

Opracowanie zaawansowanych procesów obróbki HSM trudnoobrabialnych stopów lotniczych

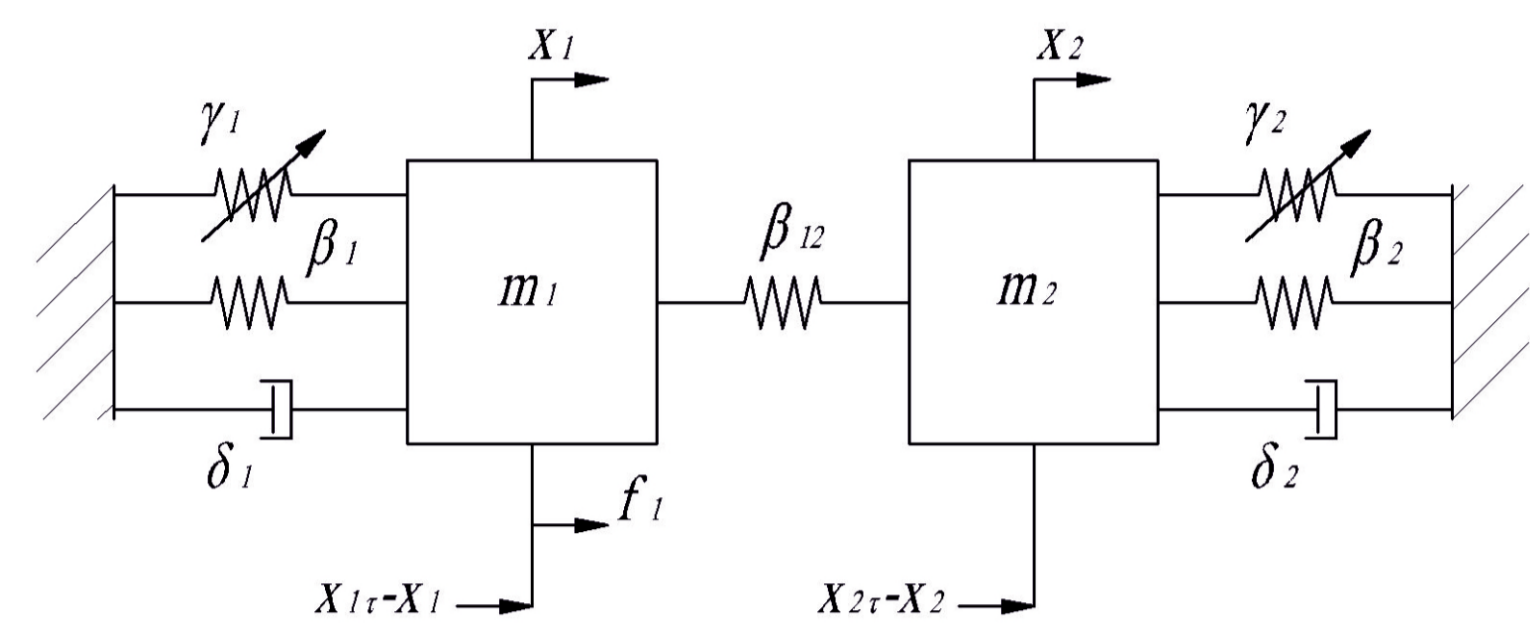
Development of advanced processes of HSM of almost unworkable aeronautical alloys

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Łódzka, Politechnika Warszawska

Wyniki badań Results

Modelowanie procesu obróbki skrawaniem

Modeling of the cutting process



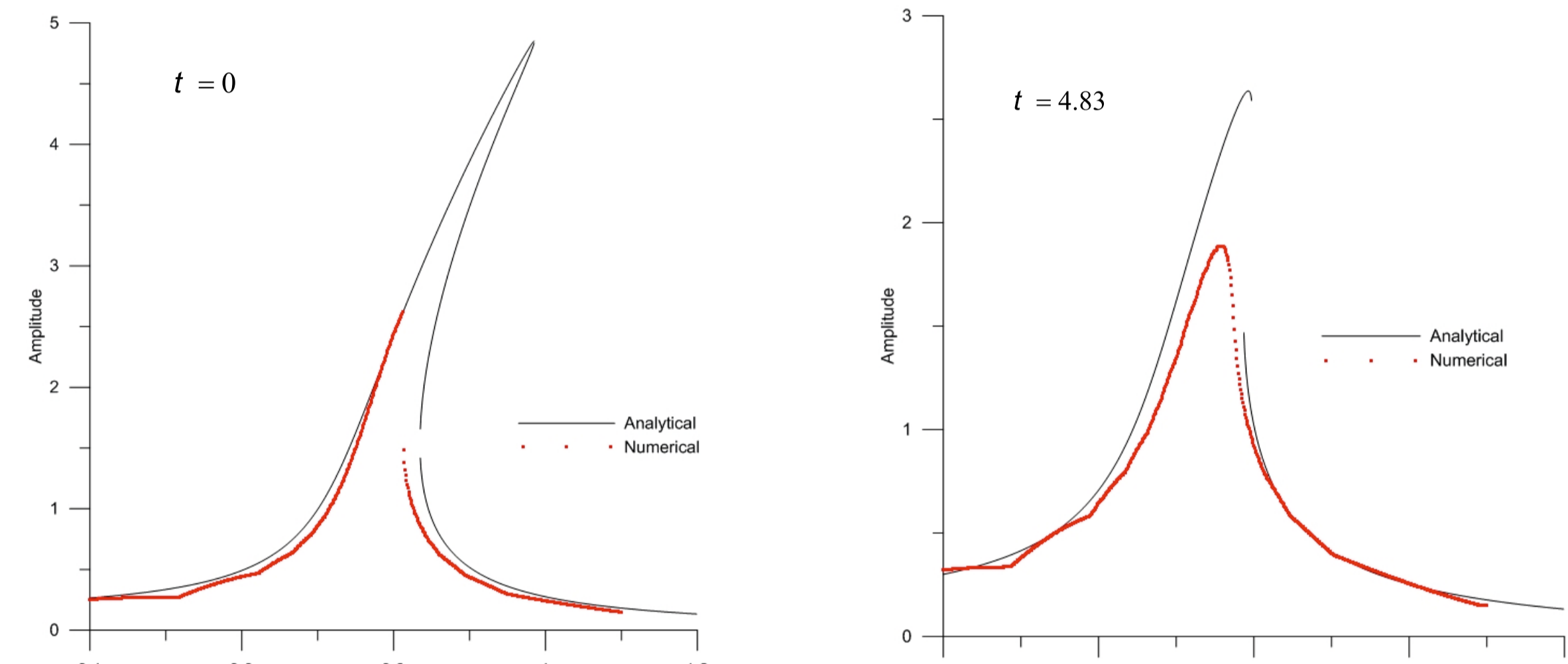
Rys.1. Model skrawania o dwóch stopniach swobody
Fig.1. Two degree of freedom cutting model

$$m_1 \ddot{x}_1(t) + d_1 \dot{x}_1(t) + b_1 x_1(t) + b_{12} [x_1(t) - x_2(t)] + g_1 x_1(t)^3 = a [x_1(t-t) - x_1(t) + x_2(t-t) - x_2(t)] + f_1 \cos(\omega t)$$

$$m_2 \ddot{x}_2(t) + d_2 \dot{x}_2(t) + b_2 x_2(t) - b_{12} [x_1(t) - x_2(t)] + g_2 x_2(t)^3 = -a [x_1(t-t) - x_1(t) + x_2(t-t) - x_2(t)]$$

$$\sin(j_1(t)) = \frac{a_1(T_1) [a (u_{21}^2 - u_{11}^2) \sin(\omega t) - \omega (d_1 u_{11}^4 + d_2 u_{21}^4)]}{f_1 (u_{11}^2 + u_{12} u_{21})}$$

