

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-detali

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

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Warszawska

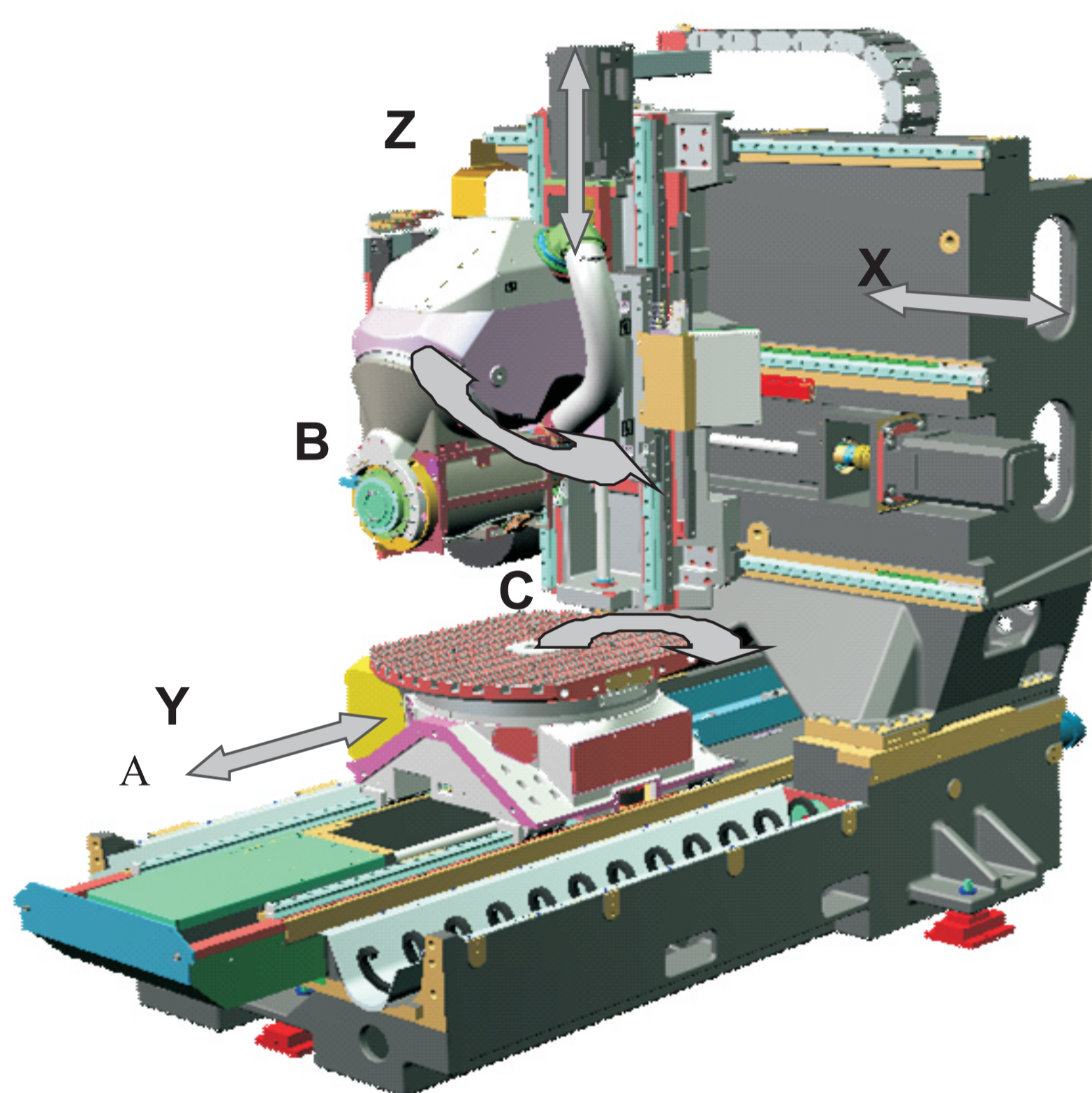
Wyniki badań Results

Weryfikacja doświadczalna skrawania stopu Ti-6Al-4V

Poniżej przedstawione próby skrawania stopu Ti-6Al-4V mają na celu weryfikację dotychczas przyjętych zależności pomiędzy wielkościami wejściowymi procesu (wybrane parametry geometryczne i technologiczne procesu) a wielkościami wyjściowymi (siły skrawania, chropowatość powierzchni). W tym celu zbudowano stanowisko badawcze do pomiaru siły skrawania składające się z dynamometru na którym w zaprojektowanym uchwycie zamocowano próbkę materiału Ti-6Al-4V. Narzędziem wybranym do badań była głowica torusowa firmy Sandvik z wymiennymi płytkami skrawającymi. Takie rozwiązanie pozwoliło na zastosowanie dużej gamy różnych materiałów narzędziowych. Pomiar przeprowadzone były z wykorzystaniem pięciosiowego centrum obróbkowego DMU 80P duoBlock wyposażonym w szybkoobrotowe elektrowrzeciono które zapewnia szeroki zakres prędkości skrawania.

