

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

Opracowanie zaawansowanych procesów obróbki HSM trudnoobrabialnych stopów lotniczych

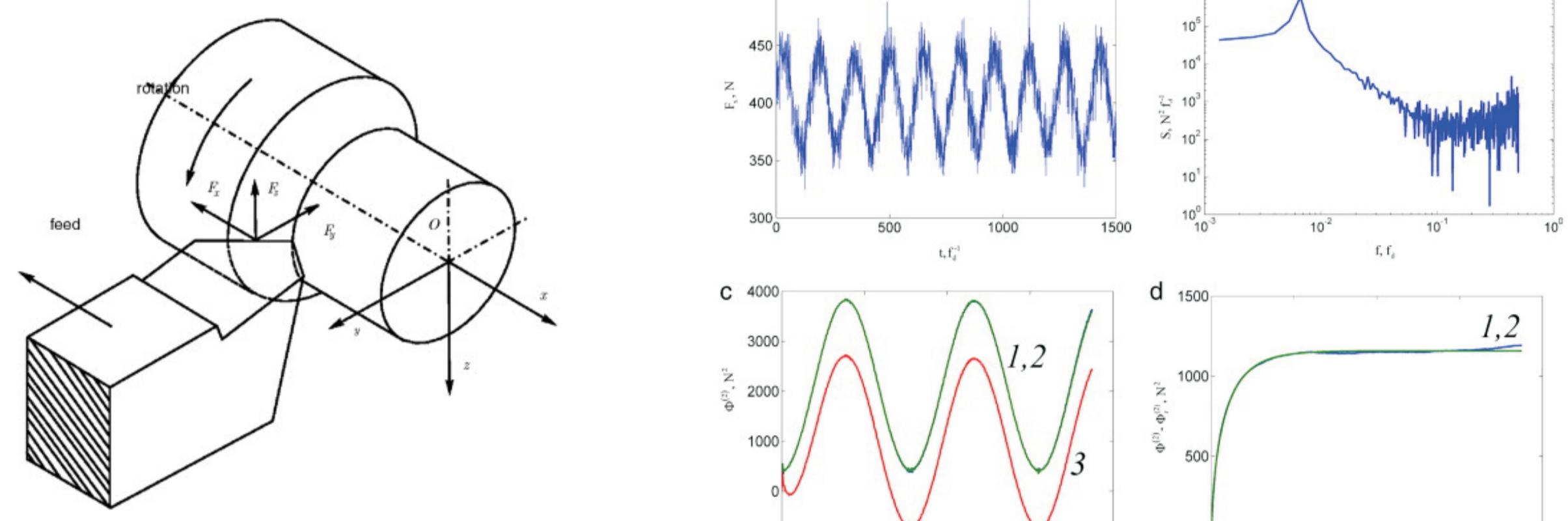
Development of advanced processes of HSM of almost unworkable aeronautical alloys

Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Łódzka, Politechnika Warszawska

Wyniki badań Results

Badania doświadczalne - toczenie stali kwasoodpornej EZ6NCT25

Experimental studies - turning of stainless steel EZ6NCT25



Rys. 2. Kierunek Fx a) przebieg czasowy, b) widmo mocy, c) funkcja strukturalna $F^0(t)$, d) składowa stochastyczna $F^0(t)$

Fig. 2. Direction Fx a) time series, b) power spectrum, c) structure functions $F^0(t)$, d) stochastic component of $F^0(t)$

Rys. 3. Kierunek Fy a) przebieg czasowy, b) widmo mocy, c) funkcja strukturalna $F^0(t)$, d) składowa stochastyczna $F^0(t)$

Fig. 3. Direction Fy a) time series, b) power spectrum, c) structure functions $F^0(t)$, d) stochastic component of $F^0(t)$

Rys. 4. Kierunek Fz a) przebieg czasowy, b) widmo mocy, c) funkcja strukturalna $F^0(t)$, d) składowa stochastyczna $F^0(t)$

