

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-detale

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

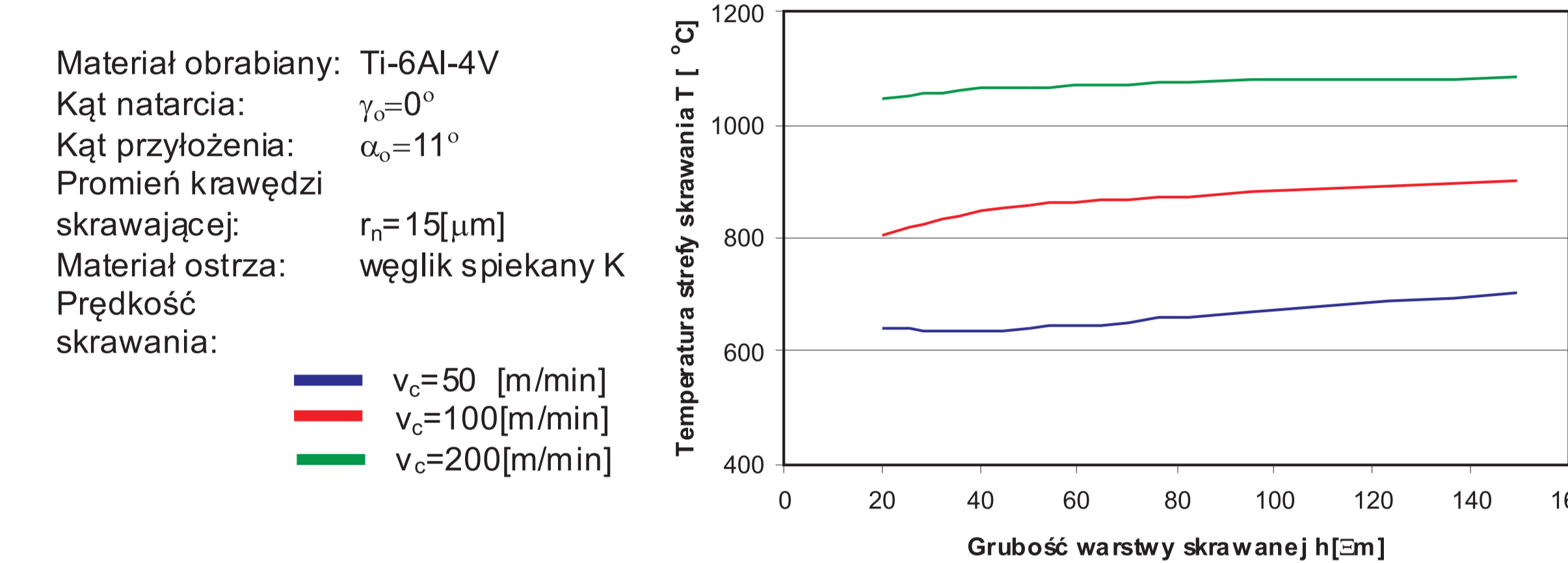
Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska

Wyniki badań Results

Numeryczna analiza procesu skrawania z wykorzystaniem oprogramowania AdvantEdge może odbywać się w przestrzeni dwu- (2D) lub trójwymiarowej (3D), zaś podział ciała oparty jest na opisie Lagrange'a. Model materiału obrabianego uwzględnia odkształcenia sprężysto-plastyczne a jego właściwości są funkcją temperatury. Analiza naprężeń mechanicznego i termicznego odbywa się w dwustopniowo: po izotermicznym kroku w którym odbywały się obliczenia naprężeń mechanicznych następuje wymiana ciepła w ciele sztywnym. Do analizy powstawania powierzchni szczególne znaczenie ma mechanizm rozdzielenia materiału obrabianego na wiór i pow. obrobioną.