Stanowisko badawcze

Punktem wyjścia do budowy planu badań było zastosowanie możliwie szerokiej grupy materiałów narzędziowych oraz geometrii płytek skrawających do przeprowadzenia analizy różnych wariantów procesu obróbki. Ruch główny realizowany jest przez obrót narzędzia, ruch posuwowy wykonuje stół obrabiarki na którym zamocowano dynamometr wraz z próbką badanego materiału (). Obrabiarka DMU 80P duoBlock dysponuje wrzecionem o maksymalnej prędkości obrotowej $n=18000$ [min⁻¹] i wyposażone jest w uchwyt HSK-A63. Dwie osie obrotowe (głowicy – oś B i stołu – oś C) oraz układ sterowania Sinumerik 840D umożliwiającą prowadzenie ciągłej obróbki 5-osiowej. Wyposażenie obrabiarki umożliwia ponadto podawanie chłodziwa do strefy obróbki przez środek wrzeciona z programowalną regulacją ciśnienia.



Rys.1. Kinematyka 5-osiowej obrabiarki DMU 80P duoBlock
Fig.1. DMU 80P duoBlock 5-axis machine tool kinematics

Materiał próbek

Do badań wybrano próbki ciągniętego na zimno stopu Ti-6Al-4V charakteryzującego się drobną strukturą globulityczną i równomierną strukturą. Właściwości fizyczne i skład chemiczny badanego materiału przedstawiono odpowiednio w tabeli 1 i tabeli 2.

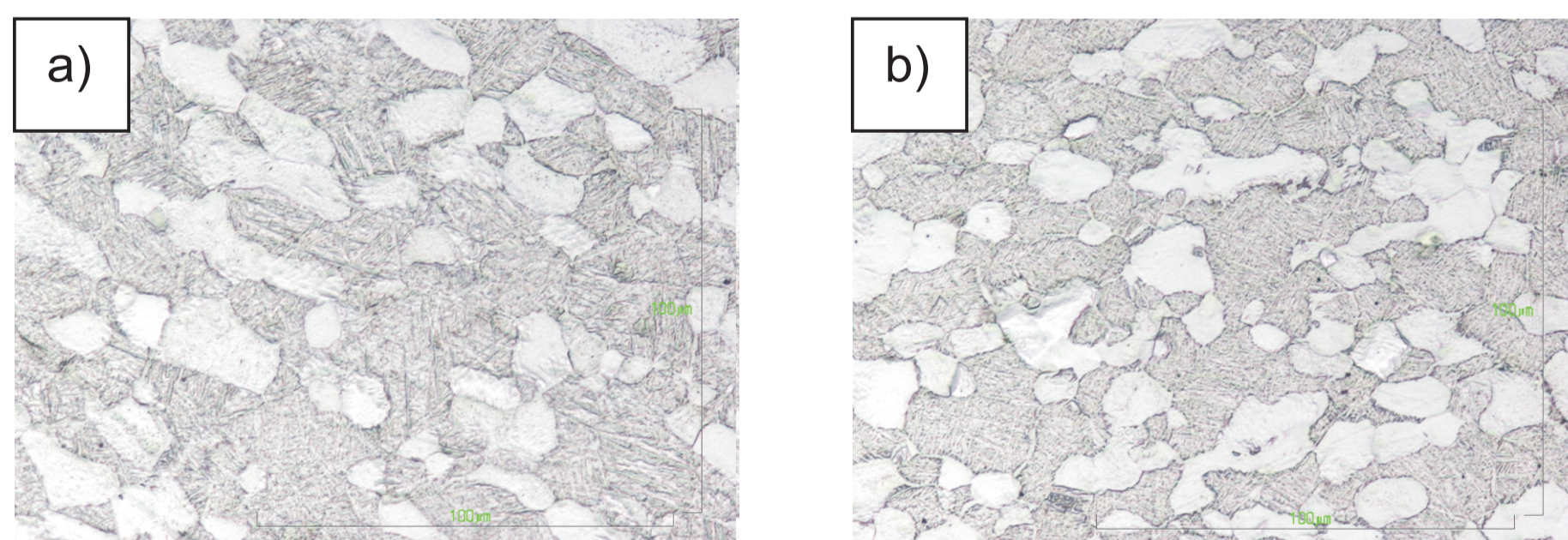
Wytrzymałość na rozciąganie R _m [MPa]	Umowna granica plastyczności R _{0,2} [MPa]	Wydłużenie względne [%]	Przewężenie [%]	Twardość [HRC]	Gęstość [g/cm ³]
1036	918	17	44	35	4,24