Fig. 4. Direction Fz a) time series, b) power spectrum, c) structure functions $F^0(t)$, d) stochastic component of $F^0(t)$

Rys. 5. Korelacja krzyżowa $h=1\text{mm}$

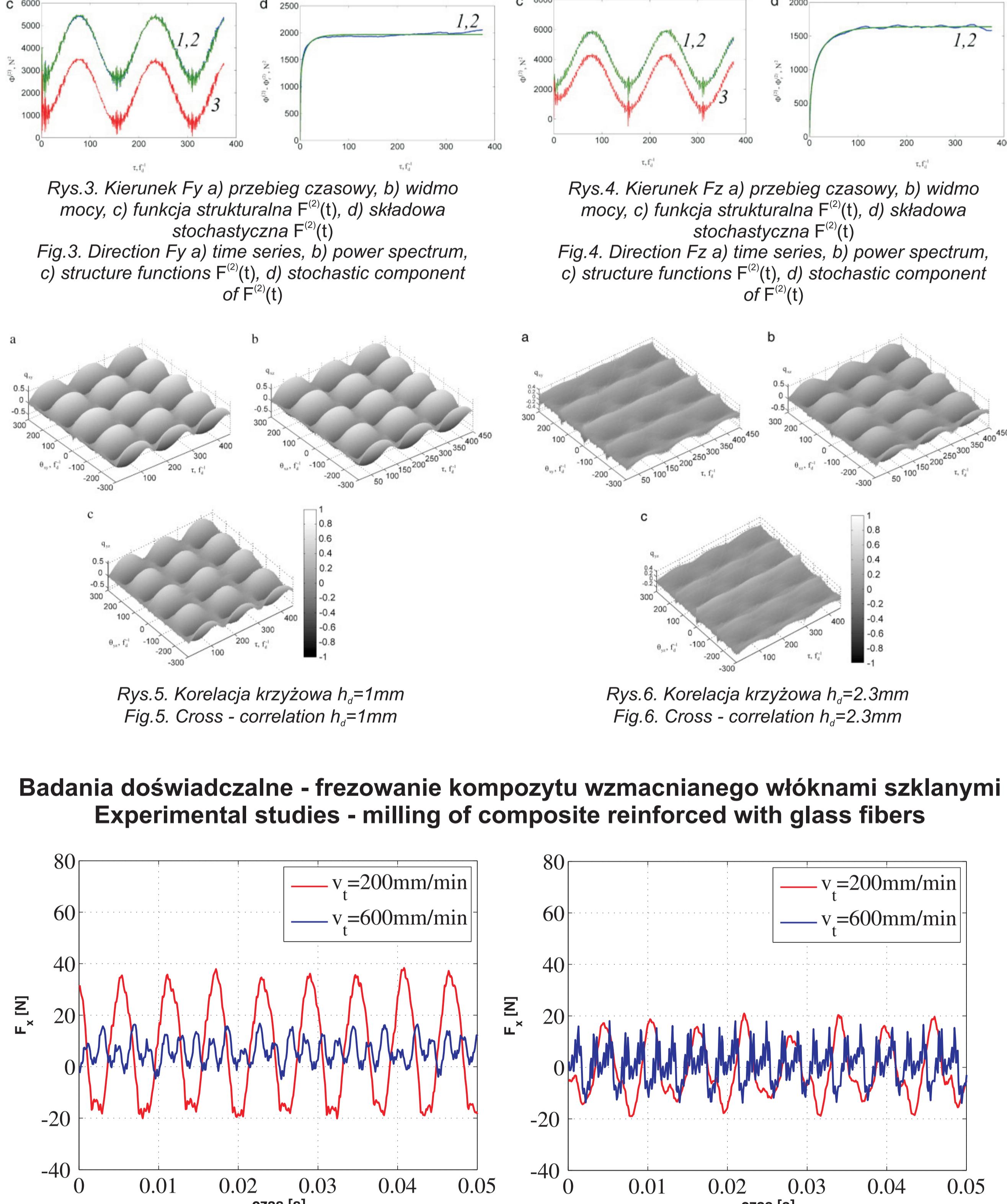
Fig. 5. Cross - correlation $h=1\text{mm}$

