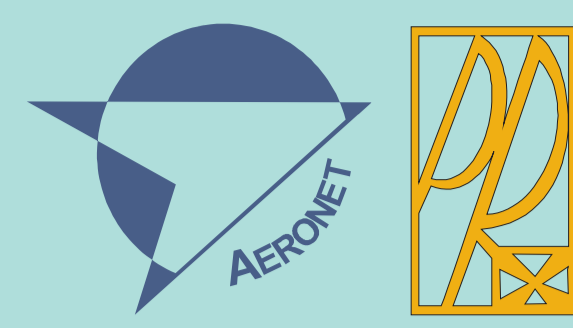


Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry



KONFERENCJA
RADY PARTNERÓW CZT AERONET
I PANELE EKSPERTÓW
25-26 Maj 2015

ZB 2

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

Procedura optymalizacji warunków obróbki elementów o powierzchniach krzywoliniowych wykonanych ze stopu Ti-6Al-4V

Fizyczne właściwości stopu Ti-6Al-4V, skłonność do tworzenia wiórów segmentowych oraz niska przewodność cieplna powodują, iż występuje brak dedykowanych procedur optymalizacji z uwzględnieniem kryterium produktywności. Dlatego uzasadnioną jest próba ustalenia procedury określenia optymalnych parametrów skrawania dla obróbki wykończeniowej stopu Ti-6Al-4V z maksymalizacją objętościowej wydajności obróbki (produktywności), jako kryterium optymalizacyjnym, przy równoczesnym nie przekraczaniu wymaganych wskaźników chropowatości powierzchni, siły skrawania i zużycia ostrza.

Procedura optymalizacji

Zagadnienie optymalizacji frezowania wykończeniowego stopu Ti-6Al-4V z maksymalizacją wydajności objętościowej, jako kryterium optymalizacyjnym można przedstawić w następujący sposób:

$$Q_v = f(v_c, f, a_p) \rightarrow Q_{v \max}$$

$$F \leq F_{lim}$$

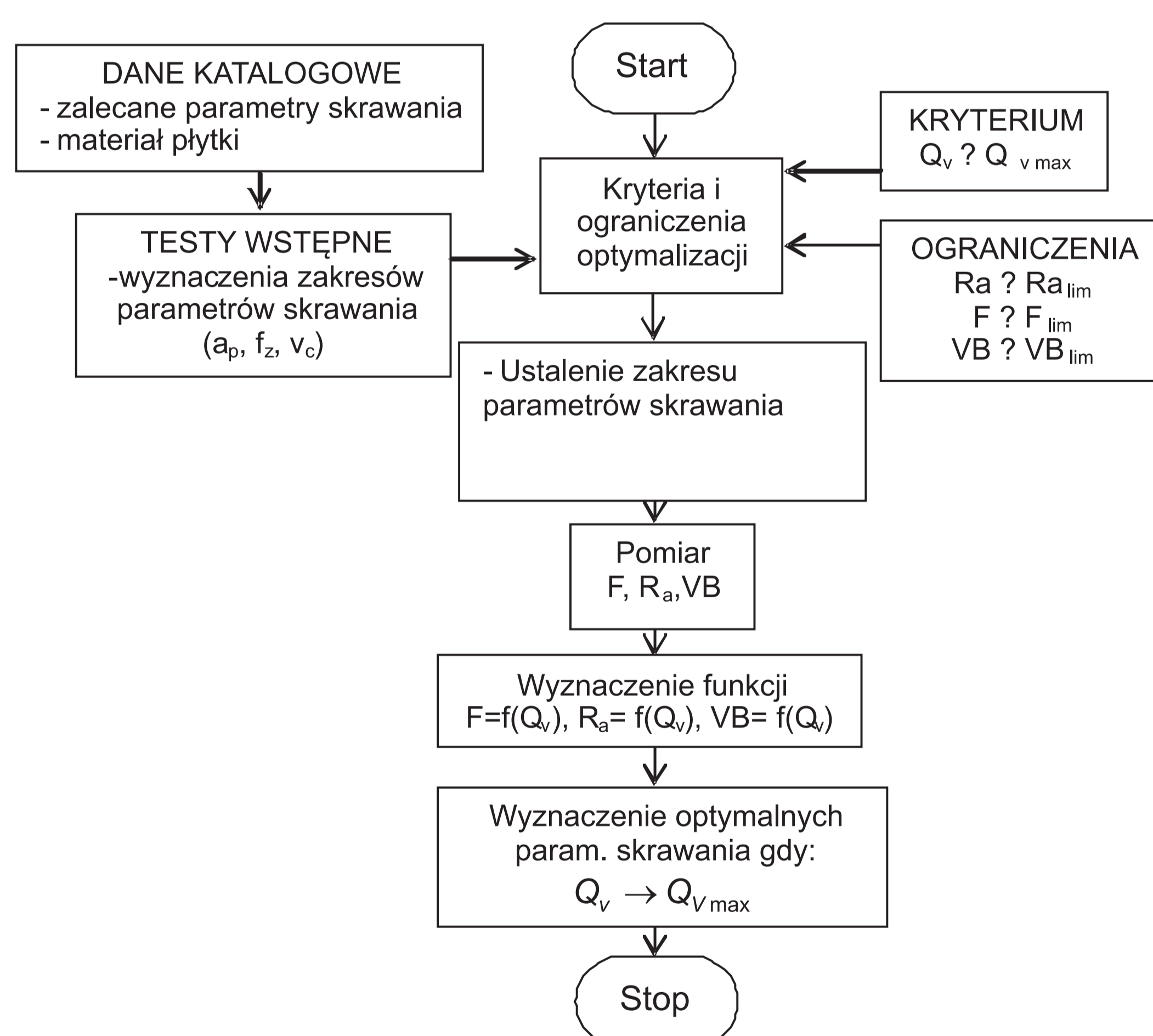
$$R_a \leq R_{a \lim}$$

$$VB \leq VB_{lim}$$

gdzie: $Q_{v \max}$ – maksymalna v
 $R_{a \lim}$ – graniczna wartość chropowatości powierzchni,
 F_{lim} – graniczna wartość siły skrawania,
 VB_{lim} – graniczna wartość zużycia ostrza skrawającego.

Procedura optymalizacyjna powinna definiować zakres parametrów skrawania i optymalizacyjne kryterium procesu. Bazując na wynikach uzyskanych z kolejnych kroków optymalizacji wybiera się poprawne parametry skrawania. Schemat przedstawiony na rys 1 składa się z:

1. Zdefiniowanie kryterium optymalizacyjnego (w tym przypadku Q_v) i ograniczeń optymalizacyjnych (F , R_a , VB).
2. Wstępne testy skrawania w celu ustalenia zakresu parametrów obróbki.
3. Ustalenie metodyki badawczej i zestawienie aparatury pomiarowej.
4. Pomiar (F , R_a , VB) dla wybranych parametrów skrawania.
5. Określenie i analiza funkcji $F=f(Q_v)$, $R_a=f(Q_v)$, $VB=f(Q_v)$.
6. Ustalenie optymalnych parametrów skrawania dla przyjętego kryterium optymalizacyjnego i ograniczeń na podstawie analizy powyższych funkcji.



Rys.1. Schemat procedury optymalizacji produktywności frezowania
Fig.1. Flowchart optimize the productivity of milling

Weryfikacja procedury optymalizacyjnej

Proces optymalizacji parametrów skrawania zgodnie z przedstawioną na rys 1 procedurą zastosowano do obróbki powierzchni płaskiej części wykonanej ze stopu Ti-6Al-4V w formie prostopadłościanu o wymiarach X/Y/Z = 60/10/60 mm. Do badań wykorzystano frez trzpieniowy o chwycie cylindrycznym R300-032A25-10M firmy Sandvik CoroMill® 300 w którym stosowano płytkę niepowlekanego węgla spiekane R300-1032M-KH H13A. Początkowe parametry skrawania ustalono na podstawie zaleceń producenta narzędzi (a_p , f_z , v_c) i przedstawiono w tabeli 1.