Tab.1. Właściwości fizyczne stopu Ti-6Al-4V w temp. pokojowej
Tab.1. Mechanical properties of Ti-6Al-4V alloy at room temperature

Al [%]	V [%]	Fe [%]	O [%]	N [%]	Ti [%]
6,14	3,96	0,18	0,19	0,007	reszta

Tab.2. Skład chemiczny stopu Ti-6Al-4V
Tab.2. Chemical composition of Ti-6Al-4V alloy

Materiał wyjściowy poddany był przesycaaniu w temp. 960[°C] przez godzinę i szybko chłodzony w wodzie. W celu zredukowania naprężeń szczątkowych materiał poddano wyżarzaniu w temperaturze T=704 [oC] z powolnym chłodzeniem.



Rys.2. Mikrostruktura badanego stopu Ti-6Al-4V w przekroju: a) poprzecznym b) wzdłużnym
Fig.2. Microstructure of Ti-6Al-4V alloy in a) perpendicular and b) longitudinal section

Narzędzie wykorzystane do badań

Do badań wykorzystano głowicę narzędziową firmy Sandvik do której montowano okrągłe płytki skrawające wykonane z różnych materiałów narzędziowych (węgiel spiekany, cermet) powlekane powłokami ochronnymi z różnych materiałów i otrzymywane różnymi technikami (PVD, CVD). Opierając się na wnioskach z analizy literatury dot. skrawania stopów tytanu zmierzono promień krawędzi skrawającej r_n każdego badanego ostrza. Do pomiaru wykorzystano urządzenie pomiarowe Talyscan 150 firmy Taylor-Hobson wyposażone w końcówkę pomiarową o promieniu $r_k=2$ [mm]. Pomiar przeprowadzono na trzech płytkach tego samego rodzaju, uśredniona wartość pomiaru została posłużyla do obliczenia wartości promienia krawędzi skrawającej zgodnie z równaniem:

$$r_n = r_p - r_k$$

gdzie, r_p - zmierzona promień krawędzi skrawającej
 r_k - promień końcówki pomiarowej

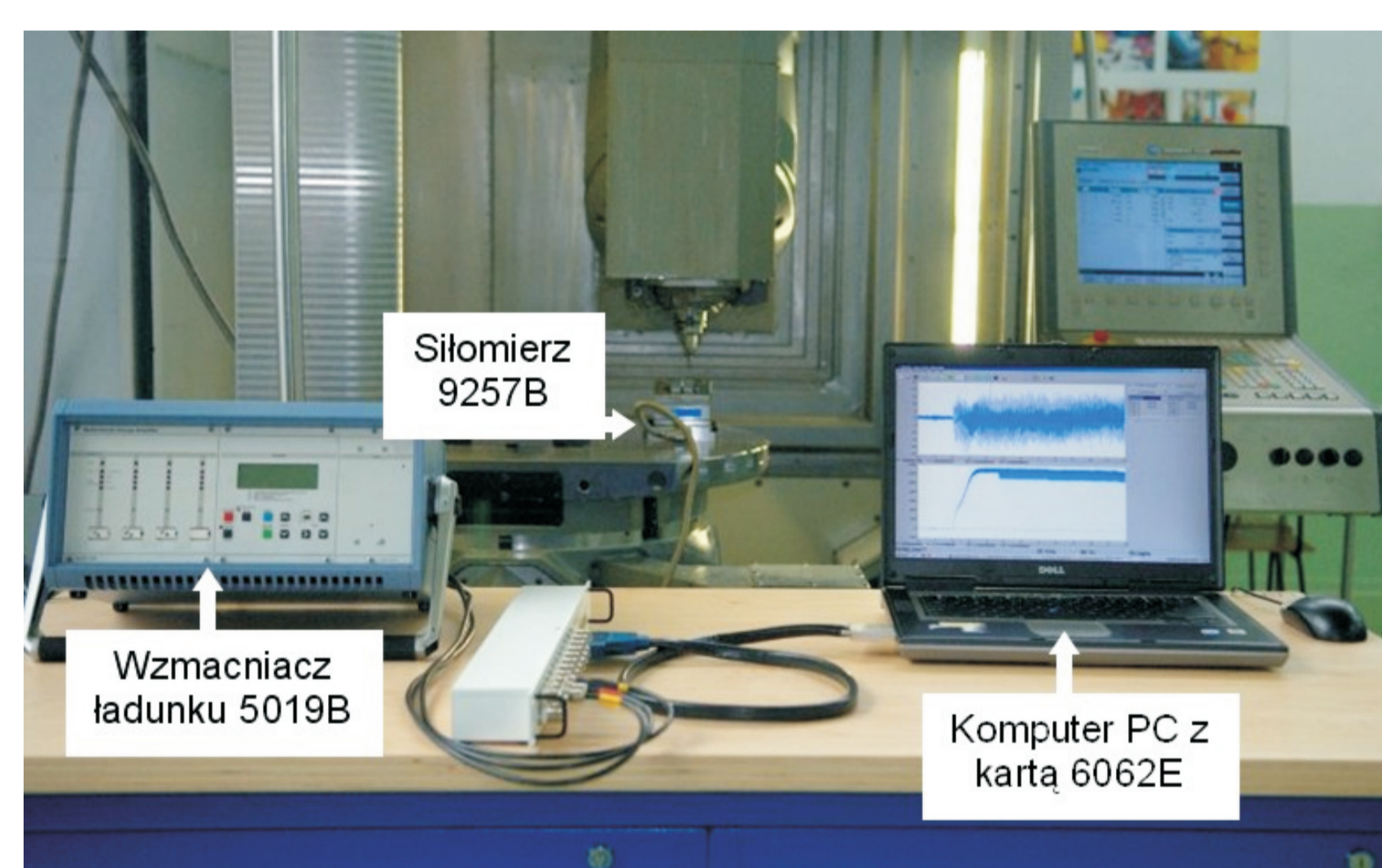
Wyniki obliczeń promieni krawędzi skrawającej oraz użyte w badaniach materiały ostrza scharakteryzowano w tabeli 3.

