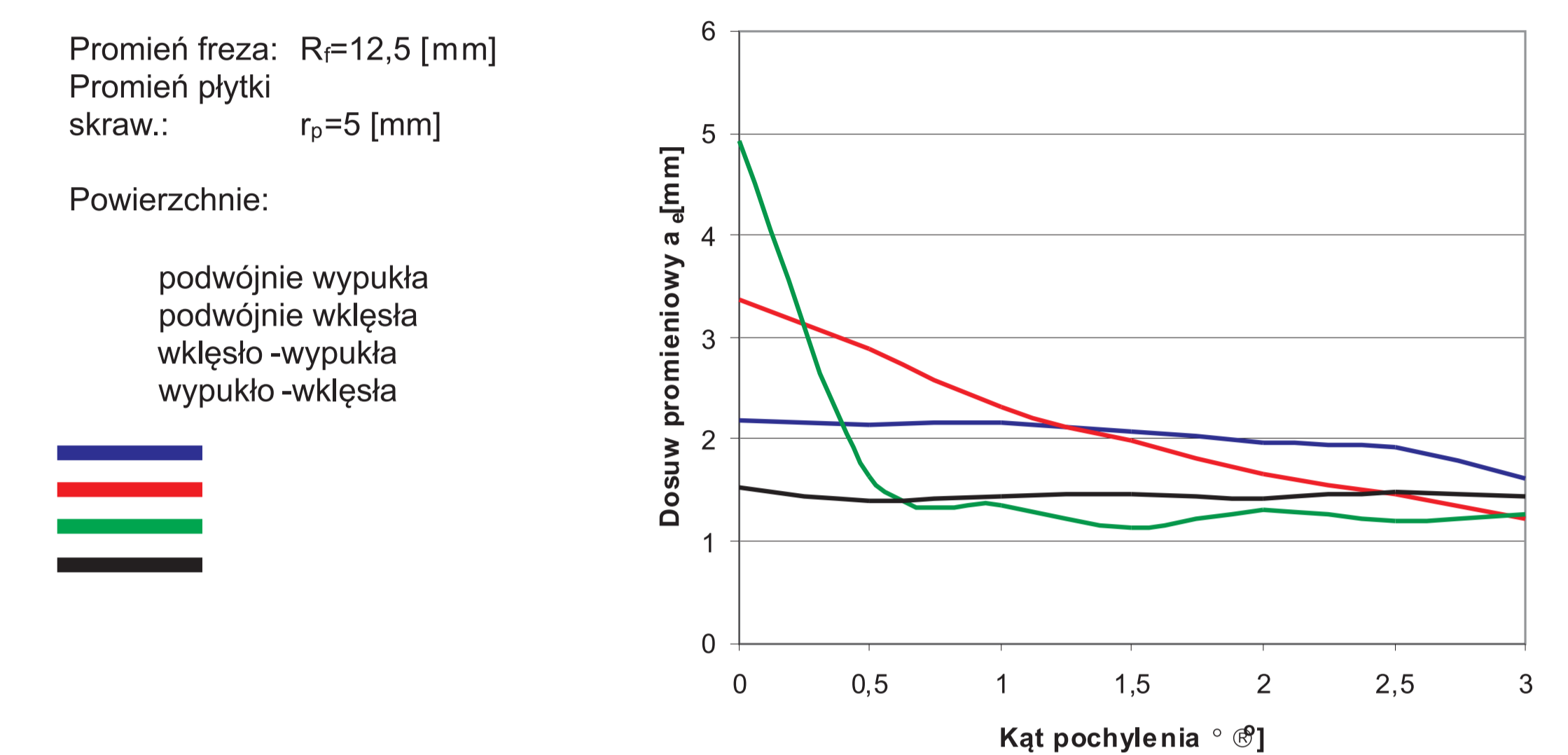
Powyższy warunek musi być spełniony dla konturów wklęsłych (dla których krzywizna na znak dodatni). Dla konturów wypukłych kolizja nie występuje.



