Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym
Modern material technologies in aerospace industry

INNOWACYJNA GOSPODARKA
NARODOWA STRATEGIA SPÓJNOŚCI

UNIA EUROPEJSKA
EUROPEJSKI FUNDUSZ ROZWOJU REGIONALNEGO

KONFERENCJA
RADY PARTNERÓW CZT AERONET
i PANELE EKSPERTÓW
23 - 24 Czerwca 2014

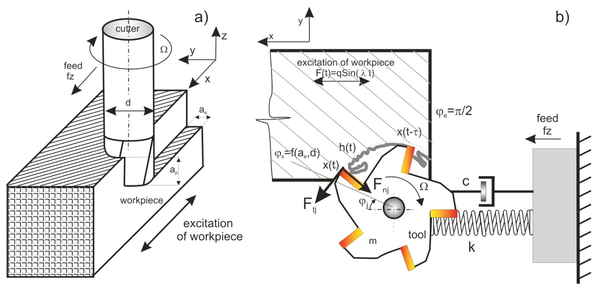
ZB 1

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

Eliminacje zjawiska chatter w procesie obróbki materiałów kompozytowych
The chatter phenomena elimination in machinning process of composite materials



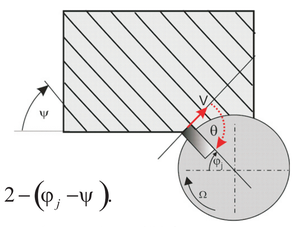
Rys.1. Model frezowania współbieżnego kompozytu 3D (a) oraz 2D (b)
Fig.1. One degree of freedom model of down-milling, 3D (a) and 2D (b) for composite milling

Równanie ruchu modelu frezowania kompozytu:

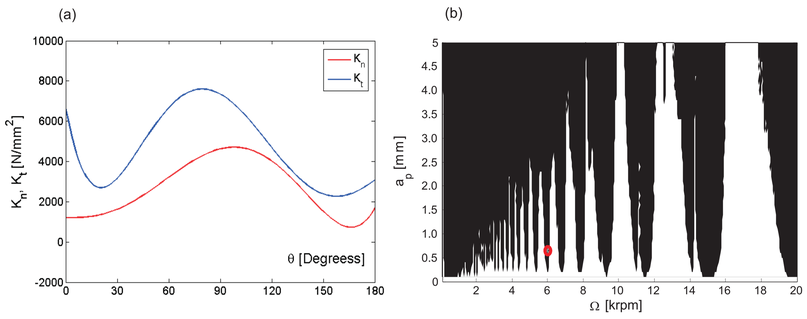
$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = a_p h(t)^{\kappa} \left(K_t \sin\varphi - K_n \cos\varphi\right) g_j,$$

$$h_j = \left[f_z + x(t) - x(t-\tau) \right] \cos\varphi_j - q \sin(\lambda t),$$

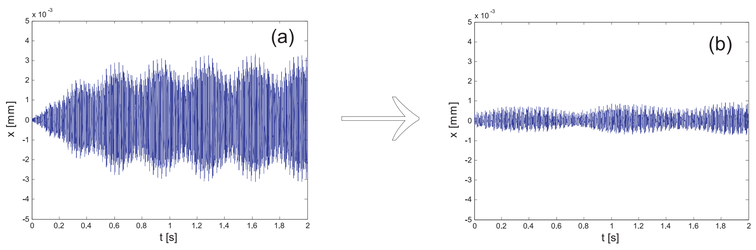
$$\theta = \pi / 2 - (\varphi_j - \psi).$$



Rys.2. Modelowanie oriętacji włókien laminatu do analizy procesu frezowania współbieżnego
Fig.2. Modelling of fibre orientation of unidirectional laminate for down milling process

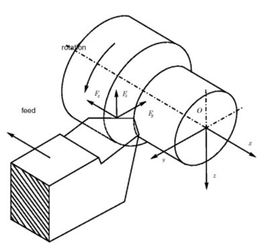


Rys.3. Zmienność parametrów siły skrawania Kt i Kn ze względu na oriętację włokien Θ (a), krzywa workowa frezowania kompozytu dla Ψ=45° (b)
Fig.3. Variation of specific cutting forces Kt and Kn depending on fibre orientation Θ (a), SLD for composite model for Ψ=45° (b)

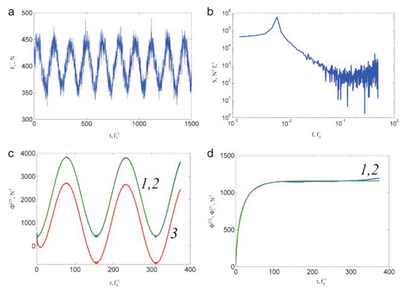


Rys.4. Przebieg czasowy drgań frezu bez pobudzania (a) i z pobudzaniem przedmiotu obrabianego (b)
Fig.4. Time history of tool vibration without activation (a) and activation (b) of workpiece