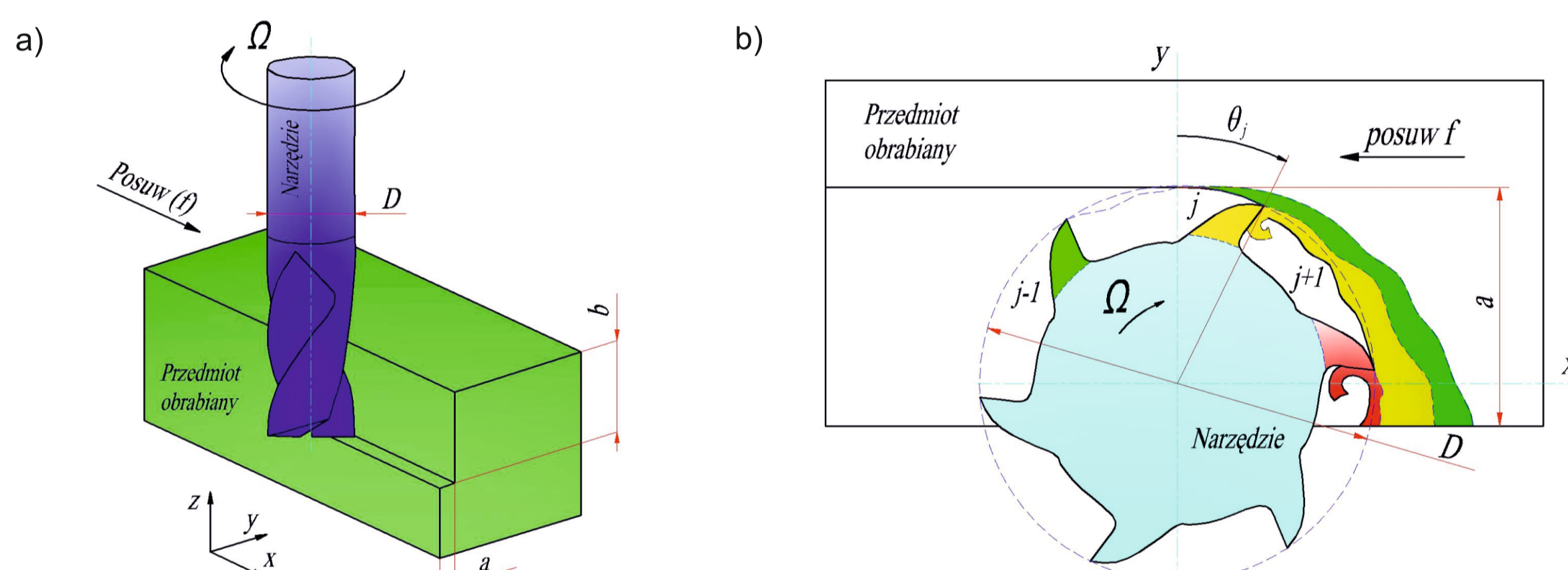
$$\cos(j_1(t)) = \frac{a_1(T_1) [4a (u_{21}^2 - u_{11}^2) \cos(\omega t) + 4a (u_{11}^2 - u_{21}^2) + 3a_1(T_1)^2 (g_1 u_{11}^4 + g_2 u_{21}^4) - 4(\omega^2 - \omega_1^2)]}{4f_1 (u_{11}^2 + u_{12} u_{21})}$$



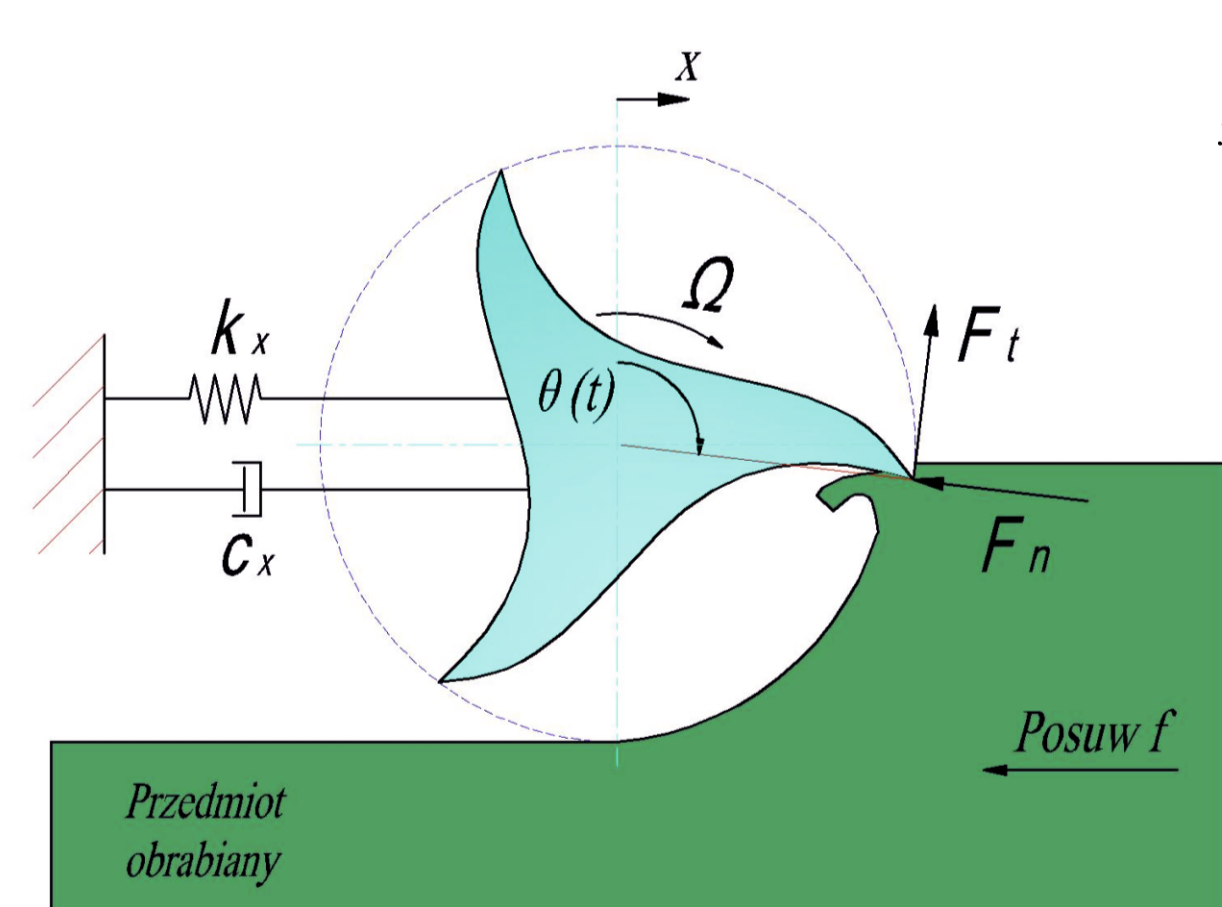
Rys.2. Krzywe rezonansowe w otoczeniu pierwszej częstoty drgań własnych
Fig.2. Resonance curves in the surrounded of the first natural frequency