Rys. 6. Korelacja krzyżowa $h=2.3\text{mm}$

Fig. 6. Cross - correlation $h=2.3\text{mm}$

Badania doświadczalne - frezowanie kompozytu wzmacnianego włóknami szklanymi

Experimental studies - milling of composite reinforced with glass fibers



Rys. 8. Algorytm obliczeń złożonej entropii wieloskalowej CMSE

Fig. 8. Flow chart of CMSE algorithms

Rys. 9. Schemat uśredniania przy współczynniku skali $\tau=2$ oraz $\tau=3$ w procedurze obliczeń CMSE

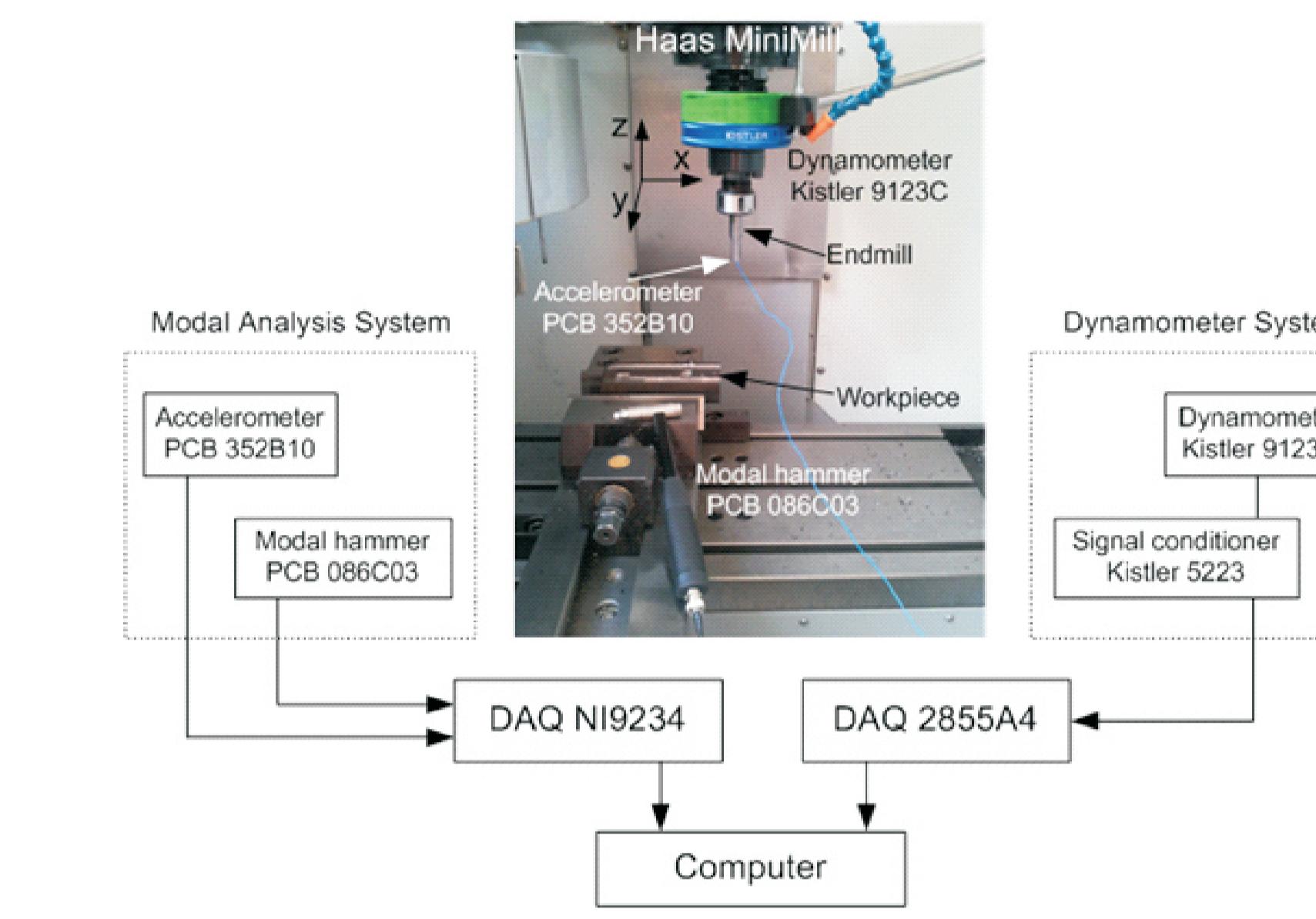
Fig. 9. Schematic illustration of the coarse-graining procedure for scale $\tau=2$ and $\tau=3$