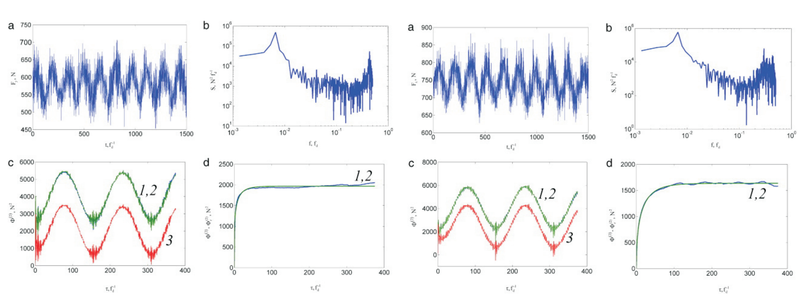
Badania doświadczalne - toczenie stali kwasoodpornej EZ6NCT25
Experimental studies - turning of stainless steel EZ6NCT25



Rys.5. Model fizyczny procesu toczenia z efektem regeneracyjnym
Fig.5. Physical model of a regenerative turning process

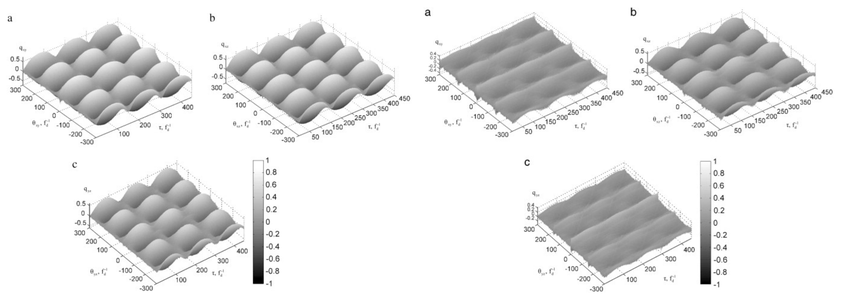


Rys.6. Kierunek Fx a) przebieg czasowy, b) widmo mocy, c) funkcja strukturalna $F^{(2)}(t)$, d) składowa stochastyczna $F^{(2)}(t)$
Fig.6. Direction Fx a) time series, b) power spectrum, c) structure functions $F^{(2)}(t)$, d) stochastic component of $F^{(2)}(t)$



Rys.7. Kierunek Fy a) przebieg czasowy, b) widmo mocy, c) funkcja strukturalna $F^{(2)}(t)$, d) składowa stochastyczna $F^{(2)}(t)$
Fig.7. Direction Fy a) time series, b) power spectrum, c) structure functions $F^{(2)}(t)$, d) stochastic component of $F^{(2)}(t)$

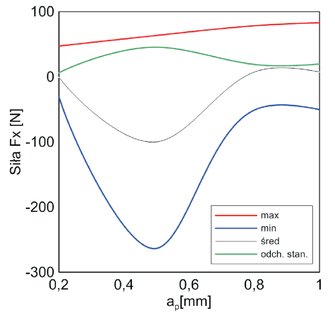
Rys.8. Kierunek Fz a) przebieg czasowy, b) widmo mocy, c) funkcja strukturalna $F^{(2)}(t)$, d) składowa stochastyczna $F^{(2)}(t)$
Fig.8. Direction Fz a) time series, b) power spectrum, c) structure functions $F^{(2)}(t)$, d) stochastic component of $F^{(2)}(t)$



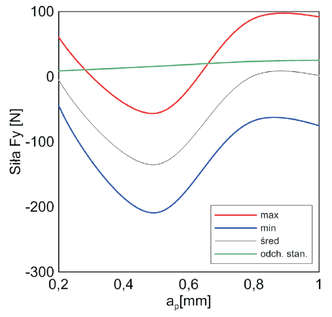
Rys.9. Korelacja krzyżowa h_d=1mm
Fig.9. Cross - correlation h_d=1mm

Rys.10. Korelacja krzyżowa h_d=2.3mm
Fig.10. Cross - correlation h_d=2.3mm

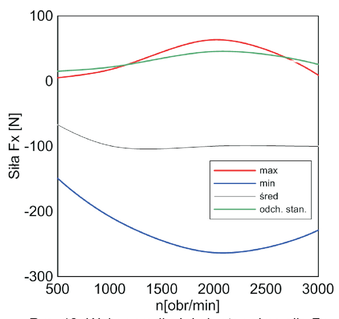
Badania doświadczalne - frezowanie kompozytu metalicznego AK20 z grafitem
Experimental studies - milling of metallic composite AK20 with graphite