Modelowanie procesu frezowania

Modeling of the milling process



Rys.3. Proces frezowania: a) schemat procesu, b) efekt ząbkowania ostrzy narzędzia
Fig.3. The milling process: a) general view, b) the meshing effect of tool blades

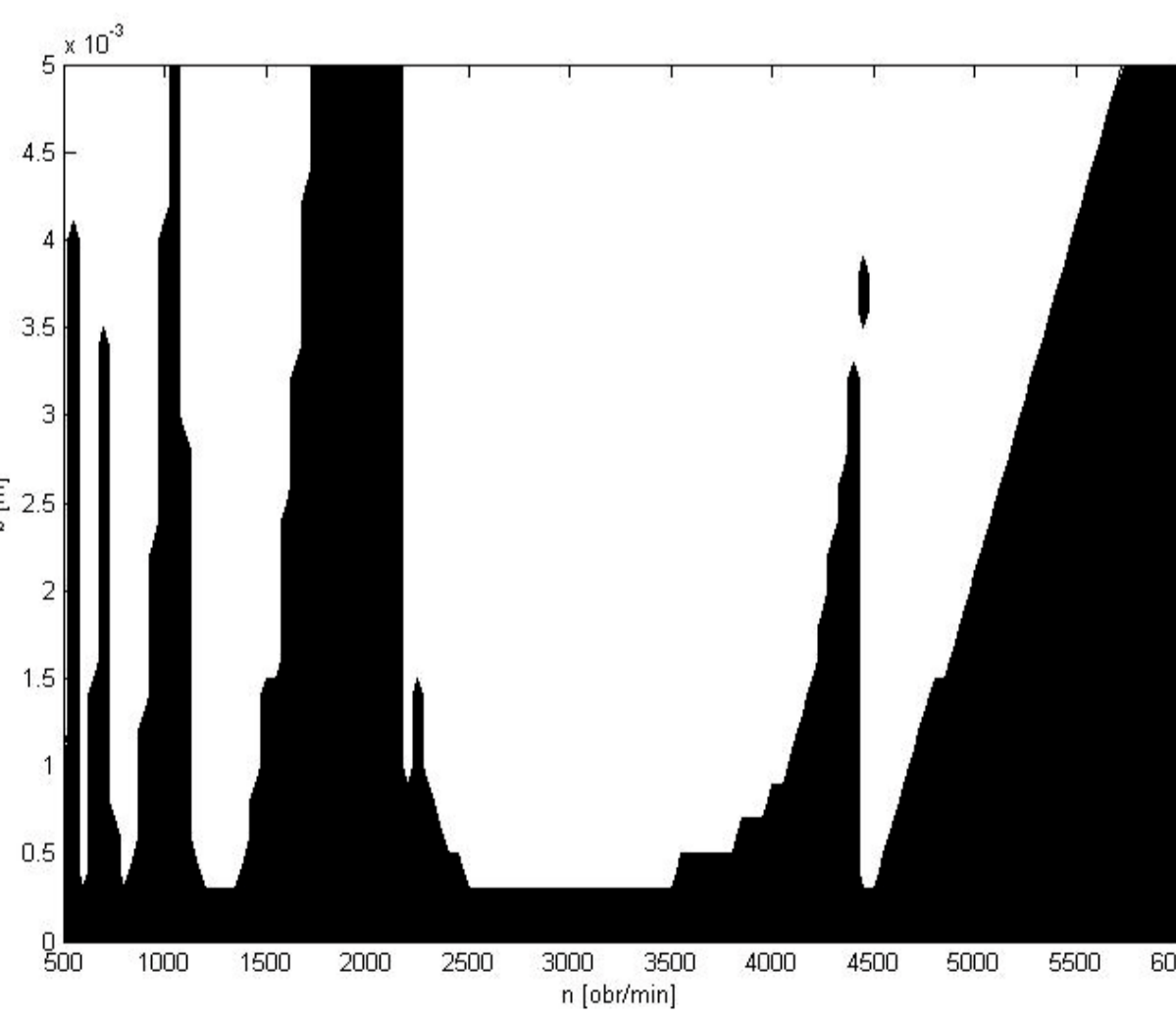


$$x''(t) + 2 \cdot z \cdot w_0 \cdot x'(t) + w_0^2 \cdot x(t) = -\frac{b \cdot h(t)}{m} \cdot [\dot{x}(t) - x(t-t)] - \frac{b \cdot f_0(t)}{m}$$