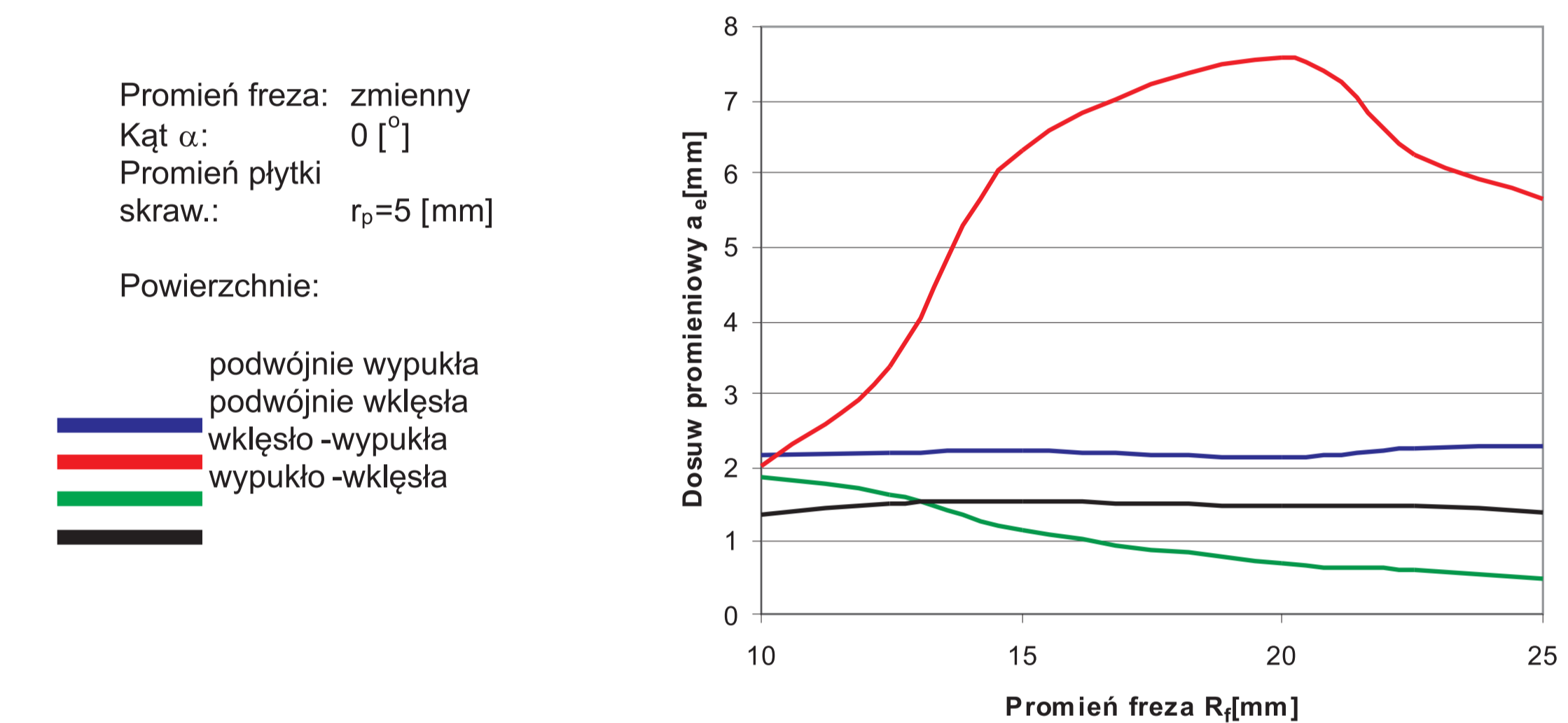
Rys. 3. Schemat wykrywania kolizji narzędzia z przedmiotem obrabianym
Fig. 3. Collision detection scheme between tool and workpiece

Wpływ parametrów geometrycznych procesu na dosuw promieniowy

Przedstawiono wpływ kąta pochylenia osi freza w kierunku prostopadłym do posuwu na wielkość dosuwu promieniowego dla 4 wybranych powierzchni. Do analizy założono teoretyczną wysokość chropowatości $Rz=5$ [mm]. Dla powierzchni podwójnie wklęsłej i wklęsło-wypukłej zwiększanie kąta pochylenia powoduje znaczne zmniejszenie dosuwu promieniowego. Ponadto dla powierzchni wklęsło-wypukłej dla kąta pochylenia $\alpha=0$ występują dwa punkty styku narzędzia i p.o. Niewielkie wychylenia o kąt α dla powierzchni podwójnie wypukłych i wypukło-wklęsłych nie wpływa znacząco na zmianę dosuwu promieniowego, tym samym nie zmniejsza wydajności procesu