Na rys. przedstawiono wpływ promienia krawędzi skrawającej ($r_v=5-50\mu\text{m}$) na przemieszczenie materiału obrabianego w strefie skrawania przedstawione w postaci linii prądu. Wraz z rosnącym promieniem krawędzi skrawającej rozdzielanie materiału na wiór i część obrobioną, ze względu na duży ujemny rzeczywisty kąt natarcia, odbywa się przyprawy liniowo rosnącej sile skrawania (po prawej u dołu). Zwiększenie promienia krawędzi skrawającej mocniej wpływa na składową posuwową F_f niż na składową styczną F_c siły skrawania. Ponadto zaobserwowano że wraz z rosnącym promieniem zaokrąglenia krawędzi skrawającej odkształcenie staje się bardziej jednorodne, co pozwala wnioskować poprawę jakości powierzchni obrobionej i jest zgodne z przedstawionym w rozdziale 2 stanem wiedzy. Stopień odkształcenie powierzchni obrobionej dla różnych wartości promienia krawędzi skrawającej (na przedstawiono kolorami) pozostaje na zbliżonym poziomie.

Wpływ grubości warstwy skrawanej na obciążenie ostrza oraz proces powstawania powierzchni obrobionej wymaga szczegółowego opisu geometrii warstwy skrawanej z zastosowaniem okrągłych płytek skrawających. Dlatego w kolejnym rozdziale opisano wpływ promienia płytki skrawającej r_p , posuwu na ostrze f_z oraz wielkości dosuwu a_p na geometrię warstwy skrawanej.