Tab.1. Początkowe parametry skrawania wg zaleceń producenta narzędzia
Tab.1. Initial cutting parameters recommended by tool manufacturer

	a_p [mm]	f_z [mm]	v_c [m/min]	i
Parametry przed optymalizacją	1	0,05	100	2

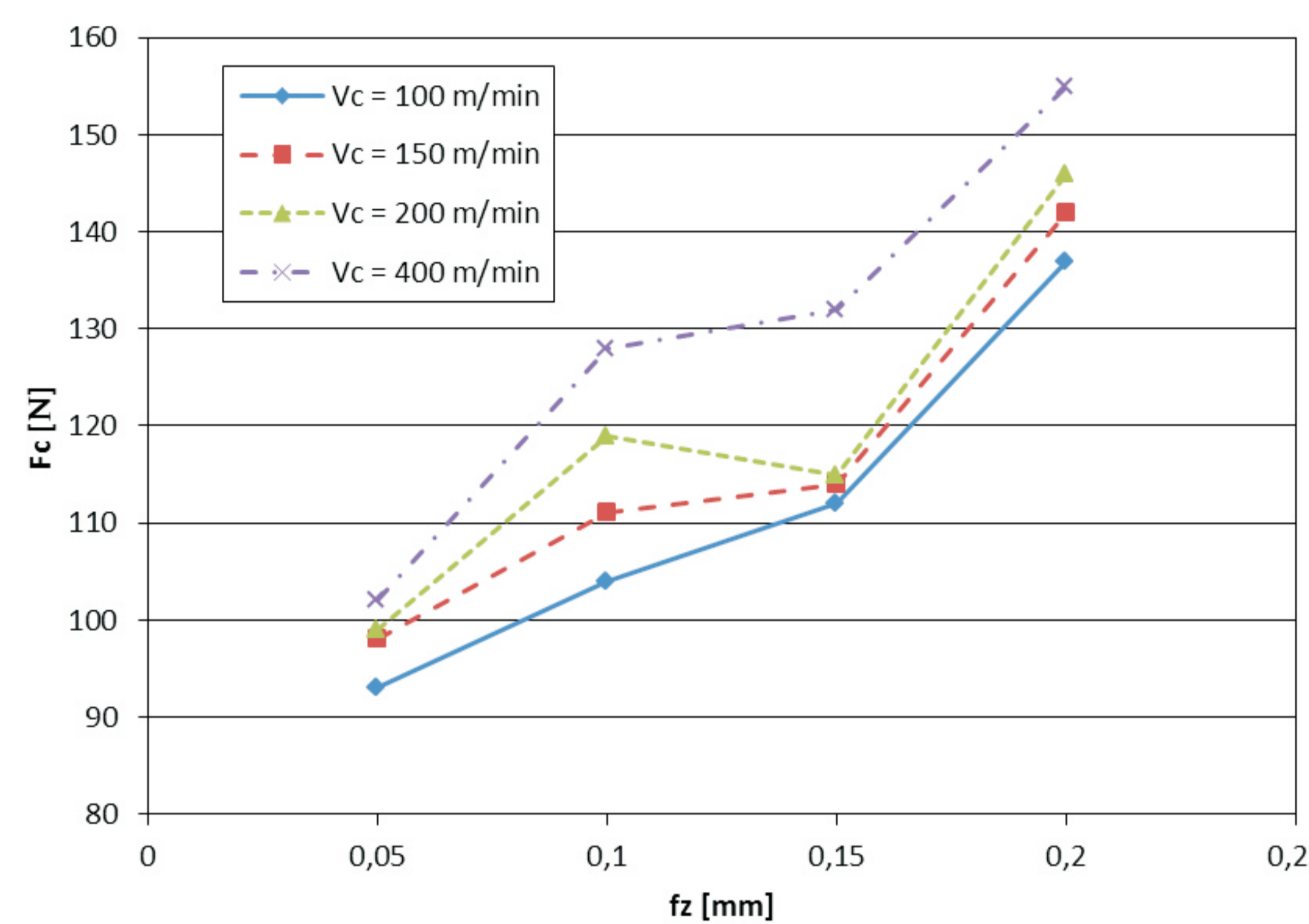
Zmierzona wartość chropowatości powierzchni wynosiła $R_a=2,19$ [mm] przy $Q_v=3,18$ [cm³/min]. Tak dobrane parametry były wielkościami wyjściowymi w stosunku do których szukano optymalnych wartości. Testy skrawania wykonano na stanowisku badawczym zbudowanym na bazie centrum frezarskiego DMU 80P duoBlock, wyposażonego w układ pomiaru sił skrawania.