Symbol płytki	Opis i przeznaczenie	Promień krawędzi skrawającej r_n [μm]
R300-1032M-KH H13A	niewspiekany węgiel spiekany zawierający głównie węgiel wolframu WC, geometria do obróbki ciężkiej	20
R300-1032E-KL H13A	niewspiekany węgiel spiekany zawierający głównie węgiel wolframu WC, geometria do obróbki lekkiej	18
R300-1032E-MM 2040	węgiel spiekany zawierający głównie węgiel tytanu TiC lub azotki tytanu TiN, pokrywany wielowarstwowo Ti(C,N), Al ₂ O ₃ , metoda MT-CVD, geometria do obróbki ciężkiej	10
R300-1032E-PL 1030	węgiel spiekany zawierający głównie węgiel tytanu TiC, pokrywany wielowarstwowo TiAlN, metoda PVD, geometria do obróbki lekkiej	14
R300-1032E-PM 1030	węgiel spiekany zawierający głównie węgiel tytanu TiC, pokrywany wielowarstwowo TiAlN, metoda PVD, geometria do obróbki średniej	16
R300-1032M-KH 1020	cermet zawierający głównie węgiel tytanu TiC lub azotki tytanu TiN, pokrywany warstwą TiN, metoda PVD, geometria do obróbki ciężkiej	22
R300-1032M-MM 2030	węgiel spiekany zawierający głównie TiC lub TiN, pokrywany warstwą TiAlN, warstwa wierzchnia TiN, metoda PVD, do obróbki średniej	14

Tab. 3. Materiały ostrza i wyniki obliczeń promieni krawędzi skrawających
Tab. 3. Cutting edge materials and radius of cutting edge

Pomiar siły skrawania

Do pomiaru siły skrawania wykorzystano piezoelektryczny dynamometr 9257B firmy Kistler o zakresie pomiarowym ± 5 [kN] dla każdej z 3 osi pomiarowych. Zarejestrowane sygnały są przetwarzane w 4 kanałowym wzmacniaczu ładunku 5019B na analogowe sygnały napięciowe i przesyłane do komputera PC wyposażonego w 12 bitową kartę pomiarową 6062E firmy National Instruments. Dane pomiarowe były rejestrowane i zapisywane z wykorzystaniem oprogramowania MALDAQ firmy Malinc. Przed przystąpieniem do pomiarów siły zmierzono częstości drgań własnych przedstawionego układu badawczego dla każdej z osi pomiarowych czujnika. Zmierzone częstości drgań własnych wynoszą: $f_n(x,y)=1750$ [Hz] (dla osi X i Y) oraz $f_nz=3600$ [Hz] (dla osi Z).



Rys.3. Stanowisko badawcze do pomiaru siły skrawania
Fig. 3. Cutting force measurement stand

Producent siłomierza podaje że zakres użyteczny pomiarów nie powinien przekraczać 1/3 wartości częstości drgań własnych f_n układu badawczego. Maksymalna częstość wymuszenia odpowiadająca maksymalnym obrotom narzędzia obliczona została ze wzoru:

$$f_w = z \cdot \frac{n}{60}$$

gdzie, z - liczba ostrzy
 n - prędkość obrotowa narzędzia [min⁻¹]

Dla maksymalnej prędkości obrotowej narzędzia częstość wymuszenia wynosi 78 [Hz] i jest wielokrotnie mniejsza niż zalecana 1/3 wartości częstości drgań własnych układu badawczego. Dlatego można wykluczyć wpływ częstości wymuszenia na wyniki pomiaru. Zarejestrowane sygnały pomiarowe sił z trzech prób skrawania o zadanych parametrach są uśredniane i taka procedura wykonywana jest dla każdej mierzonej składowej.