Rys. 10. Zmiany entropii wieloskalowej CMSE generowanej siły F_x względem współczynnika skali τ dla kilku badanych kierunków posuwu frezu, przy prędkości obrotowej wziętej $n=5000\text{obr/min}$ oraz porównanie CMSE dla różnych prędkości ($n=5000\text{obr/min}$ - kolor czerwony i $n=15000\text{obr/min}$ - kolor niebieski)

Fig. 10. Curves of CMSE for milling force F_x via scale factor τ for several analysed directions of cutter tool by spindle $n=5000\text{rpm}$ and also the CMSE comparison at different spindles ($n=5000\text{rpm}$ - red, and $n=15000\text{rpm}$ - blue)

Badania doświadczalne - frezowanie stopu tytanu Ti6242

Experimental studies - milling of titanium alloy Ti6242



Rys. 12. Wykres stabilności wyznaczony oprogramowaniem CutPro9 dla freza o dwóch ostrzech i średnicy 12mm, $a_e=4\text{mm}$, $f=0.05\text{mm}$

Fig. 12. Stability lobe diagram determined by software CutPro9 for two flutes end mill of 12mm diameter, $a_e=4\text{mm}$, $f=0.05\text{mm}$

Rys. 13. Wykres stabilności wyznaczony oprogramowaniem CutPro9 dla freza o dwóch ostrzech i średnicy 12mm, $a_e=4\text{mm}$, $f=0.05\text{mm}$

Fig. 13. Cutting forces F_x , (a), F_y , (b) and torque M_z , (c) podczas frezowania stopu Ti6242 ze stałym wzrostem głębokości skrawania, $n=1860\text{rpm}$, $a_e=4\text{mm}$, $f=0.05\text{mm}$

Rys. 14. RQA siły F_x ; a) determinizm do współczynnika rekurencji (DET/RR), b) L-entropy (Lent), c) laminarność do współczynnika determinizmu (DET/LAM), d) V-entropy (Vent), e) czas uzyskania rekurencji drugiego rzędu (T2), f) V_{max}

Fig. 14. RQA for F_x ; a) determinism to recurrence rate ratio (DET/RR), b) L-entropy (Lent), c) laminarity to determinism ratio (DET/LAM), d) V-entropy (Vent), e) recurrence time of the second order (T2), f) V_{max}

Rys. 15. Wykresy rekurencyjne procesu frezowania stopu Ti6242 przy prędkościach $n=1860\text{obr/min}$, $a_e=4\text{mm}$, $f=0.05\text{mm}$; dla danych momentu M_z : (a) oraz siły (b).