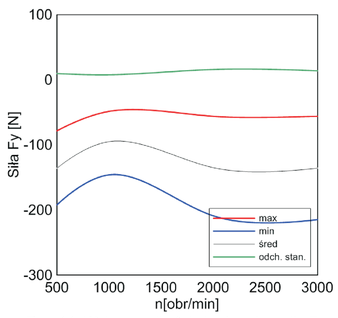
Rys. 11. Wpływ głębokości skrawania na siłę Fx
Fig.11. Influence of depth of cut to force Fx



Rys. 12. Wpływ głębokości skrawania na siłę Fy
Fig.12. Influence of depth of cut to force Fy

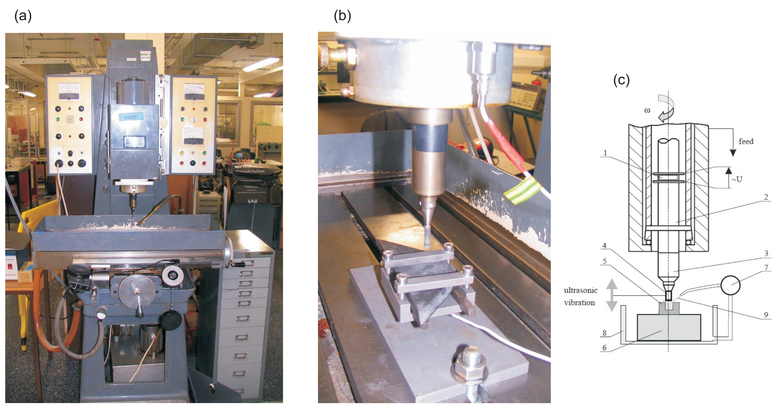


Rys. 13. Wpływ prędkości obrotowej na siłę Fx
Fig.13. Influence of spindle speed to force Fx

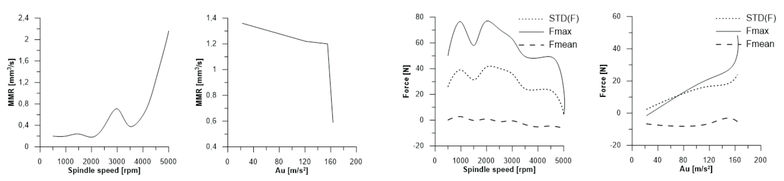


Rys. 14. Wpływ prędkości obrotowej na siłę Fy
Fig.14. Influence of spindle speed to force Fy

Analiza skrawalności kompozytu węglowego metodą "ultrasonic drilling"
Analysis of composite machinability using ultrasonic drilling



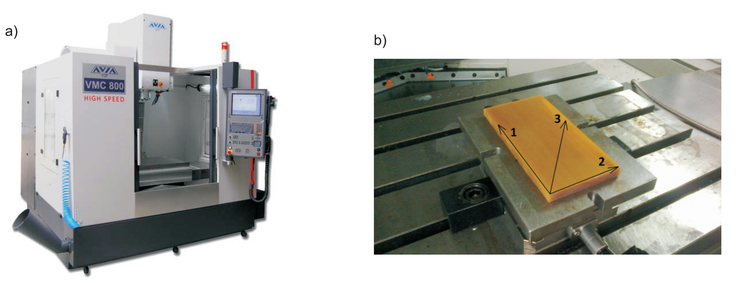
Rys.15. "Ultrasonic drilling": a) stanowisko pomiarowe, b) układ pomiarowy, c) schemat urządzenia "ultramill"
Fig.15. Ultrasonic drilling: a) test bench, b) measuring system, c) schematic diagram of ultramill



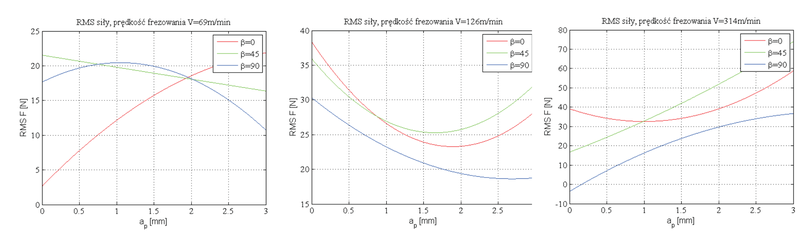
Rys.16. Wydajność skrawania w funkcji: a)prędkości obrotowej wrzeciona, b) amplitudy drgań ultrasonic
Fig.16. Removal rate as a function: a) spindle speed, b) vibration amplitude of ultrasonic

Rys.17. Wartość siły Fz w funkcji: a)prędkości obrotowej wrzeciona, b) amplitudy drgań ultrasonic
Fig.17. Force value Fz as a function: a) spindle speed, b) vibration amplitude of ultrasonic

Badanie skrawalności kompozytu z włóknami szklanymi
Machinability study of glass fiber composite