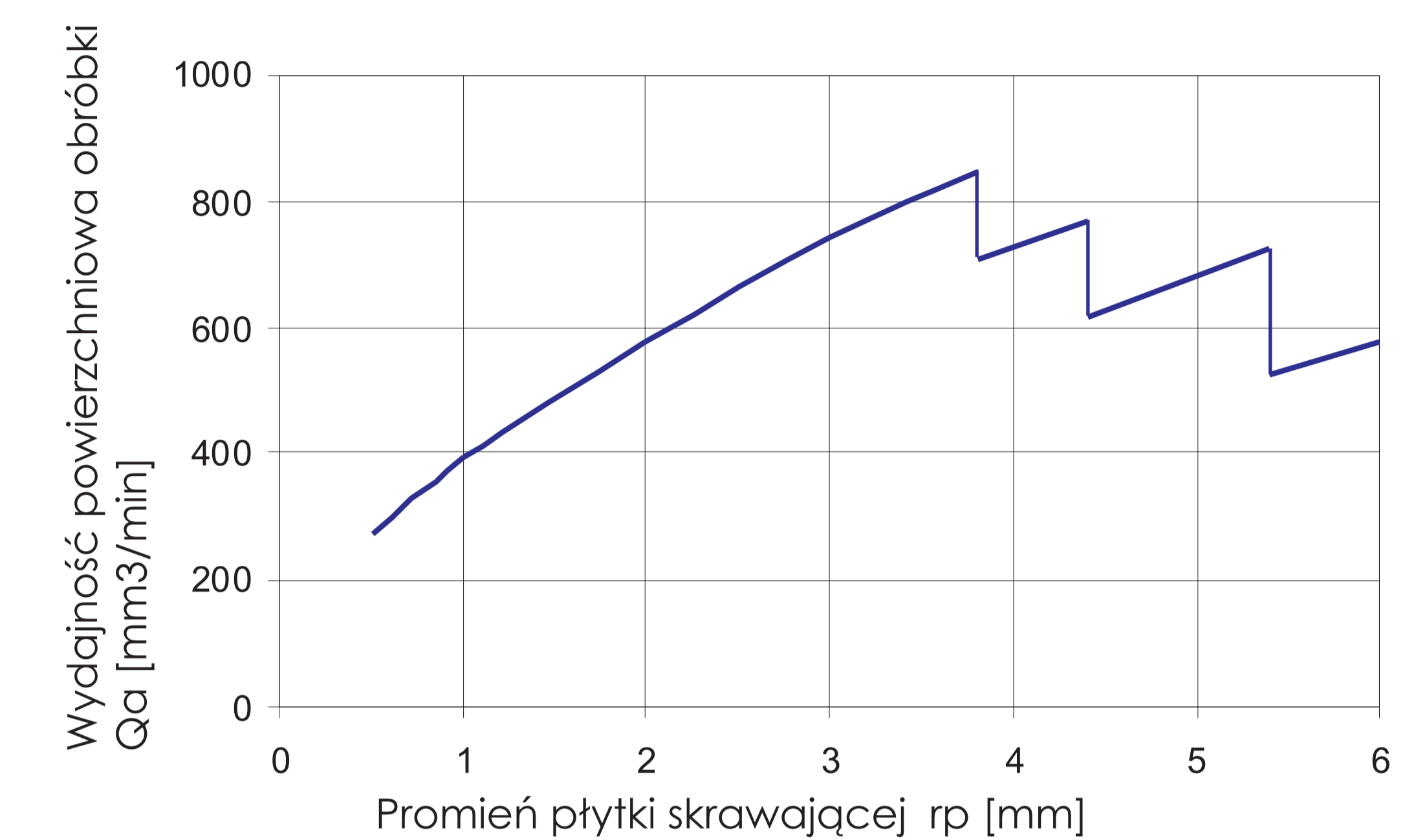


Rys.3. Wpływ grubości warstwy skrawanej na temperaturę strefy skrawania
Fig.3. Chip thickness influence on cutting zone temperature

Wydajność powierzchniowa obróbki

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

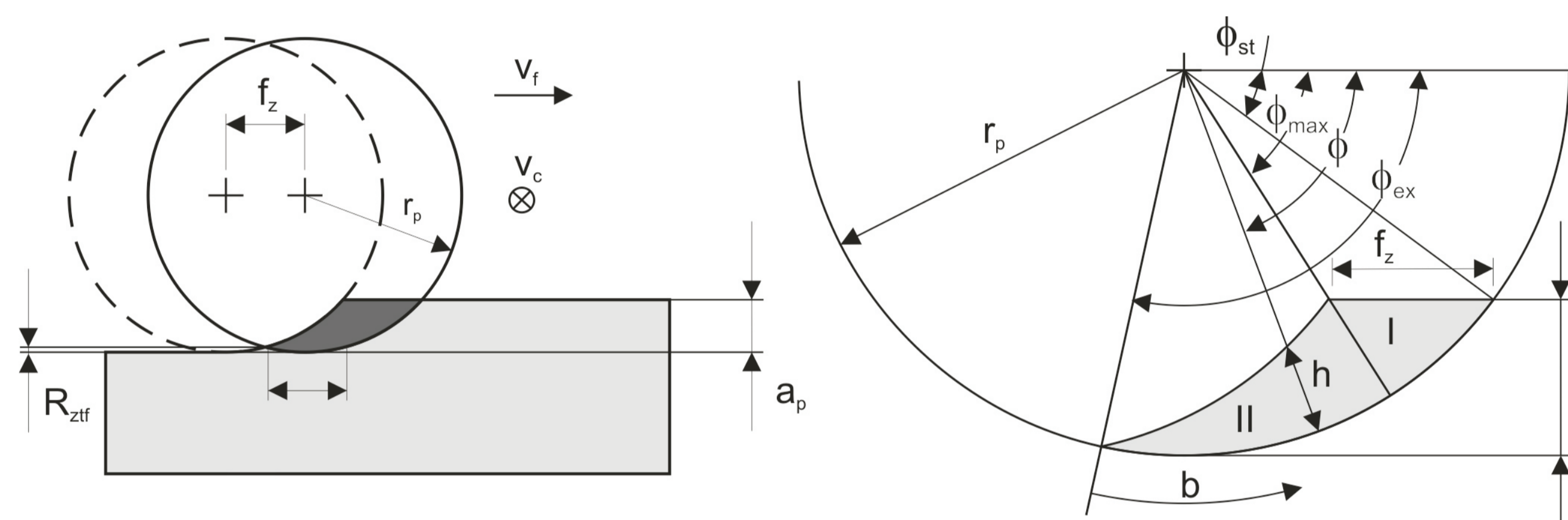
Do obliczenia wydajności powierzchniowej obróbki przyjęto prędkość skrawania $v_c=200\text{[m/min]}$, promień freza $R_f=20\text{[mm]}$, kąt pochylenia w kierunku prostopadłym do posuwu $\alpha=0\text{[o]}$, teoretyczną wysokość chropowatości $Rz_t=10\text{[mm]}$. Obliczenie prędkości obrotowej narzędzia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