Kryterium optymalizacyjne – (maksymalizacja Q_v) i ograniczenia były zdefiniowane, jako pierwszy krok procedury:

$$R_a \leq 4,5 \text{ mm}; F_c \leq 120 \text{ N}; VB_{\max} \leq 40 \text{ } \mu\text{m}$$

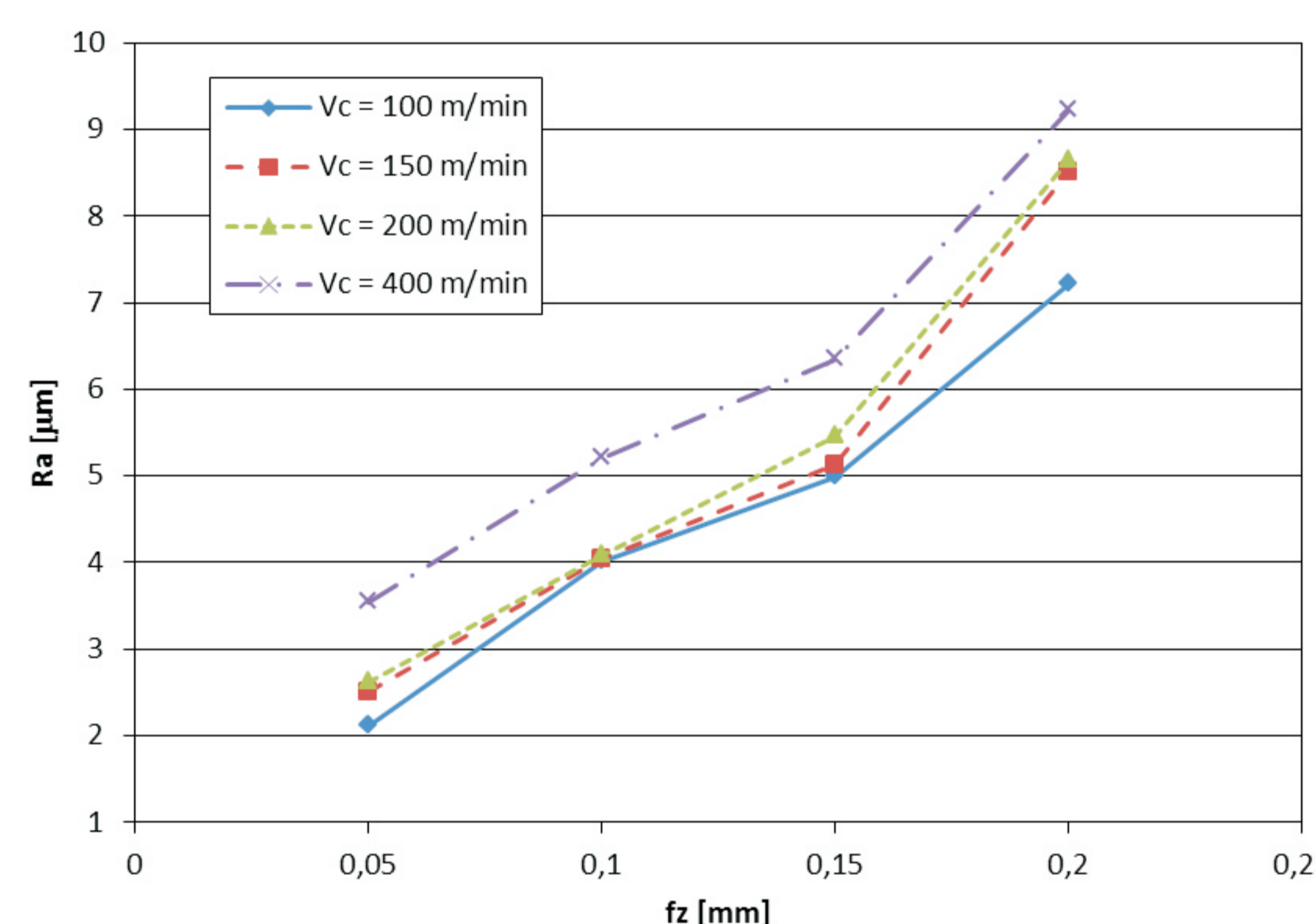
Przeprowadzone testy wskazują, że najkorzystniejsze formy wióra powstają dla następujących zakresów parametrów skrawania: $v_c=100-400$ m/min, posuw na ostrze $f_z=0,05-0,2$ mm.