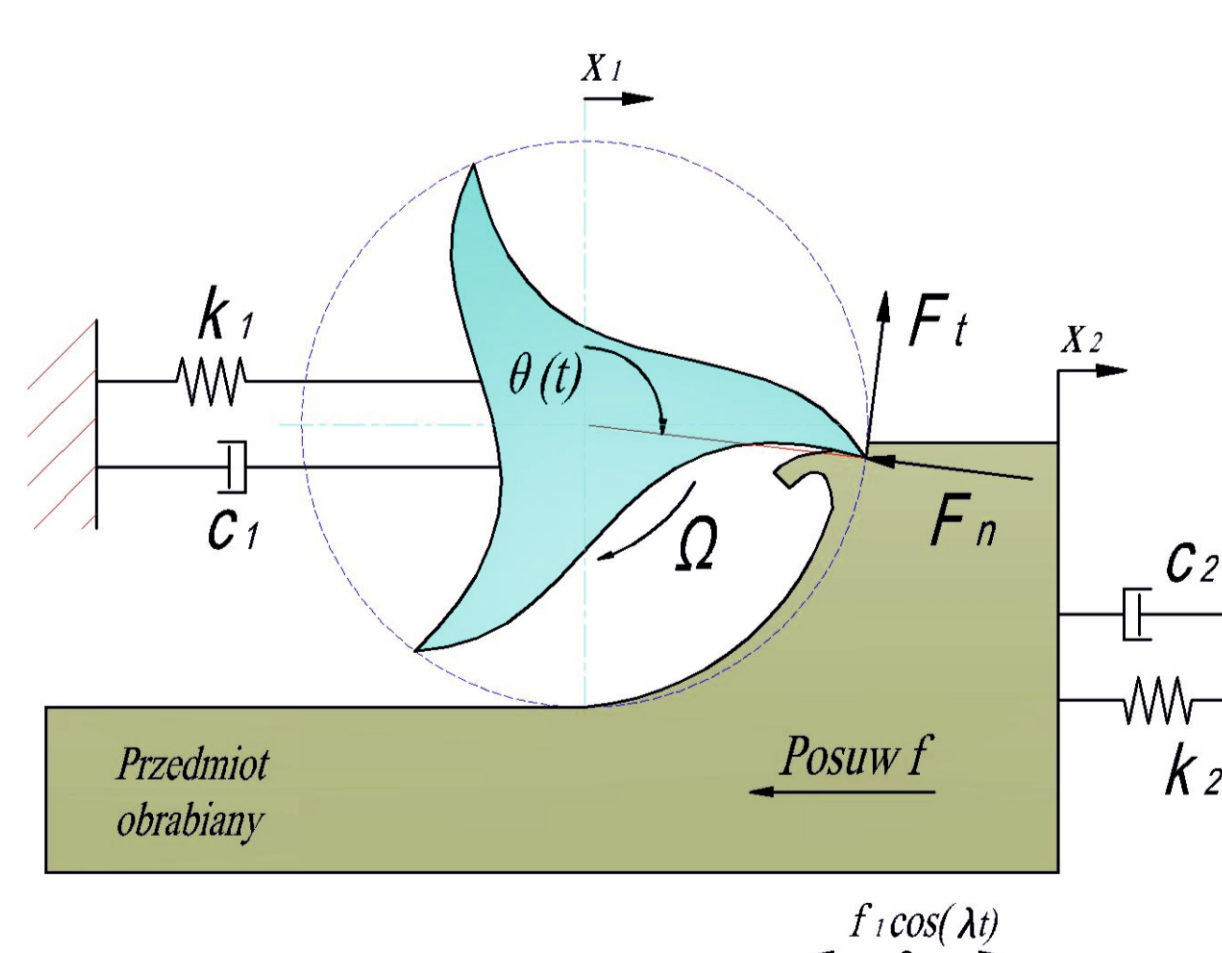
$$h(t) = \sum_{j=1}^n K_j \cdot g_j(t) \cdot [\cos q_j(t) + \tan g \cdot \sin q_j(t)] \cdot \sin q_j(t)$$

$$f_0(t) = \sum_{j=1}^n K_j \cdot g_j(t) \cdot [\cos q_j(t) + \tan g \cdot \sin q_j(t)] \cdot f \cdot \sin q_j(t)$$

Rys.4. Model frezowania o jednym stopniu swobody
Fig.4. One degree of freedom milling model



Rys.6. Wykres stabilności frezowania
Fig.6. Stability lobes diagram



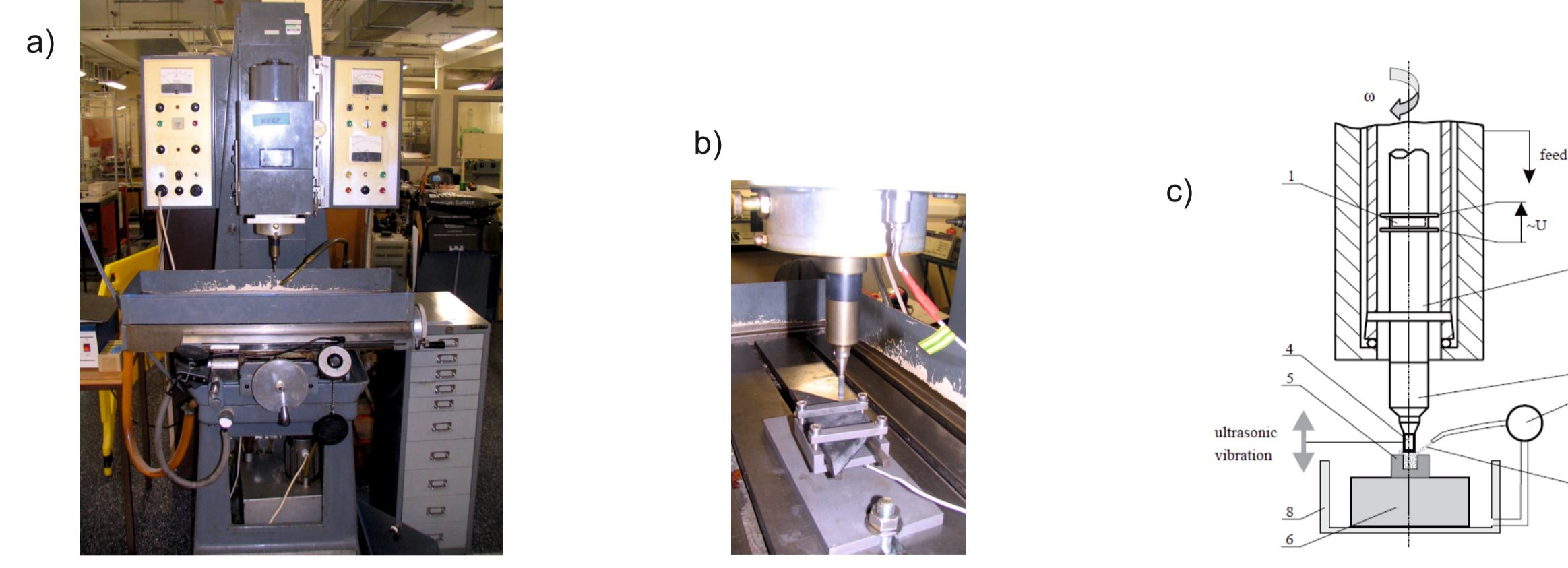
Rys.5. Model frezowania o dwóch stopniach swobody z wymuszeniem zewnętrznym
Fig.5. Two degree of freedom milling model with external excitation

$$x_1''(t) + 2 \cdot z_1 \cdot w_{01} \cdot x_1'(t) + w_{01}^2 \cdot x_1(t) = -\frac{b \cdot K_1}{m_1} \sum_{j=1}^n g_j(t) \cdot [\cos q_j(t) + \tan g \cdot \sin q_j(t)] \cdot \sin q_j(t) + f_1 \cos(\omega t)$$