Rys.18. Centrum obróbkowe VCM800 a), kierunki posuw frezu względem linii ułożenia włókien b): 1 -β=0°, 2 -β=90°, 3 -β=45°
Fig.18. Machining center VCM800 a), the tool feed directions against the fibers lines set b): 1 -β=0°, 2 -β=90°, 3 -β=45°



Rys.19. Zależność wartości skutecznej siły frezowania w funkcji głębokości skrawania
Fig.19. Relationship of effective cutting force as a function depth of cut

Wnioski
Conclusions

- Badanie stabilności procesu frezowania przeprowadzone na przykładzie stopu Ti6242 wykazały zasadność użycia nowych miar stabilności opartych na:
  - wykresach rekurencyjnych,
  - parametrach statystycznych,
  - sparametryzowanej analizie rekurencyjności.
- W badaniach doświadczalnych procesu frezowania stali kwasoodpornej wykazano, podczas analizy korelacyjnej, że sprzężenie drgań (sił) w dwóch płaszczyznach jest mniejsze wraz z rosnącą głębokością skrawania.
- Przy większej głębokości skrawania (toczenia) wpływ zjawiska „stick-slip" jest bardziej widoczny niż klasyczny efekt podtrzymania drgań poprzez regenerację śladu.
- Badanie stabilności procesu toczenia przeprowadzone na stali kwasoodpornej wykazały możliwość użycia nowych miar do monitorowania procesu, są to:
  - procedura parametryczna FNS,
  - funkcja korelacji krzyżowej.
- *Analysis of milling process stability on the basis of titanium alloy Ti6242 shows advantages of new stability indicators which are grounded on:*
  - *recurrence plots and recurrence quantification analysis*
  - *ststistical analysis*
- *The cross-correlation analysis shows that the couplings in y–z and y–x planes significantly decrease with increasing depth of cut*
- *at larger cutting depths, the frictional stick-slip phenomenon between the cutting tool and the workpiece, which leads to self-sustained vibrations, becomes more important than the regenerative effect*
- *FNS parameterization procedure, structure function, and cross-correlation function are relatively simple and intuitive analytical tools that may be used to monitor cutting processes and develop new stability maps for nonstandard materials, including stainless steel and composite materials*

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 wymiarowo - kształtowej elementu obrabianego a także skrócenie czasu obróbki
- **PZL Mielec SA** - Stabilność procesów wysokowydajnych. Stability of HSM
- **WSK "PZL-Rzeszów" SA -** Cutting of thin - walled elements made of superalloys

Wskaźniki realizacji celów projektu
Indicators of the project

Publikacje

1. Litak G., Polyakov Y.S, Timashev S.F., Rusinek R.: "***Dynamics of stainless steel turning: Analysis by flicker-noise spectroscopy"*** Physica A, 2013, 392(23) 6052–6063.
2. Warminski J., Warminska A.: ***"Hopf Bifurcations, Quasi-Periodic Oscillations and Frequency Locking Zones in a Self-Excited System Driven by Parametric and External Excitations"*** the ASME 2014 International Design Engineering Technical Conferences, & Computers and Information in Engineering Conference, DETC2014-34079, 2014.

Prace mgr, dr, hab.

Prace inżynierskie obronione:

- Marta Cichosz: ***Badania procesu wiercenia materiałów kompozytowych stosowanych w przemyśle lotniczym.*** Promotor: dr hab. inż. Rafał Rusinek
- Szymon Zbiciak - ***Wyznaczenie charakterystyk sił skrawania w funkcji posuwu i głębokości skrawania, kompozytu metalicznego na bazie aluminium***. Promotor: dr inż. K. Kęcik.
- Nadolny Artur - ***Analiza sił skrawania w procesie frezowania materiału Inconel 625.*** Promotor: dr inż. K. Kęcik.

Prace inżynierskie planowane

- Wojciech Surmacz: ***Badanie wpływu prędkości skrawania materiału kompozytowego z włóknem aramidowym na wielkość sił frezowania*** . Promotor: dr hab. inż. Rafał Rusinek
- Kamil Trochimowicz: ***Ocena wpływu posuwu podczas frezowania materiału kompozytowego z włóknem aramidowym na wielkość sił skrawania***. Promotor: dr hab. inż. Rafał Rusinek
- Agnieszka Kołacz: ***Badanie wpływu głębokości skrawania materiału kompozytowego z włóknem aramidowym na charakterystykę i wielkość sił frezowania***. Promotor: dr hab. inż. Rafał Rusinek

Prace doktorskie planowane

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

PROJEKT WSPÓŁFINANSOWANY PRZEZ UNIĘ EUROPEJSKĄ ZE ŚRODKÓW EUROPEJSKIEGO FUNDUSZU ROZWOJU REGIONALNEGO