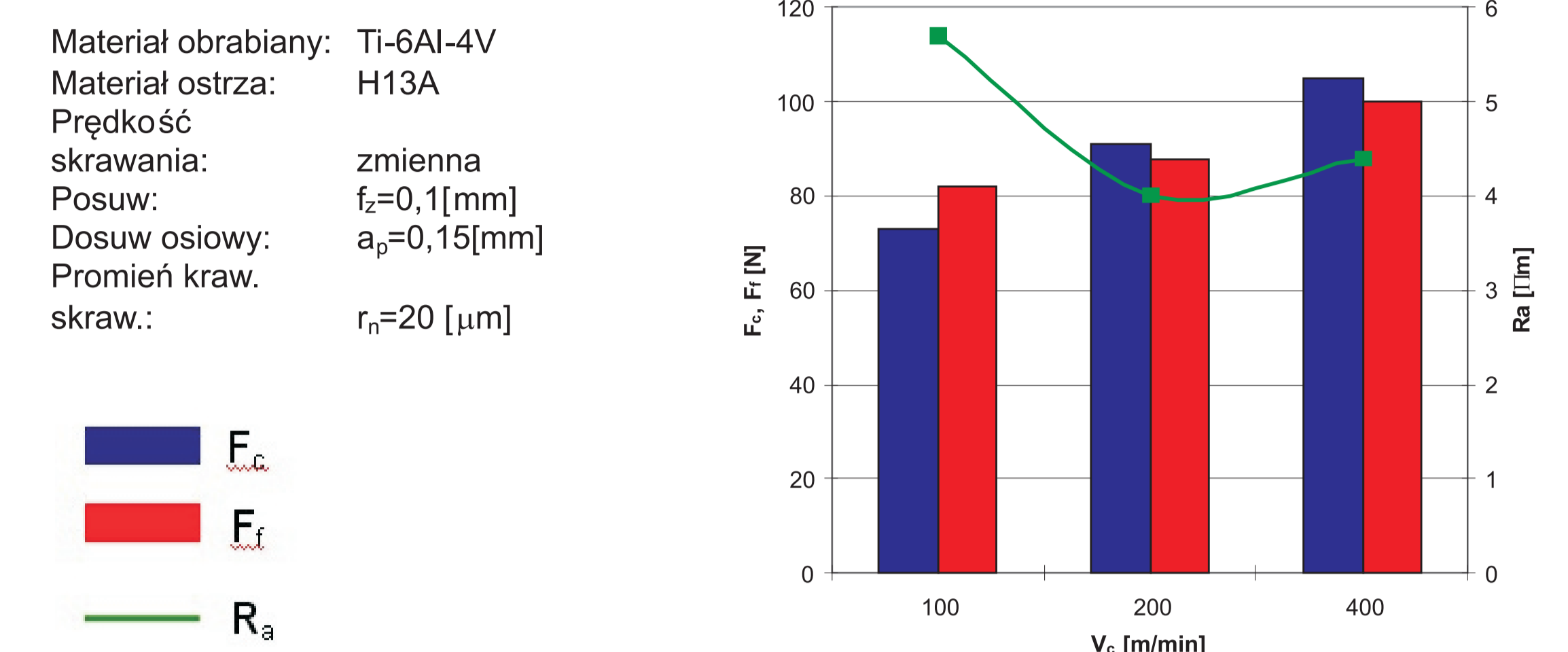
Wyniki i analiza pomiarów

Przedstawione poniżej wyniki pomiarów sił procesu skrawania oraz właściwości powierzchni umożliwiają ocenę oddziaływania narzędzia (geometria i materiał ostrza) i parametrów technologicznych (prędkość skrawania, posuw) na proces obróbki. Porównanie wyników pomiarów z uprzednio przeprowadzonymi badaniami symulacyjnymi pozwala na ocenę poszczególnych parametrów i określenie ewentualnych zależności pomiędzy tymi parametrami. W odróżnieniu od badań symulacyjnych, podczas badań doświadczalnych uwzględniany jest wpływ chłodzenia na proces skrawania.