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

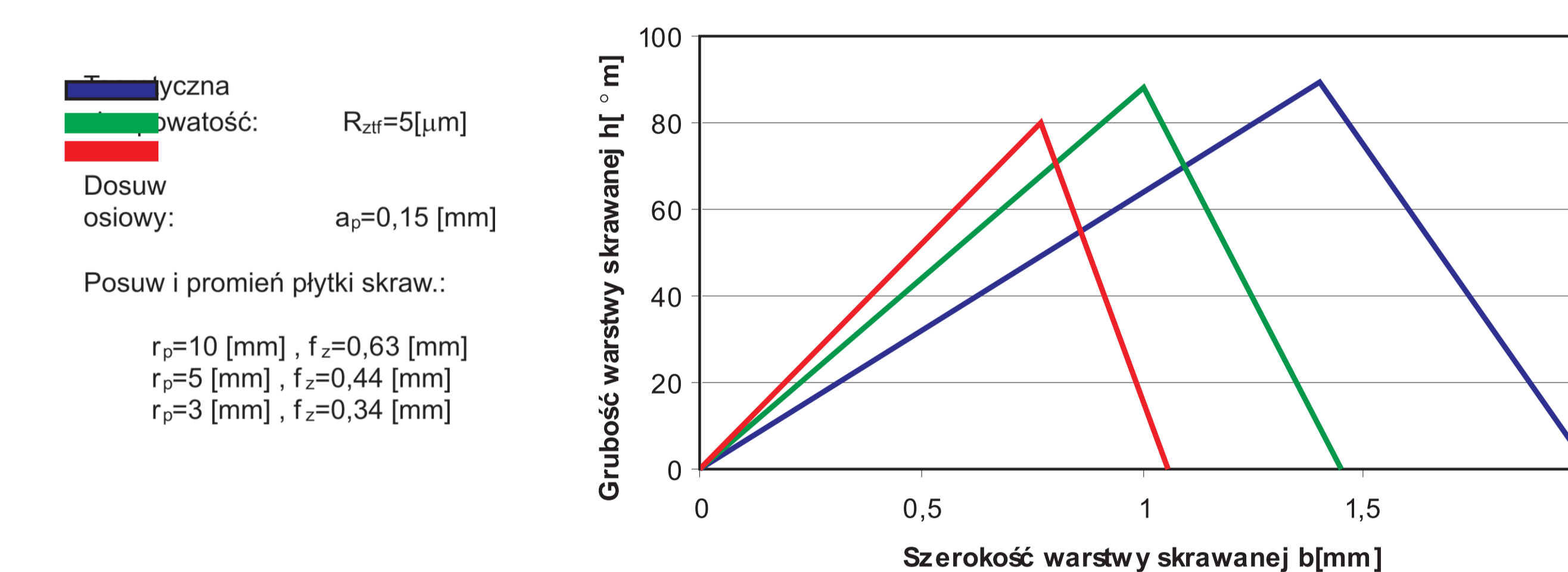
Geometria warstwy skrawanej

Podczas frezowania wykańczającego powierzchni krzywoliniowych frezem torusowym (lub kulistym) geometria warstwy skrawanej ma charakterystyczny kształt w której grubość warstwy skrawanej zmienia się wzdłuż krawędzi skrawającej. Na geometrię warstwy skrawanej wpływa promień płytki skrawającej r_p , posuw na ostrze f_z oraz dosuw osiowy a_p .