Rys. 6. Wpływ kąta pochylenia freza α na dosuw promieniowy a_e dla wybranych powierzchni
Fig. 6. Lead tool axis angle influence on radial engage for selected surface types



Rys. 7. Wpływ promienia krzywizny ρ_2 na dosuw promieniowy a_e dla wybranych powierzchni
Fig. 7. Radial curvature ρ_2 influence on radial engage for selected surface types

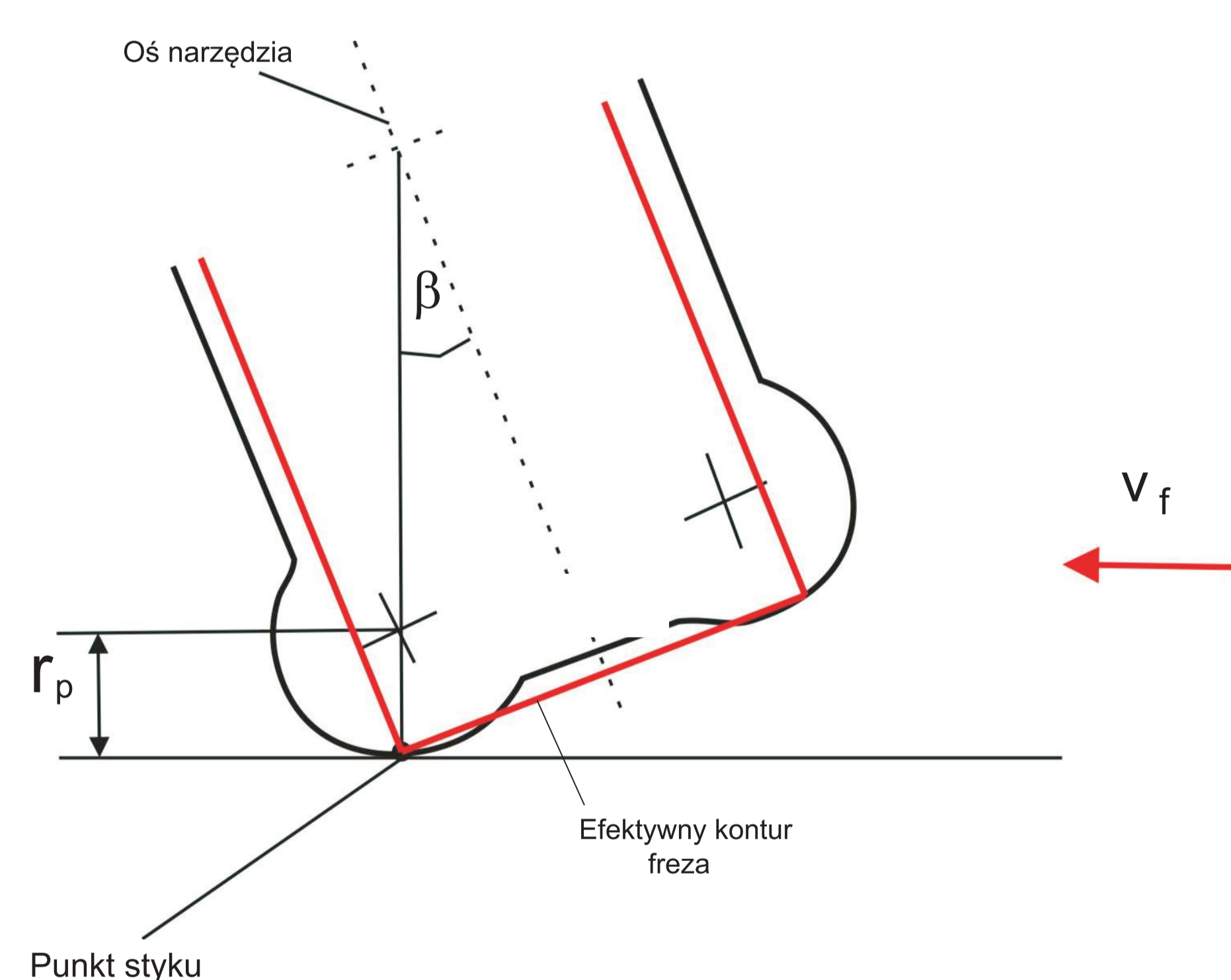
Dosuw promieniowy

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 r_p oraz posuwu na ostrze f_z .