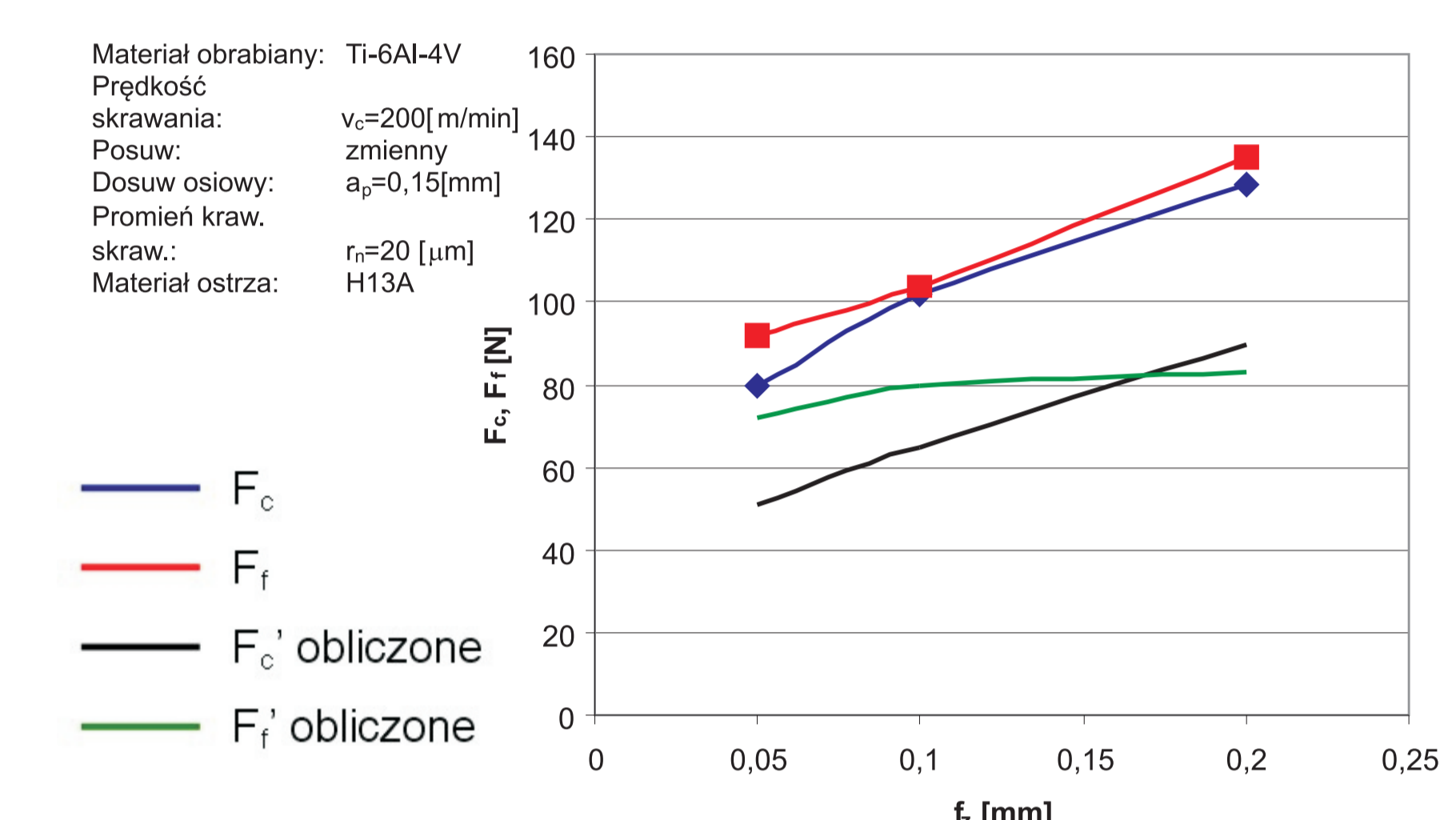
Siły skrawania

Badania symulacyjne prognozowały nieznaczny spadek siły skrawania wraz ze wzrostem prędkości skrawania czego nie potwierdzają badania doświadczalne podczas których zaobserwowano wzrost składowych sił skrawania. Wraz ze wzrostem prędkości skrawania przed krawędzią skrawającą powiększa się strefa mocno uplastycznionego materiału, który powoduje wzrost oporu skrawania. Spływu wióra po powierzchni natarcia jest utrudnione dlatego mimo zmniejszonej wytrzymałości materiału zwiększa się składowa posuwowa siły skrawania.