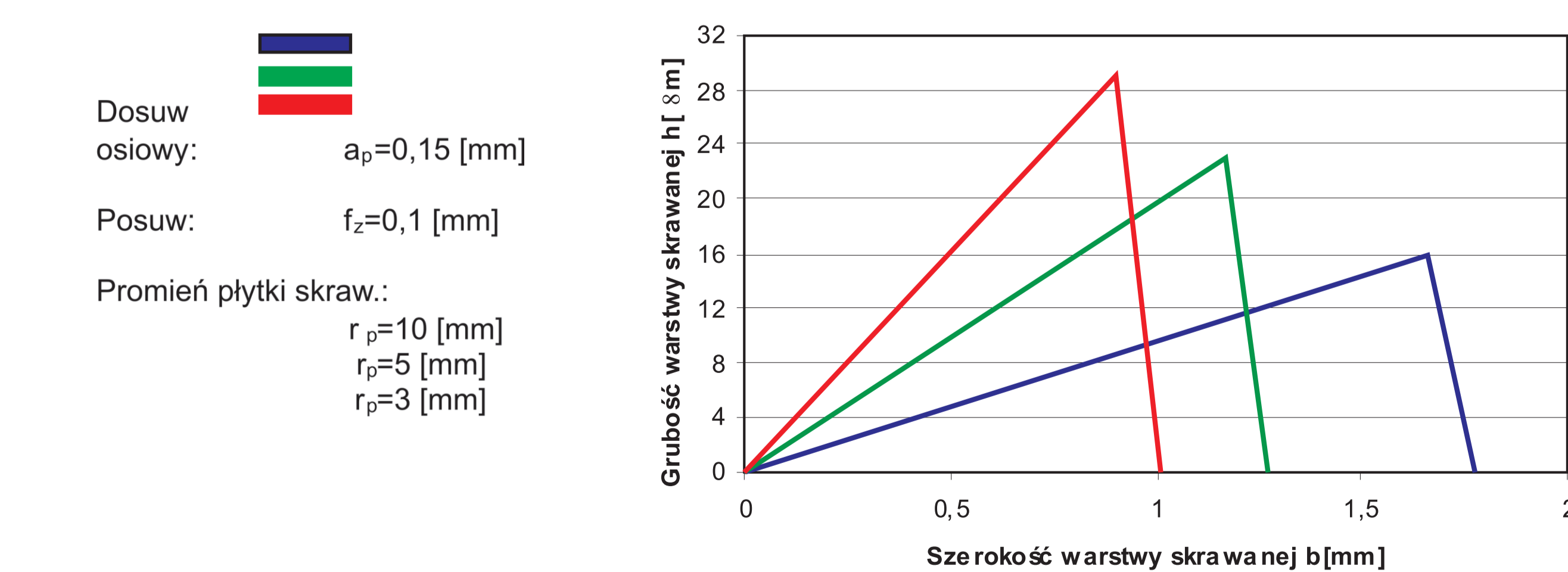
Rys.4. Geometria warstwy skrawanej dla frezów z płytką okrągłą
Fig.4. Geometry of cutting zone for cutters with circular insert

Na rys przedstawiono obliczone grubości warstwy skrawanej w funkcji szerokości warstwy skrawanej b (definicja na). Posuw na ostrze jest tak dobrany aby dla założonego promienia płytki skrawającej r_p , uzyskać stałą teoretyczną chropowatość $Rz_t=5\text{[mm]}$. Przedstawienie grubości warstwy skrawanej w funkcji szerokości warstwy skrawanej, zamiast kąta ϕ , pozwala na proste obliczenie pola powierzchni warstwy skrawanej. Pole powierzchni przekroju poprzecznego warstwy skrawanej A , odpowiada powierzchni pod krzywymi przedstawionymi na rys.



Rys.4. Grubość warstwy skrawanej w funkcji szerokości warstwy skrawanej przy stałej teoretycznej chropowatości Rz_t

Jeżeli teoretyczna wysokość chropowatości Rz_t nie jest utrzymywana na stałym poziomie, wtedy parametry procesu i geometrii narzędzia w znacznym stopniu wpływają na kształt przekroju poprzecznego warstwy skrawanej. Zwiększenie promienia płytki skrawającej r_p przy stałym posuwie f_z powoduje zwiększenie szerokości warstwy skrawanej b przy zachowaniu stałego pola przekroju warstwy skrawanej A