Wartości zmierzone dla siły skrawania F_c oraz R_a w funkcji posuwu na ostrze f_z przedstawiono odpowiednio na rys. 2 i rys. 3. Na rys. 2 można zaobserwować, że dla wartości posuwu większej niż 0,15 mm siła skrawania wzrasta szybciej niż dla pozostałych przedziałów wartości posuwu. Generalny charakter zmiany siły skrawania mówi, że przy zwiększaniu posuwu, powiększa się przekrój warstwy skrawanej, co przekłada się na zwiększenie oporów skrawania. Powyżej wartości posuwu 0,15 mm następuje przyspieszony wzrost siły skrawania, co może być powodowane dużym zużyciem ostrza skrawającego powodowanym przez istotne zwiększenie temperatury ostrza skrawającego. Sugeruje to ustalenie niższej granicy wartości posuwu (poniżej 0,2 mm) niż to było pierwotnie założone w planie badań (zakres posuwu w przedziale 0,05-0,2 mm).



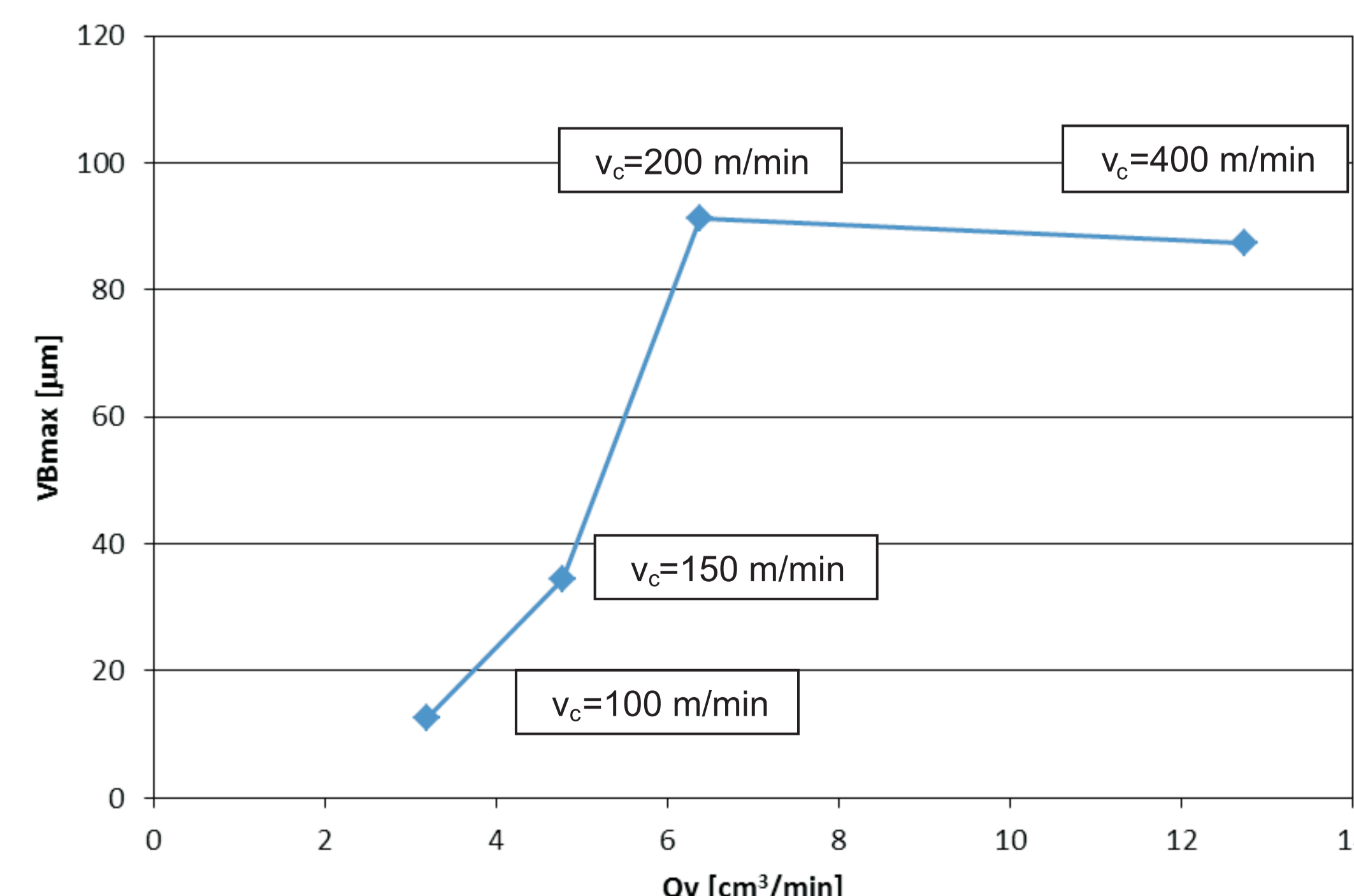
Rys.2. Wpływ posuwu na siłę skrawania dla różnych prędkości skrawania
Fig.2. The impact of feed on the cutting force for different cutting speed