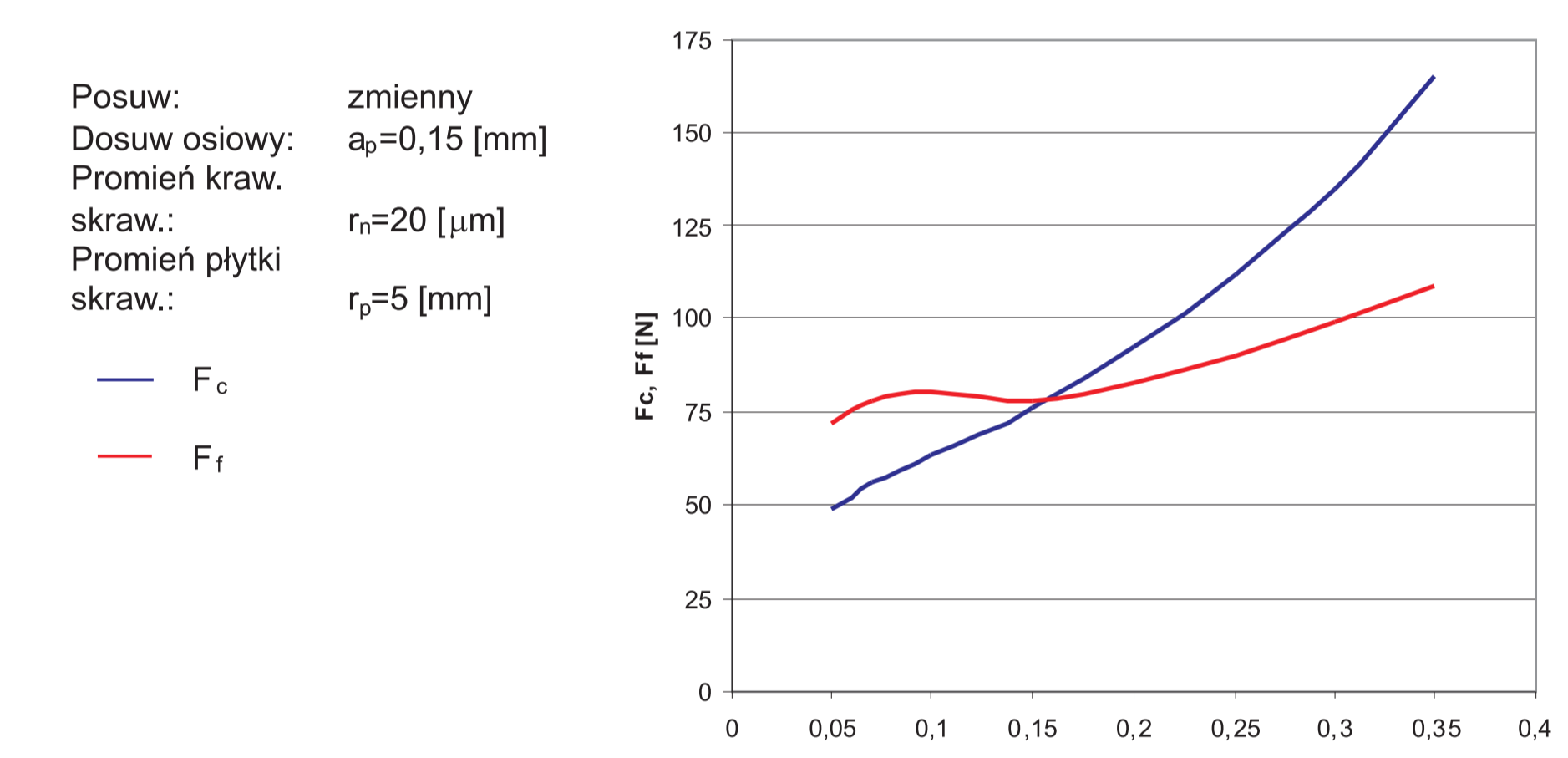
Badania eksperymentalne Experimental research