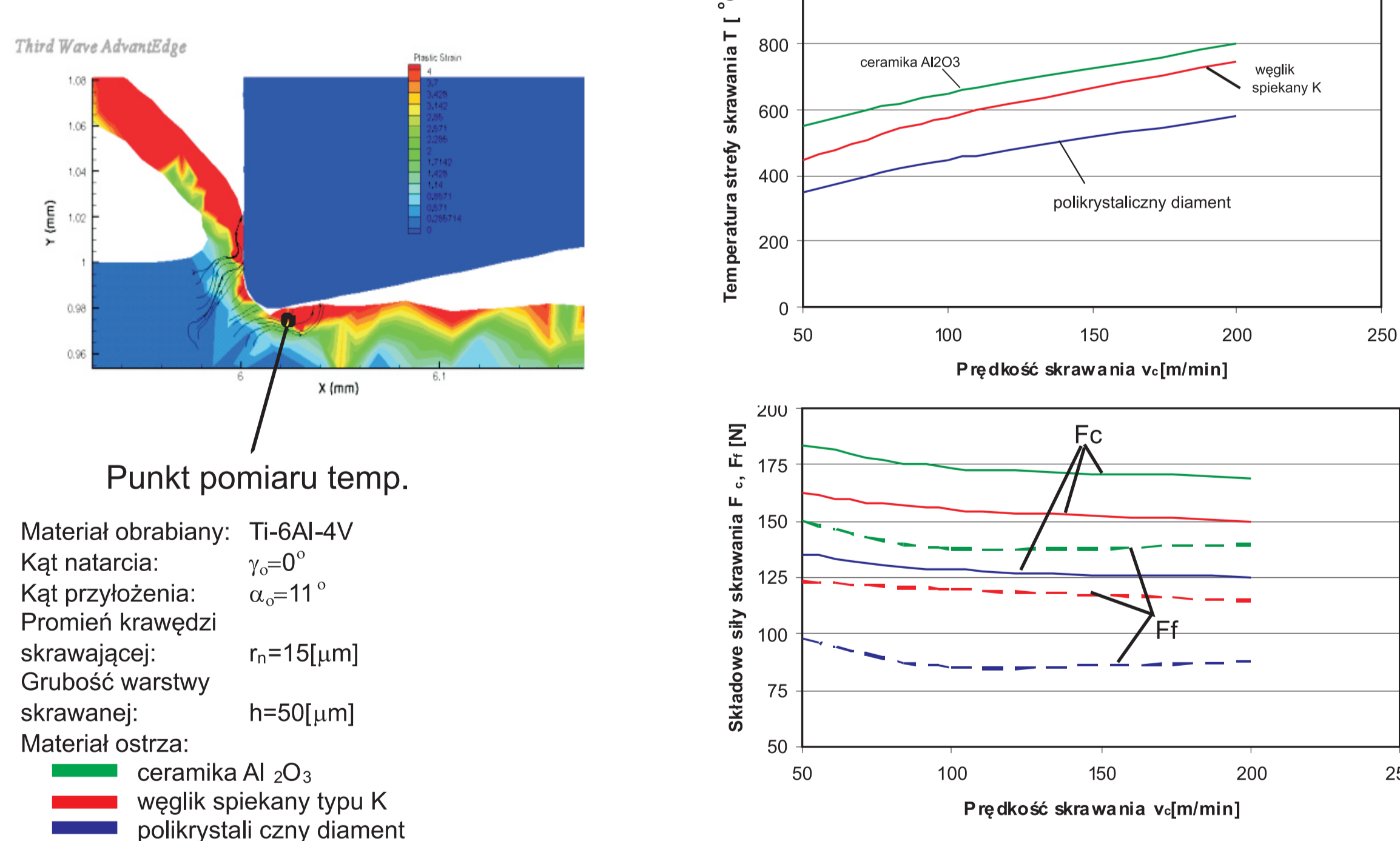
Rys.5. Grubość warstwy skrawanej dla zmiennej wielkości promienia płytki skrawającej r_p
Fig.5. Chip thickness for different radius of cutting inserts

Pełne ukształtowanie geometrii wióra występuje gdy minimalny dosuw osiowy odpowiada co najmniej dziewięciokrotnej teoretycznej wysokości chropowatości w kierunku posuwu. Dla typowych wielkości dosuwu osiowego w przypadku obróbki wykończeniowej, wynoszących kilka dziesiątych części milimetra, warunek powyższy jest zawsze spełniony.