Lokalna geometria konturu powierzchni obrabianej nie musi być uwzględniana jeżeli promień ostrza skrawającego r_p jest znacznie mniejszy od promienia krzywizny ($r_p \ll \rho$). W przypadku teoretycznej chropowatości wyznaczonej prostopadle do kierunku posuwu decydujące znaczenie ma przyleganie konturu powierzchni obrabianej do efektywnego konturu freza.

Efektywny kontur freza

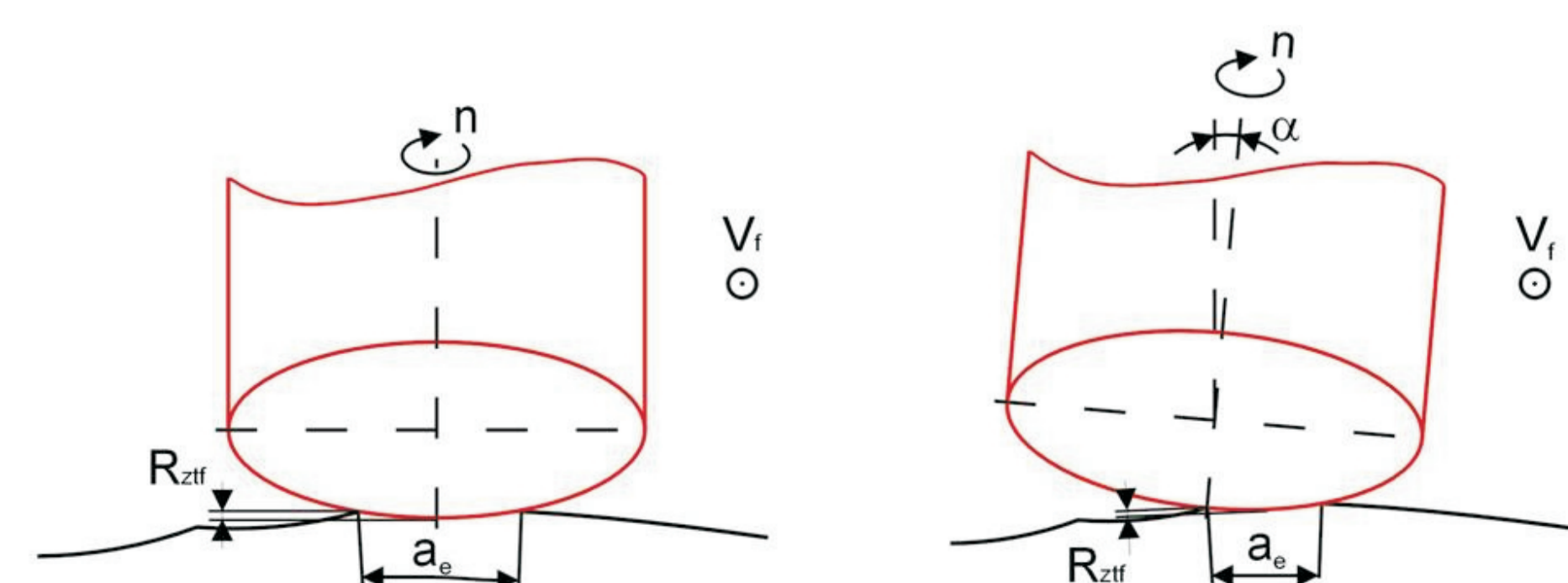
Efektywny kontur freza wyznaczony jest przez obrót punktu styku narzędzia i przedmiotu obrabianego wokół pochyłonej o kąt β osi narzędzia (β). Obok geometrii freza (promień freza i promień płytki skrawającej) pochylenie osi freza w kierunku posuwu (kąt β) ma decydujące znaczenie dla osiąganych dosuwów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



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

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

- promieni konturów powierzchni obrabianej ρ_1, ρ_2
- promienia freza R_f i promienia ostrza skrawającego r_p
- kąta pochylenia β i kąta pochylenia α
- teoretycznej wysokości chropowatości w kierunku prostopadłym do posuwu, pozwala na wyznaczenie maksymalnego dosuwu promieniowego a_e .