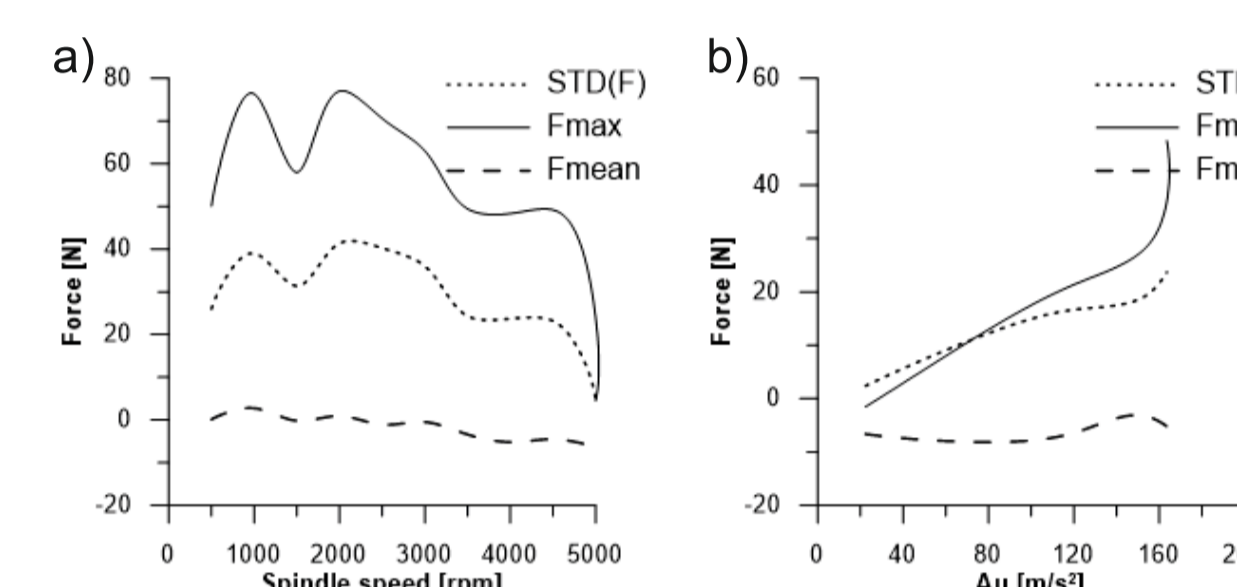
$$x_2''(t) + 2 \cdot z_2 \cdot w_{02} \cdot x_2'(t) + w_{02}^2 \cdot x_2(t) = -\frac{b \cdot K_2}{m_2} \sum_{j=1}^n g_j(t) \cdot [\cos q_j(t) + \tan g \cdot \sin q_j(t)] \cdot \sin q_j(t) + f_2 \cos(\omega t)$$

Analiza skrawalności kompozytu węglowego metodą "ultrasonic drilling"

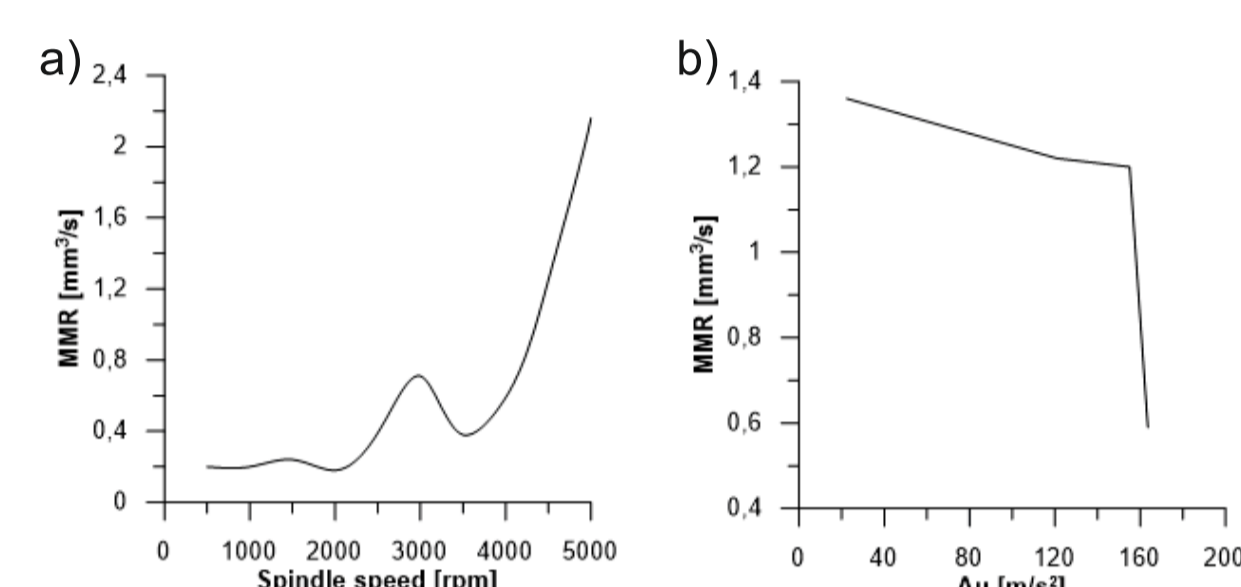
Analysis of composite machinability using ultrasonic drilling



Rys.7. "Ultrasonic drilling": a) stanowisko pomiarowe, b) układ pomiarowy, c) schemat urządzenia "ultramill"
Fig.7. Ultrasonic drilling: a) test bench, b) measuring system, c) schematic diagram of ultramill



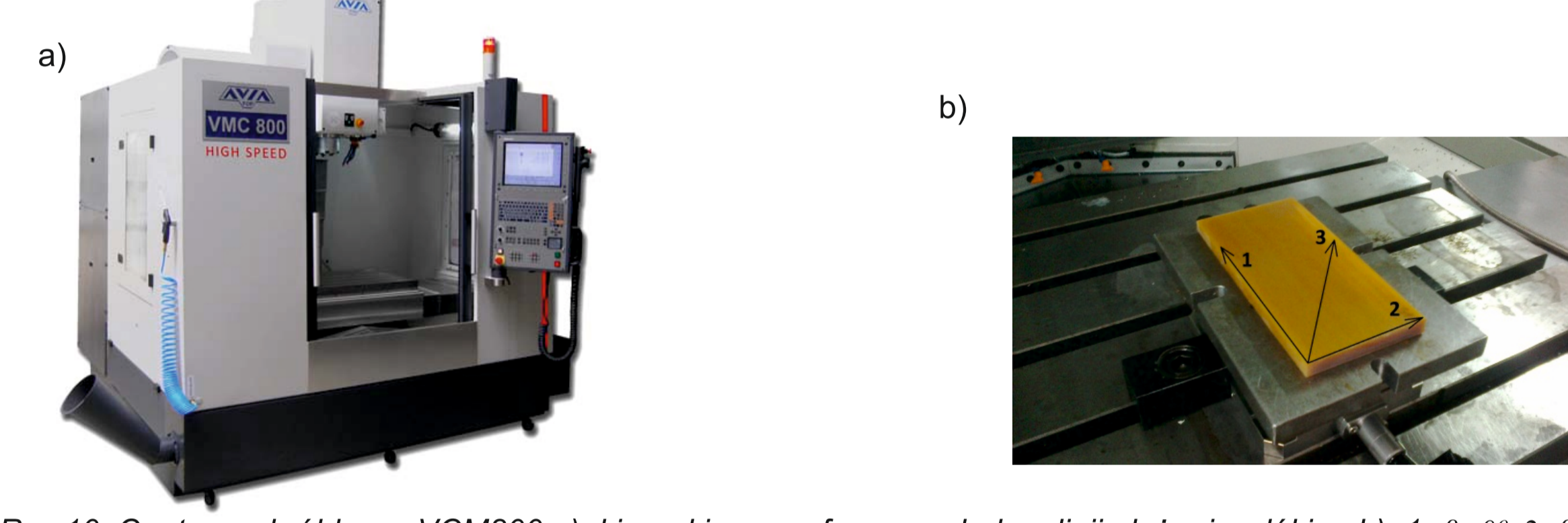
Rys.8. Wartość siły Fz w funkcji: a) prędkości obrotowej wrzeciona, b) amplitudy drgań ultrasonicznych
Fig.8. Force value Fz as a function: a) spindle speed, b) vibration amplitude of ultrasonic