PRĘDKOŚĆ SKRAWANIA

Wyniki symulacji procesu skrawania stopu Ti-6Al-4V ze zmienną prędkością skrawania przedstawiono na rys. Zwiększenie prędkości skrawania v_c od 50 do 200 [m/min] powoduje, przemieszczenie punktu rozdziału materiału na wiór i przedmiot obrobiony pod krawędź skrawającą. Przy zachowaniu stałego promienia zaokrąglenia krawędzi skrawającej efekt ten może być tłumaczony zwiększeniem temperatury w strefie skrawania a przez to łatwiejszym odkształceniem materiału. Zastosowanie materiałów narzędziowych charakteryzujących się większą przewodnością cieplną wpływa na obniżenie temp. strefy skrawania.

Wraz ze wzrostem prędkości skrawania, pomimo większego odkształcenia, nie zaobserwowano zwiększenia składowych siły skrawania co wyjaśnione może być również wzrostem temp. skrawania. Dla grubości warstwy skrawanej większych niż przedstawionej na $h=50\text{[mm]}$, wraz z zwiększeniem prędkości skrawania oraz malejącą przewodnością cieplną zastosowanych materiałów narzędziowych, zaobserwowano większy spadek składowych sił skrawania. Wraz ze wzrostem prędkości skrawania rośnie wyraźnie odkształcenie w strefie skrawania, z związku z czym należy oczekiwać wzrostu odkształcenia powierzchni obrobionej.



Rys.2. Wpływ prędkości skrawania na temperaturę i składowe siły skrawania
Fig.2. Cutting speed influence on temperature and cutting force components

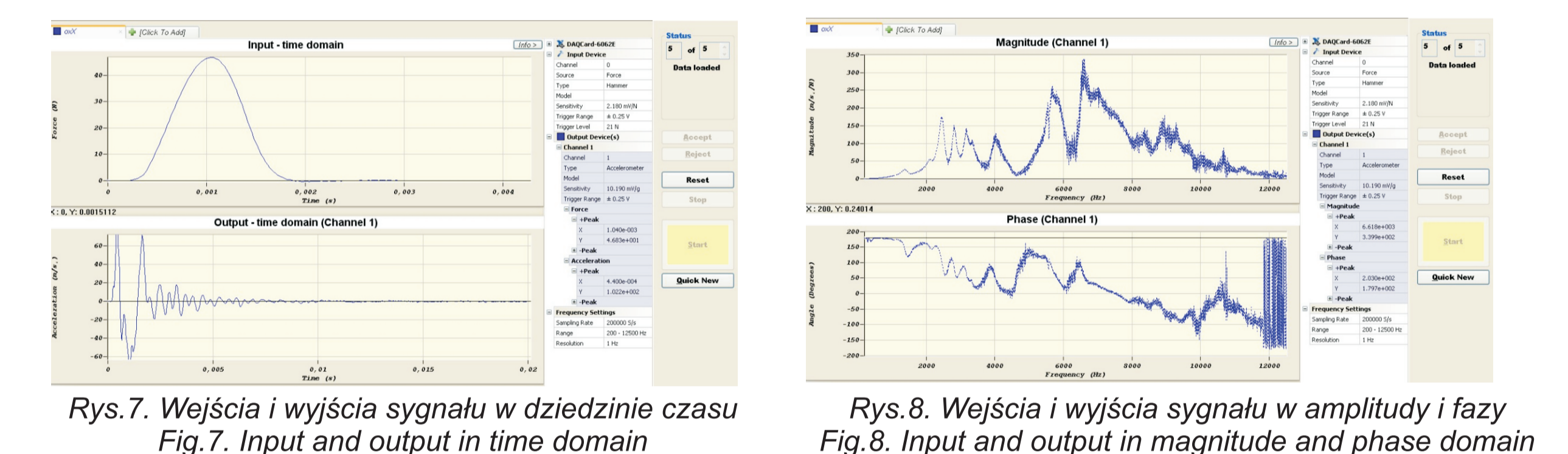
GRUBOŚĆ WARSTWY SKRAWANEJ

Rzeczywisty kąt natarcia (główna wielkość wpływająca na przemieszczenie materiału w strefie skrawania) wyznaczony zgodnie z równaniem