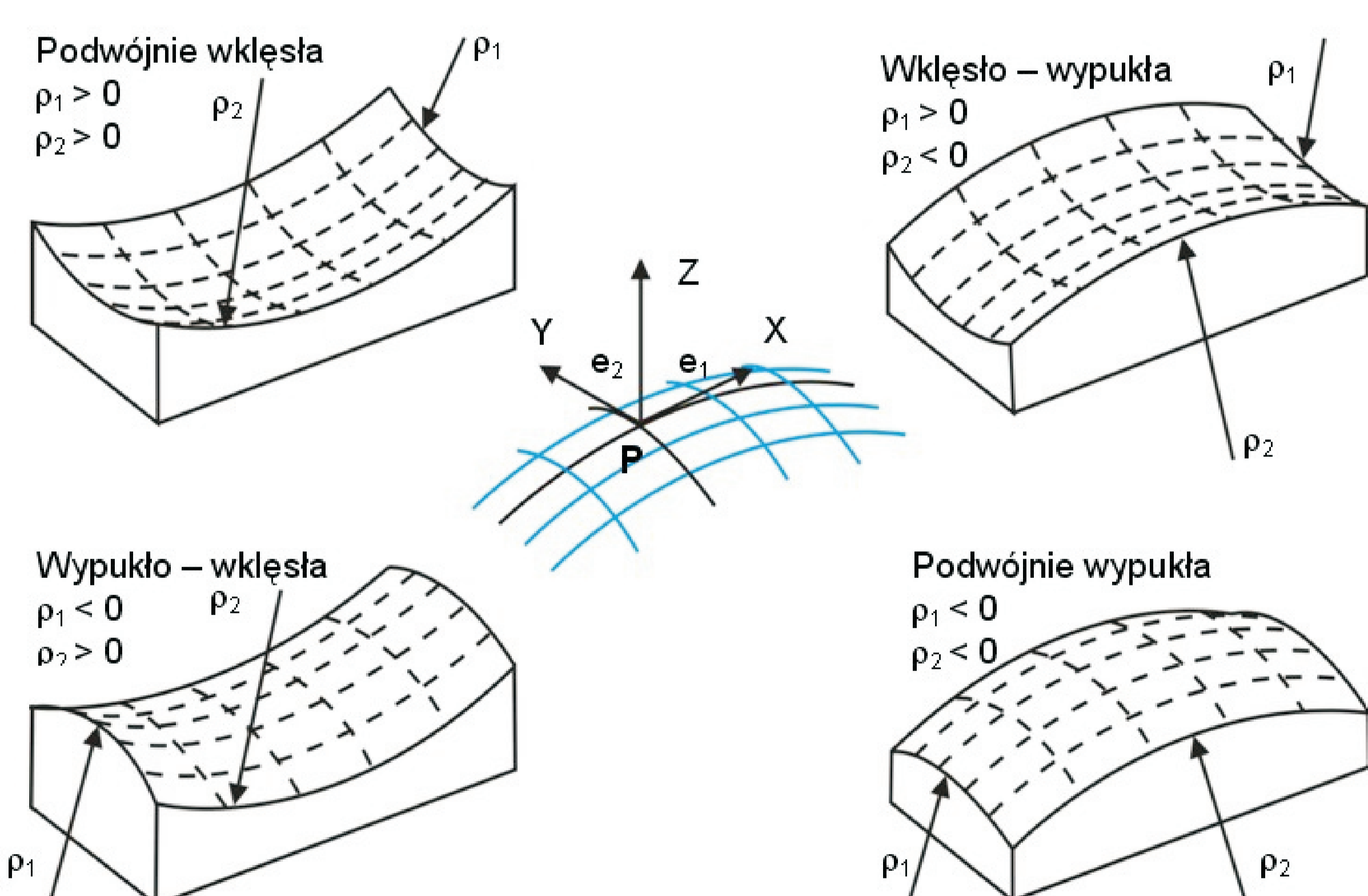
Rys. 5. Dosuw promieniowy a) bez pochylenia o kąt α . b) z pochyleniem o kąt α
Fig. 5. Radial engagement a) without lead angle α . b) with lead angle α

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

gdzie, a_e - dosuw promieniowy
 v_f - prędkość posuwu
 f_z - 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 (odwrótności promienia okręgu ściśle stykowego) 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:

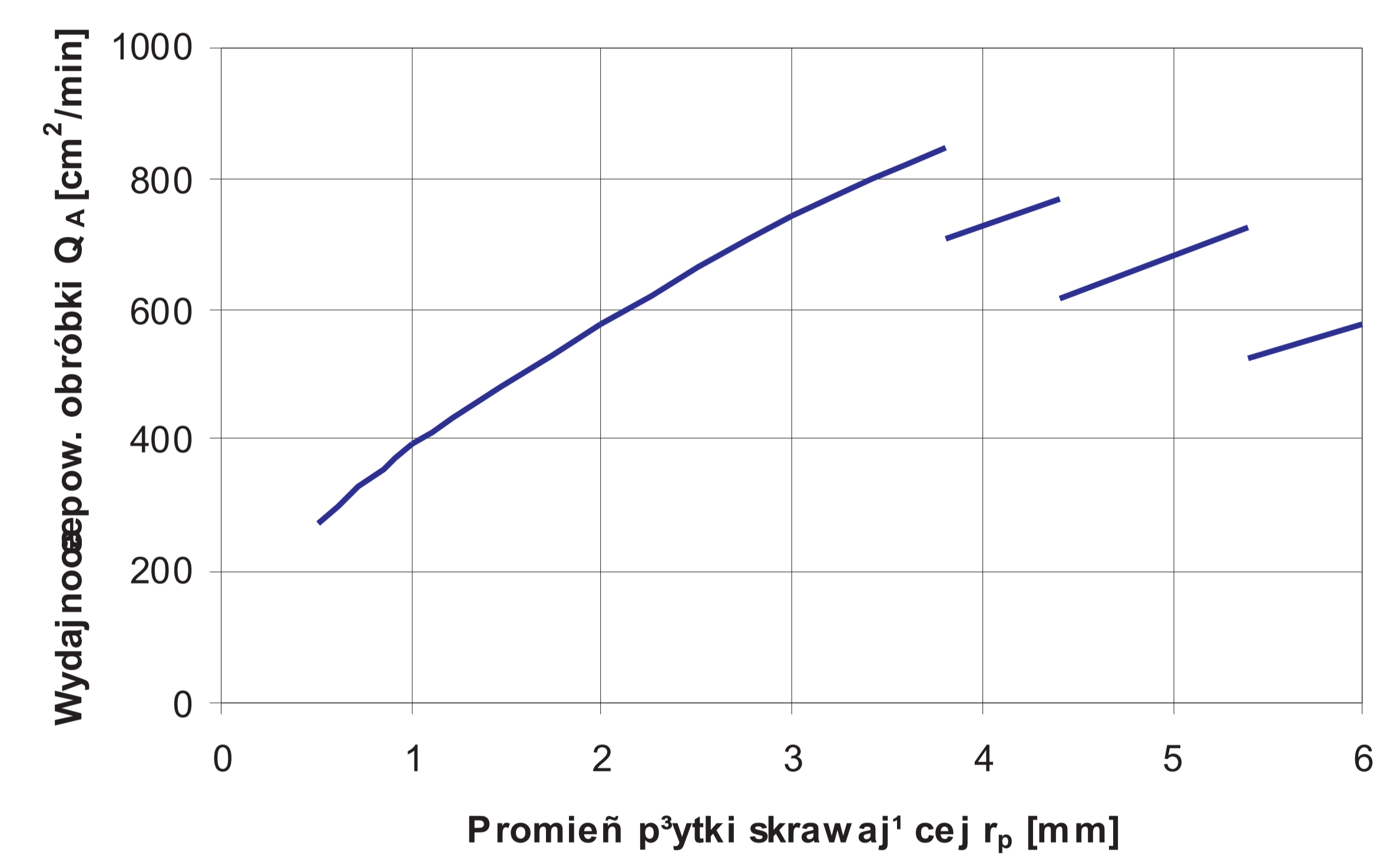
$$R = \frac{R_f - r_p}{\sin(\beta)} + r_p$$

gdzie, r_p - promień płytki skrawającej
 β - kąt pochylenia osi narzędzia w kierunku posuwu
 R_f - promień freza

Wydajność powierzchniowa obróbki

Wydajność powierzchniowa obróbki Q_A przedstawia pole powierzchni obrabianej w jednostce czasu i definiowana jest jako iloczyn dosuwu promieniowego a_e oraz prędkości posuwu v_f

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



Rys. 8. Wpływ promienia płytki skrawającej r_p na wydajność powierzchniową obróbki Q_A
Fig. 8. Cutting insert radius r_p influence on surface productivity Q_A

Wnioski Conclusions

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

Proper selection geometric features of 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

Wieloośiowe 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

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