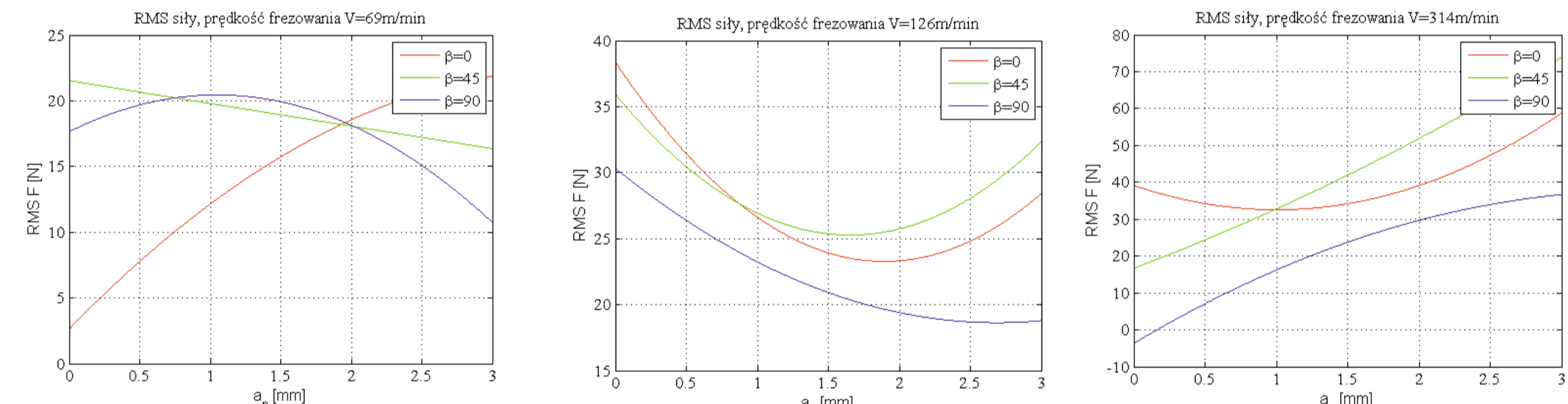
Rys.9. Wydajność skrawania w funkcji: a) prędkości obrotowej wrzeciona, b) amplitudy drgań ultrasonicznych
Fig.9. Removal rate as a function: a) spindle speed, b) vibration amplitude of ultrasonic

Badanie skrawalności kompozytu z włóknami szklanymi

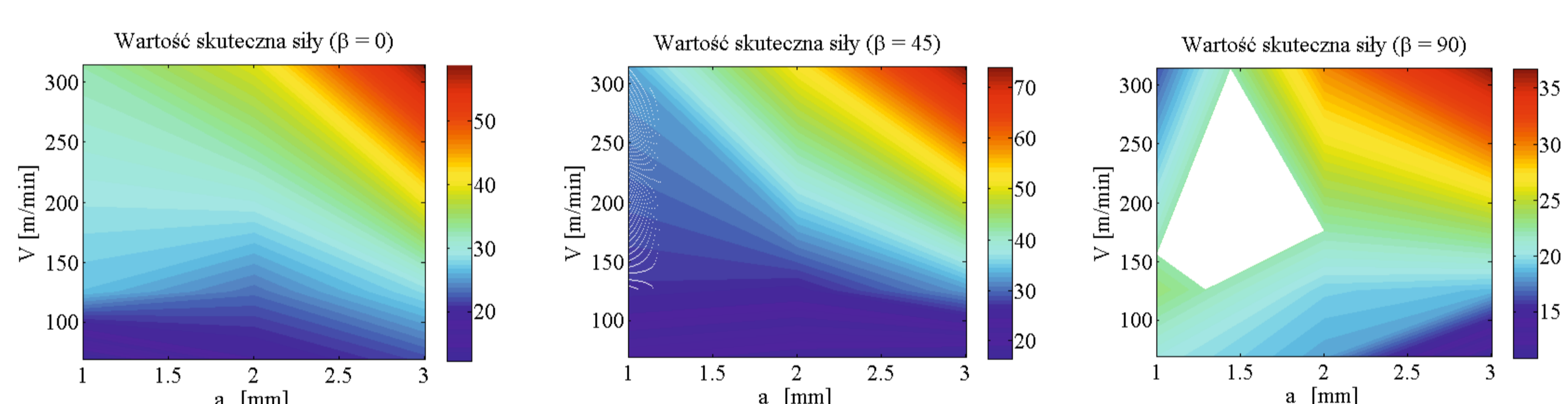
Machinability study of glass fiber composite



Rys.10. Centrum obróbkowe VCM800 a, kierunki posuw frezu względem linii ułożenia włókien b): 1-β=0°, 2-β=90°, 3-β=45°
Fig.10. Machining center VCM800 a, the tool feed directions against the fibers lines set b): 1-β=0°, 2-β=90°, 3-β=45°



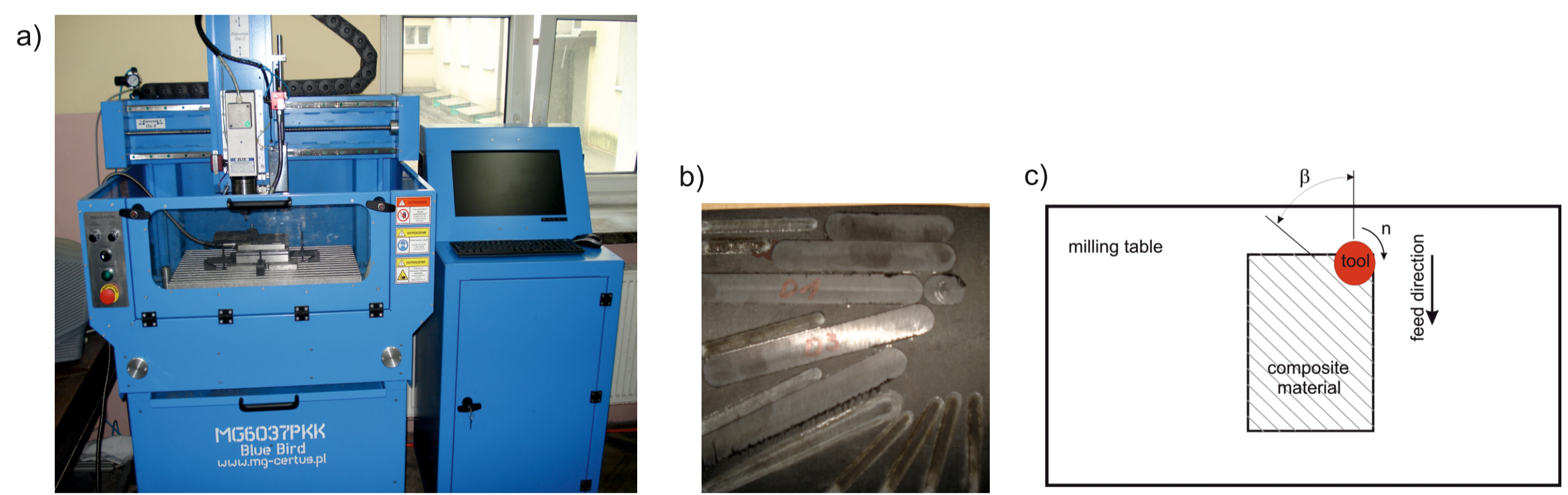
Rys.11. Zależność wartości skutecznej siły frezowania w funkcji głębokości skrawania
Fig.11. Relationship of effective cutting force as a function depth of cut