$$\gamma_{rz} = \arcsin\left(\frac{h}{r_n} - 1\right)$$

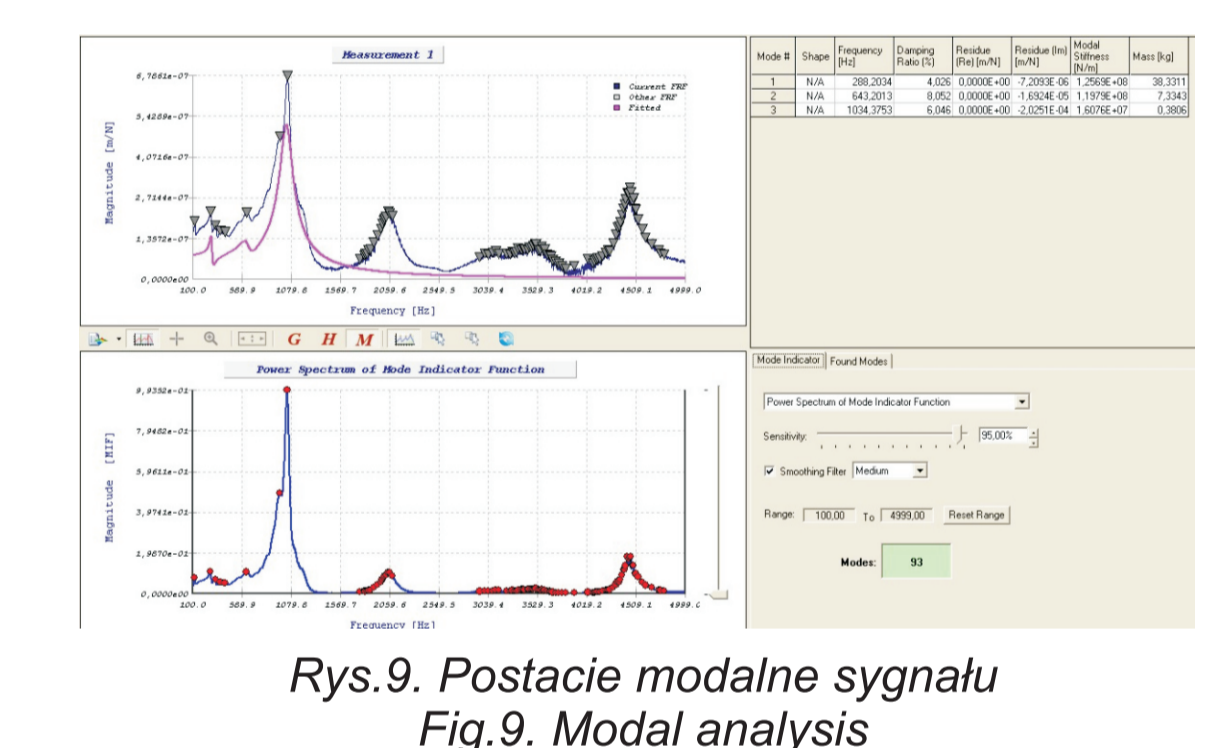
jest wyrażony stosunkiem grubości skrawania do promienia krawędzi skrawającej. Zwiększenie grubości warstwy skrawanej powoduje wzrost temperatury strefy styku narzędzie-przedmiot obrabiany, jednak ten wzrost jest mniejszy niż w przypadku zwiększania prędkości skrawania. Dla małych grubości warstwy skrawanej zauważalny jest znaczny spadek temperatury skrawania który jest efektem braku obciążenia termicznego ostrza od strony powierzchni natarcia. Zmienna grubość warstwy skrawanej powoduje gradienty temperatury strefy styku które dodatkowo obciążają ostrze skrawające i powodują występowanie różnych warunków styku wzdłuż krawędzi skrawającej.

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 amplitudzie i fazie
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 plotting 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. Polfabrykat w postaci prostopadościanu
Fig.10. Cubical raw part



Rys.11. Gotowa część łopalki
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 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 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

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 SUNDSTRAND do obróbki powierzchni krzywoliniowych kompresorów silnika APU oraz łopatek turbiny wysokiego ciśnienia.