Wpływ posuwu na parametr chropowatości R_a dla różnych prędkości skrawania pokazano na rys. 3. Zgodnie z równaniem opisującym teoretyczną wysokość chropowatości decydującym parametrem zwiększającym chropowatość jest posuw na ostrze. Wzrost prędkości skrawania do wartości 400 m/min znacząco wpływa na pogorszenie parametrów jakościowych obrabianej powierzchni; dla posuwu 0,2 mm parametr R_a powiększa się o 1,24 mm. Taka tendencja będzie wzmocniona przez długość skrawania, która negatywnie wpływa na zużycie ostrza skrawającego. Z tego powodu prędkość skrawania powinna być ograniczona od góry w stosunku do proponowanego pierwotnie w planie badań zakresu $v_c=100-400$ m/min.



Rys.3. Wpływ posuwu na parametr chropowatości powierzchni obrabianej Ra dla różnych prędkości skrawania
Fig.3. The impact of feed on the surface roughness parameter Ra for different cutting speed

Wyniki pomiarów zużycia krawędzi skrawającej VB dla różnych objętościowych wydajności obróbki przedstawiono na rys 4. Można zaobserwować niewielkie różnice maksymalnej szerokości pasma zużycia powierzchni przyłożenia VB_{\max} dla prędkości skrawania 100 i 150 m/min. Dla prędkości skrawania 200 m/min maksymalna szerokość zużycie powierzchni przyłożenia wzrasta do 91 μm . Największa prędkość skrawania 400 m/min powoduje duże termiczne i mechaniczne obciążenie ostrza skrawającego jednak dla tej prędkości zaobserwowano nieznacznie mniejsze zużycie ostrza niż przy prędkości skrawania 200 m/min. Dla obu największych prędkości skrawania (200 i 400 m/min) zużycie ostrza determinuje zalecenie obróbki z prędkościami niższymi niż 200 m/min celem zachowania geometrii ostrza gwarantującej, utrzymanie stałych warunków skrawania oraz zmniejszenia kosztów związanych z wymianą płytek skrawających. Wydaje się zasadne stosowanie prędkości skrawania 150 m/min, która gwarantuje utrzymanie stosunkowo najwyższej wydajności obróbki $Q_v=4,77$ cm³/min przy akceptowalnym poziomie maksymalnej szerokości pasma zużycia powierzchni przyłożenia $VB_{\max}=34$ μm .