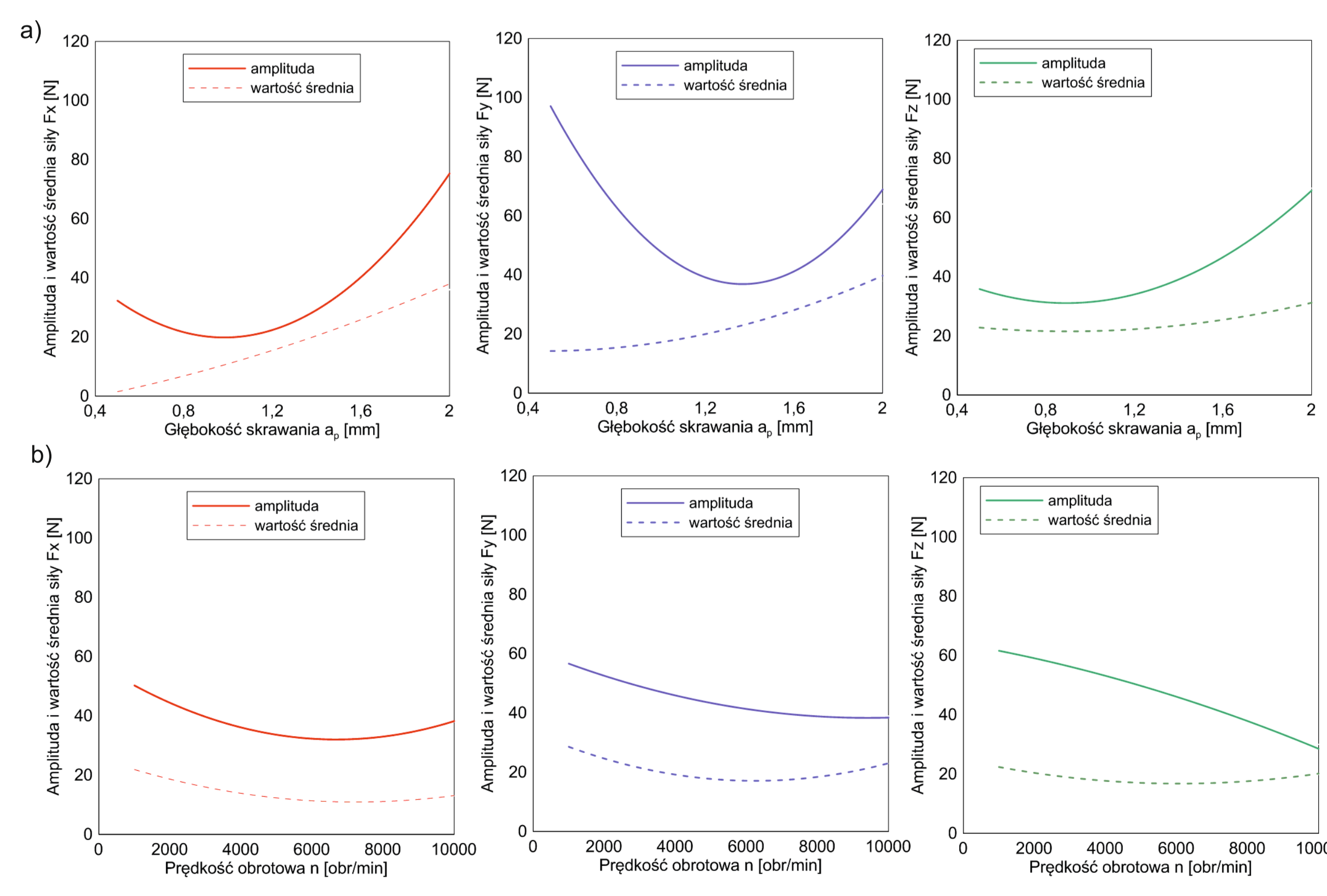
Rys.12. Zależność wartości skutecznej siły frezowania w funkcji prędkości i głębokości skrawania
Fig.12. Relationship of effective cutting force as a function spindle speed and depth of cut

Badanie skrawalności kompozytu węglowo-epoksydowego

Machinability study of carbon-epoxy composite



Rys.13. Frezarka CNC MG6037PKK a), materiał po obróbce b), schemat ułożenia materiału c)
Fig.13. Milling machine CNC MG6037PKK a), material after treatment b), schematic arrangement of material



Rys.14. Charakterystyki sił skrawania w funkcji prędkości obrotowej: a) β=0°, b) β=60°
Fig.14. Characteristics of cutting forces as a function of spindle speed: a) β=0°, b) β=60°

Wnioski Conclusions

- Uzyskano rozwiązanie analityczne modelu skrawania o dwóch stopniach swobody, które zweryfikowano numerycznie (two degrees of freedom model of cutting process is solved and verified numerically).
- Metoda "ultrasonic drilling" wykazała lepszą wydajność i dużo większą trwałość narzędzia w porównaniu do obróbki tradycyjnej zwłaszcza w odniesieniu do materiałów kompozytowych (ultrasonic drilling is more efficient method of composite material drilling).
- W metodzie "ultrasonic drilling" zdecydowany wpływ na obróbkę mają wysokie prędkości obrotowe i niskie wartości przyspieszeń (ultrasonic drilling is the most efficient when high speed and small displacement are applied).
- Istotny wpływ na proces obróbki oraz jakość powierzchni kompozytu z włóknami szklanymi oraz węglowymi ma kierunek ułożenia włókien (direction of carbon and glass fibres has important meaning during machining).
- W badaniach doświadczalnych procesu frezowania kompozytu z włóknami szklanymi wykazano znaczące ekstrema siły skutecznej obróbki dla prostopadłego posuwu względem linii ułożenia włókien oraz kąta 45 stopni (extrema of cutting force are observable in case of specific position of fibres).
- W oparciu o wielo-rozdzielczą analizę eksperymentalnych modów oraz analizę rekurencji uzyskano jakościowe i ilościowe własności odpowiedzi dynamicznych układu (dynamical response of cutting system is analysed on the basis of decomposition method).