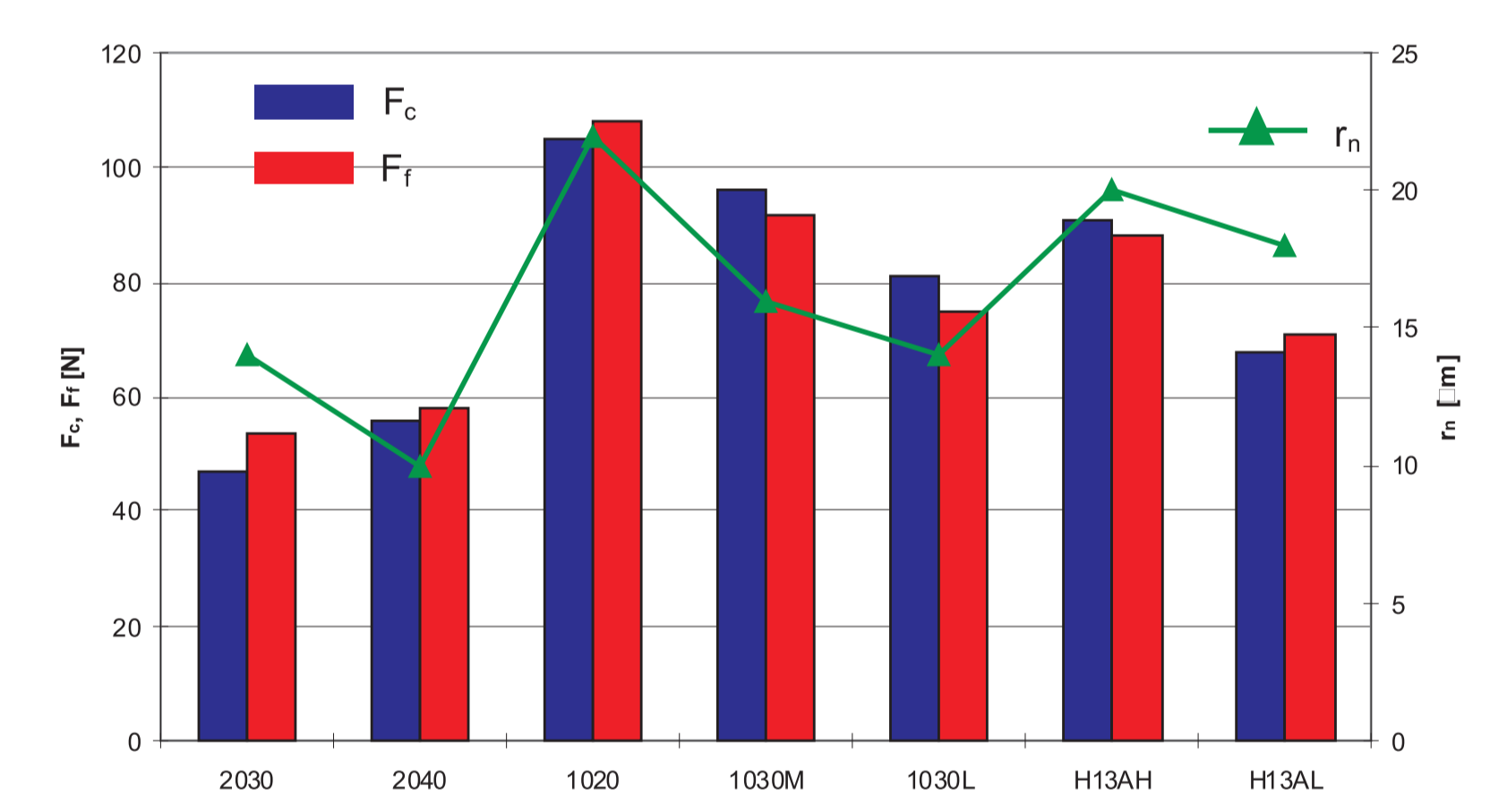
Rys.4. Wpływ prędkości skrawania na składowe siły skrawania i chropowatość powierzchni
Fig.4. Cutting speed influence on cutting force components and surface roughness



Rys.5. Wpływ posuwu na składowe siły skrawania
Fig.5. Feed influence on cutting force components



Rys.5. Składowe siły skrawania obliczone na podstawie zaproponowanego modelu siły
Fig.5. Cutting force components calculated based on proposed force model



Rys.6. Składowe siły skrawania obliczone na podstawie zaproponowanego modelu siły
Fig.6. Cutting force components calculated based on proposed force model

Wnioski Conclusions

Wyniki przeprowadzonych pomiarów i modelowania sił skrawania można podsumować następująco:
- promień krawędzi skrawającej r_n odgrywa istotną rolę podczas skrawania stopu Ti-6Al-4V. Stosowanie ostrzy charakteryzujących się małym promieniem wpływa na obniżenie sił skrawania i jest dobrze odwzorowywane przez zaproponowany model siły.
- zalecane jest stosowanie małych posuwów f_z , przez co uzyskuje się mniejsze siły skrawania.
- nie jest obserwowany pozytywny wpływ prędkości skrawania na zmniejszenie sił skrawania

Results of carried out modeling and model verification can be wrap-up as follow:
- cutting edge radius r_n substantially affects process of cutting Ti-6Al-4V. Utilization of small value cutting edge decrease cutting force and moreover is well defined by proposed cutting model.
- recommends for using small value of feed which mitigate cutting force value
- no evidence of positive impact of small cutting speed on cutting force reduction

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation

Wielosiowe 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

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

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty:
1. M.Mucha, W.Habrat, "Utilization of adaptive machining in impeller and blade repairs" Frankfurt, AIRTEC 2014
Prace mgr, dr, hab.
Prace doktorskie:
Autor: M.Mucha
Tytuł pracy: "Optymalizacja wydajności obróbki wyrobu o zarysie krzywoliniowym ze stopu tytanu"
status: otwarcie przewodu doktorskiego 19/11/2014, Politechnika Krakowska,
Promotor: prof. dr hab. inż. Józef Gawlik