Rys.4. Wpływ objętościowej wydajności obróbki i prędkości skrawania na maksymalną szerokość pasma zużycia powierzchni przyłożenia VB_{\max}
Fig.4. The impact of volume machining efficiency and cutting speeds for maximum flank wear VB_{\max}

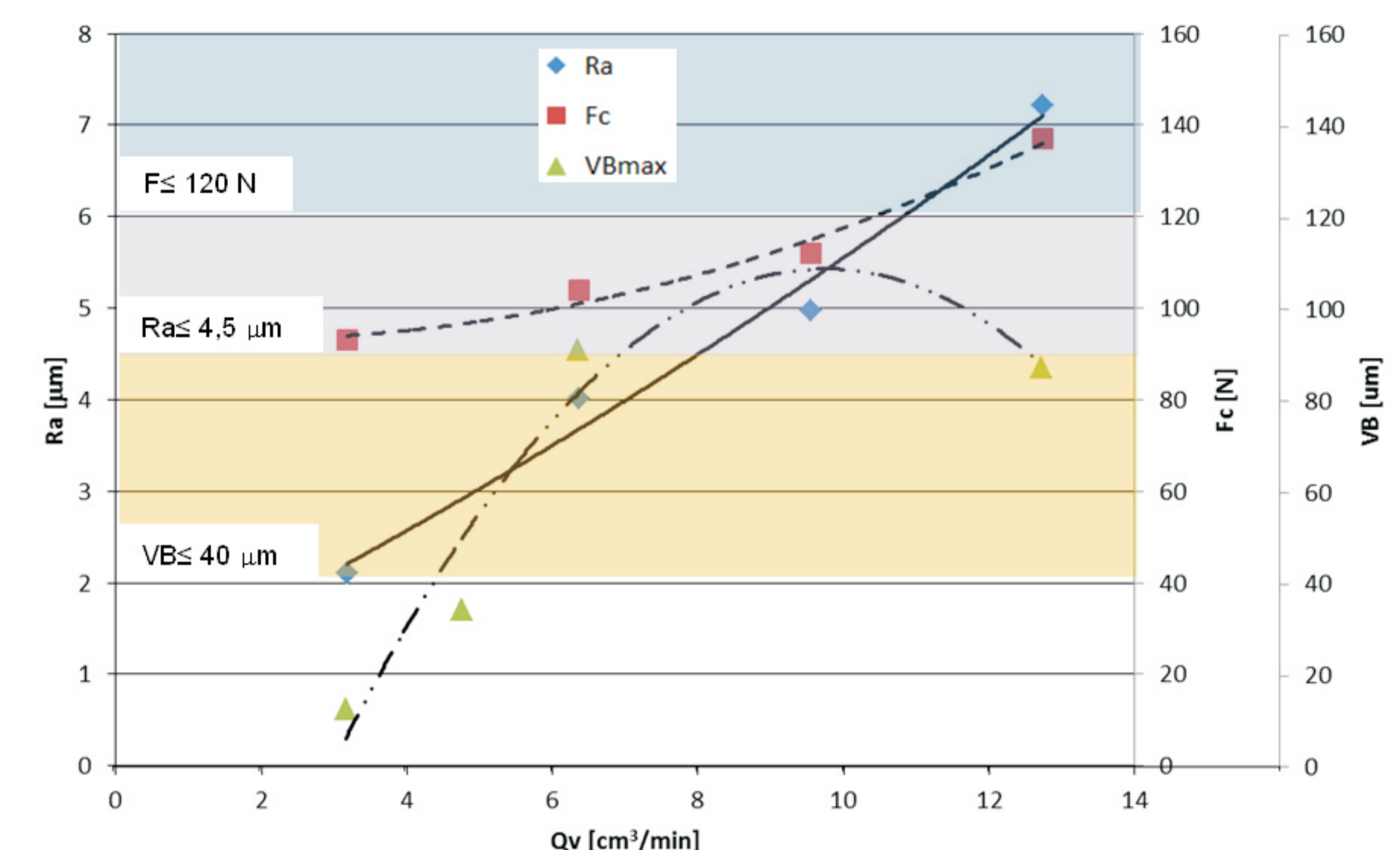
Na podstawie pomiarów i obliczeń wykonano wykres przedstawiony na rys.5. Wykres ten umożliwia wybór najlepszych wartości parametrów skrawania, spełniających ograniczenia optymalizacyjne. Wykres z rys. 5 i odpowiednie równania pozwalają określić maksymalną wydajność obróbki dla prędkości skrawania $v_c=150$ m/min. Wartość ta została wybrana z zakresu spełniającego ograniczenie maksymalnej szerokości pasma zużycia VB_{\max} .

$$R_a = 0,9 + 0,3864Q_v + 0,0079Q_v^2 \quad (R^2 = 0,9821)$$

$$F_c = 94 + 1,0996Q_v + 0,3454Q_v^2 \quad (R^2 = 0,9809)$$

$$VB = -117,27 + 46,37Q_v - 2,8761Q_v^2 \quad (R^2 = 0,9821)$$

Optymalne parametry skrawania zostały wybrane dla maksymalnej wydajności obróbki $Q_v=4,79$ cm³/min i przedstawione w tabeli 2.