Przykłady zastosowania w lotnictwie

Examples of application in aviation



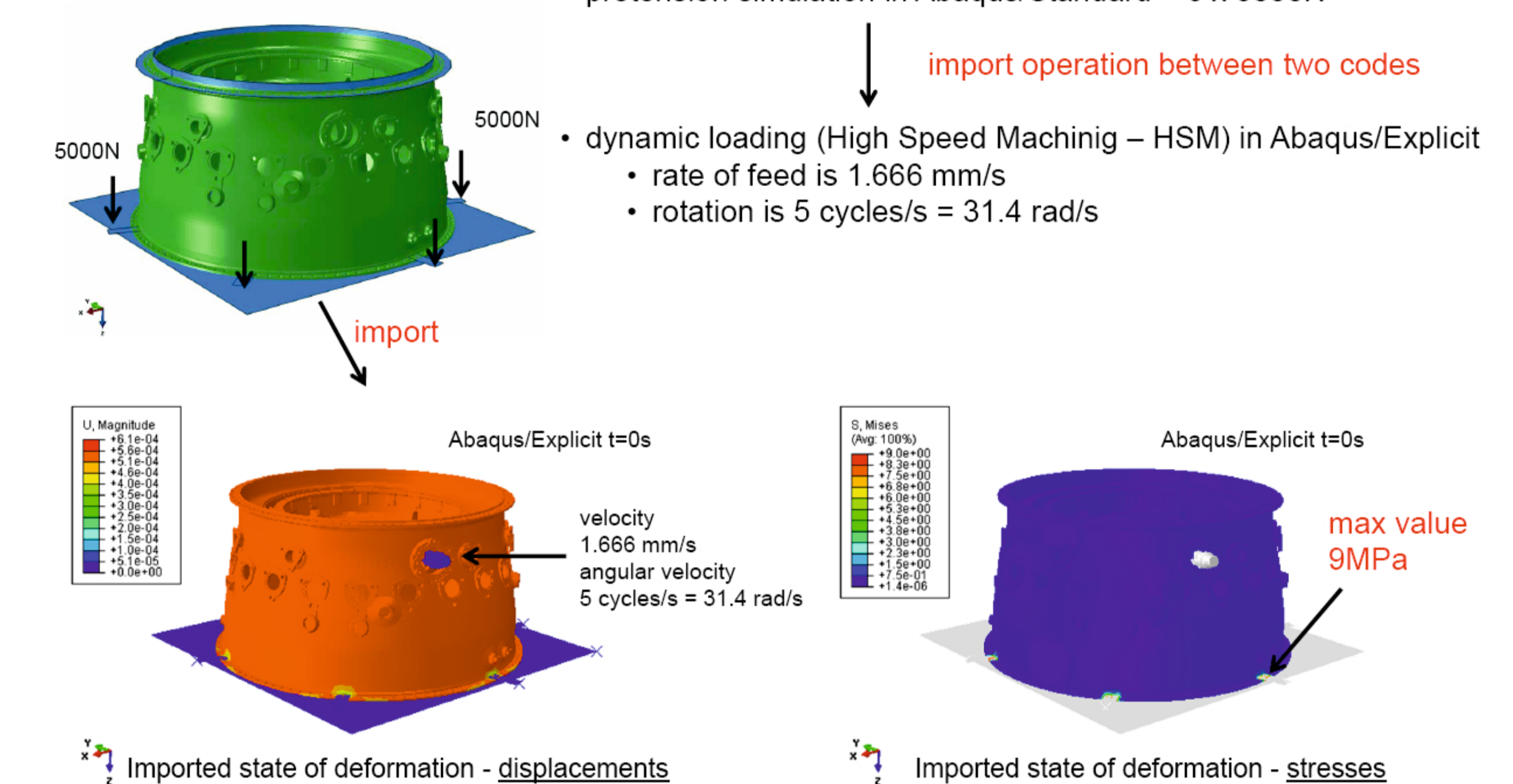
Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym

Collaboration with aviation industry

- WSK "PZL-Rzeszów" SA - Skrawanie elementów cienkościennych wykonanych z trudnoobrabialnych stopów lotniczych. Celem badań jest uzyskanie lepszej dokładności wymiarów - kształtowej elementu obrabianego a także skrócenie czasu obróbki
- WSK "PZL-Rzeszów" SA - Cutting of thin - walled elements made of superalloys

CASE I and II

Milling - Machining simulation of diffuser hole with pretension (Figure)
Two steps simulation:
• pretension simulation in Abaqus/Standard - 6 x 5000N
• dynamic loading (High Speed Machining - HSM) in Abaqus/Explicit
• rate of feed is 1.666 mm/s
• rotation is 5 cycles/s = 31.4 rad/s



Wskaźniki realizacji celów projektu

Indicators of the project

Referaty

- October 22, 2012 Lublin, Poland. Workshop on Nonlinear Dynamic Phenomena in Mechanical, Aerospace, and Civil Engineering within 7.FP CEMCAST project. Rafał Rusinek, Krzysztof Kręć, Marek Borowiec, Andrzej Weremczuk, Jerzy Warmiński. Lecture: "Dynamics of Machining of Composites and Materials for Aviation Industry".

Publikacje

- Litak G., Kręć K., Rusinek R. Cutting force response in milling of Inconel: Analysis by wavelet and Hilbert-Huang Transforms. Latin American Journal of Solids and Structures, LAJSS, Vol. 10, No 1 (2013).
- Litak G., Polyakov Y.S., Timashev S. F. and Rusinek R., Dynamics of Stainless Steel Turning: Analysis by Flicker-Noise Spectroscopy, Physica A, submitted.
- Rusinek R., Kręć K., Warmiński J. A problem of stability in milling process of materials used in aviation industry. IUTAM Symposium on Nonlinear Dynamics for Advanced Technologies and Engineering Design, [Ed.:] Rega Giuseppe, Wiercigroch Marian - Dordrecht: SPRINGER, 2013, s. 235-247.

Prace inż., mgr, dr, hab.

Prace inżynierskie obronione:

- Małgorzata Jeleniewska: Wpływ prędkości skrawania na wartość sił podczas toczenia ortogonalnego - badania modelowe. Promotor: dr inż. Rafał Rusinek
- Piotr Przech: Wpływ głębokości skrawania na wartość sił podczas toczenia ortogonalnego - badania modelowe. Promotor: dr inż. Rafał Rusinek

Prace inżynierskie planowane

- Marta Cichosz: Badania procesu wiercenia materiałów kompozytowych stosowanych w przemyśle lotniczym. Promotor: dr inż. Rafał Rusinek

Prace doktorskie

- Tytuł: Analiza drgań nieliniowych układów mechanicznych z opóźnieniem czasowym
Autor: mgr inż. Andrzej Weremczuk
Promotor: prof. dr hab. inż. Jerzy Warmiński, Promotor pomocniczy: dr inż. Rafał Rusinek
Status: przewód doktorski otwarty 23.05.2012

Prace habilitacyjne

- Tytuł: Nieliniowa dynamika procesu skrawania - analiza i modelowanie
Autor: dr inż. Rafał Rusinek
zatwierdzenie : 7 czerwca 2013