Rys.5. Zależności F_c , R_a oraz VB_{\max} od objętościowej wydajności skrawania Q_v
Fig.5. Influence of F_c , R_a and VB_{\max} on the metal removal rate Q_v

Wnioski Conclusions

Wyniki testów skrawania pozwoliły na ustalenie najlepszych wartości parametrów skrawania przy obróbce powierzchni zewnętrznej materiału wykonanego ze stopu Ti-6Al-4V przy maksymalizacji objętościowej wydajności obróbki i ustalonych wartościach ograniczeń F_c , R_a oraz VB_{\max} .

The results of cutting tests made it possible to determine the best values of the cutting parameters for machining the outer surface material made of an alloy Ti-6Al-4V while maximizing the volumetric efficiency of the treatment and the limitations set values of F_c , R and VB_{\max} .

	a_p [mm]	f_z [mm]	v_c [m/min]	R_a [um]	Q_v [cm ³ /min]	F_c [N]	VB [um]
Parametry przed optymalizacją	1	0,05	100	2,19	3,18	93,21	12,7
Parametry skrawania po optymalizacji	1	0,1	150	2,92	4,79	107,10	38,47

Tab.2. Początkowe parametry skrawania (przypadek 1) oraz parametry po optymalizacji obróbki
Tab.2. Initial machining parameters (case 1) and the optimization results of processing parameters

W wyniku realizacji procedury optymalizacyjnej osiągnięto zwiększenie produktywności o ponad 50% przy jednoczesnym niewielkim wzroście chropowatości powierzchni do wartości parametru $R_a=2,92$ mm (dozwolona wartość $R_{a \lim}=4,5$ mm) i wzroście wartości siły skrawania o około 14%, ale wciąż poniżej założonej wartości progowej $F_{clim}=120$ N. Badania udowodniły słusność przeprowadzania wstępnych testów skrawania w lokalnych warunkach obróbki które służą jako pierwotne źródło informacji dla procedury optymalizacyjnej.

As a result of the optimization procedure has been increased productivity by over 50%, while a slight increase in surface roughness values $R_a = 2.92 \mu\text{m}$ (allowable limit $R_{a \lim} = 4.5 \text{ mm}$) and an increase in the cutting force by about 14% but still below the predefined threshold value $F_{clim} = 120 \text{ N}$. Research has proven the validity of performing preliminary tests cut in local processing conditions that serve as the primary source of information for the optimization procedure.

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. Optymalizacja warunków skrawania stopu Ti-6Al-4V pozwala na zmniejszenie kosztów produkcji, skrócenie czasu obróbki ale też zwiększenie niezawodności procesu obróbki.

Multi-axis milling using tools torusowych is used in the aviation industry for machining curved surfaces of turbine engine compressors and high-pressure turbine blades. Optimization of cutting conditions alloy Ti-6Al-4V allows you to reduce production costs, shorten processing time but also increase the reliability of the machining process.

Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

Optymalizacja frezowanie z wykorzystaniem narzędzi torusowych jest wykorzystywane w firmie HAMILTON SUNDSTRAND do obróbki materiałów żarowytrzymałych kompresorów silnika APU oraz łopatek turbiny wysokiego ciśnienia.

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Referaty

1. Mariusz Mucha, Józef Gawlik, Optimization procedure for cutting conditions on elements made of Ti-6Al-4V alloy, 10th AIRTEC 2015 International Congress

Prace mgr, dr, hab.

Prace doktorskie:

• M.Mucha, promotor: Optymalizacja wydajności obróbki elementów o zarysie krzywoliniowym ze stopów tytanu. Prof. dr hab.inż. Józef Gawlik