Fig. 15. Recurrence plots for milling Ti6242 alloy at $n=1860\text{rpm}$, $a_e=4\text{mm}$, $f=0.05\text{mm}$; torque M_z : (a), force (b)

Rys. 16. RQA momentu M_z ; a) determinizm do współczynnika rekurencji (DET/RR), b) L-entropy (Lent), c) laminarność do współczynnika determinizmu (DET/LAM), d) V-entropy (Vent), e) czas uzyskania rekurencji drugiego rzędu (T2), f) V_{max}

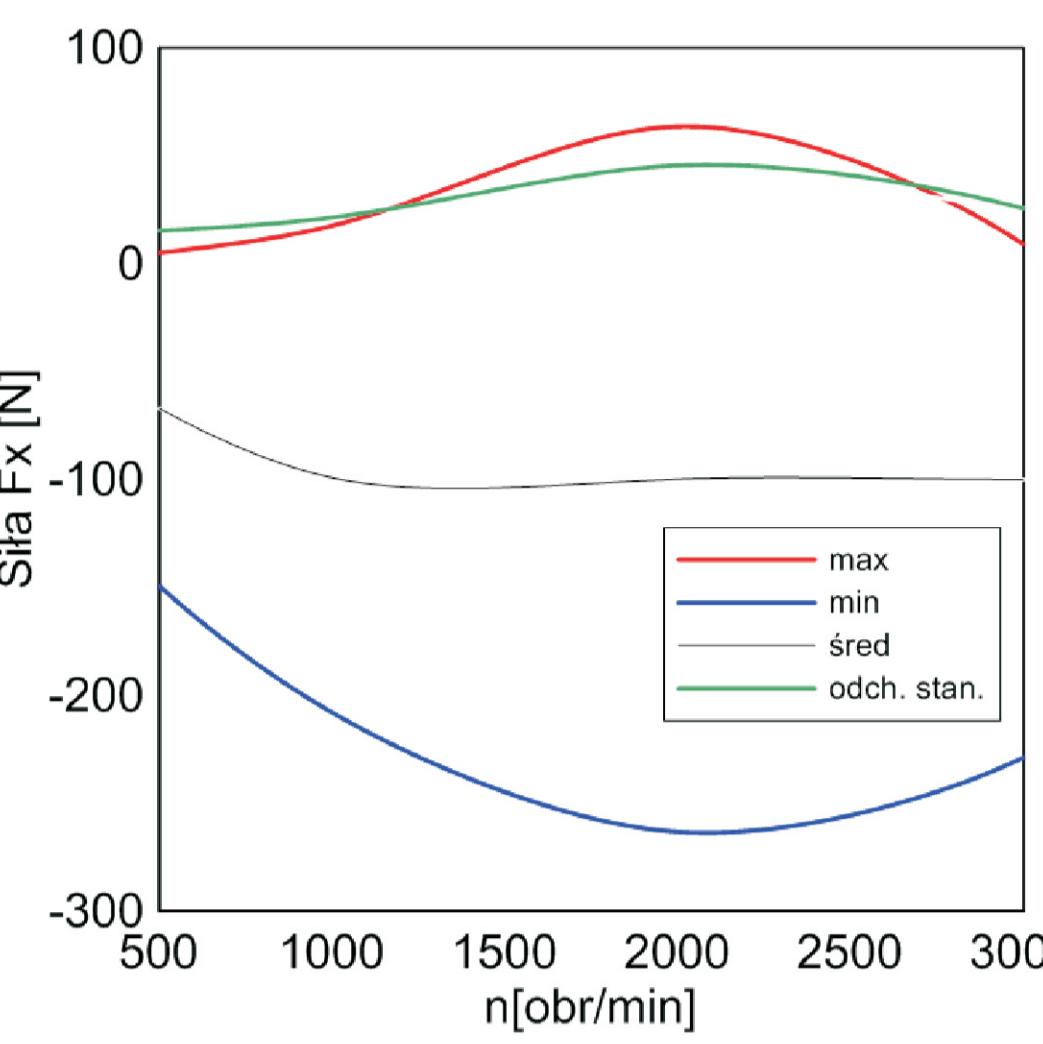
Fig. 16. RQA for M_z ; a) determinism to recurrence rate ratio (DET/RR), b) L-entropy (Lent), c) laminarity to determinism ratio (DET/LAM), d) V-entropy (Vent), e) recurrence time of the second order (T2), f) V_{max}

Rys. 17. Wpływ głębokości skrawania na siłę F_x

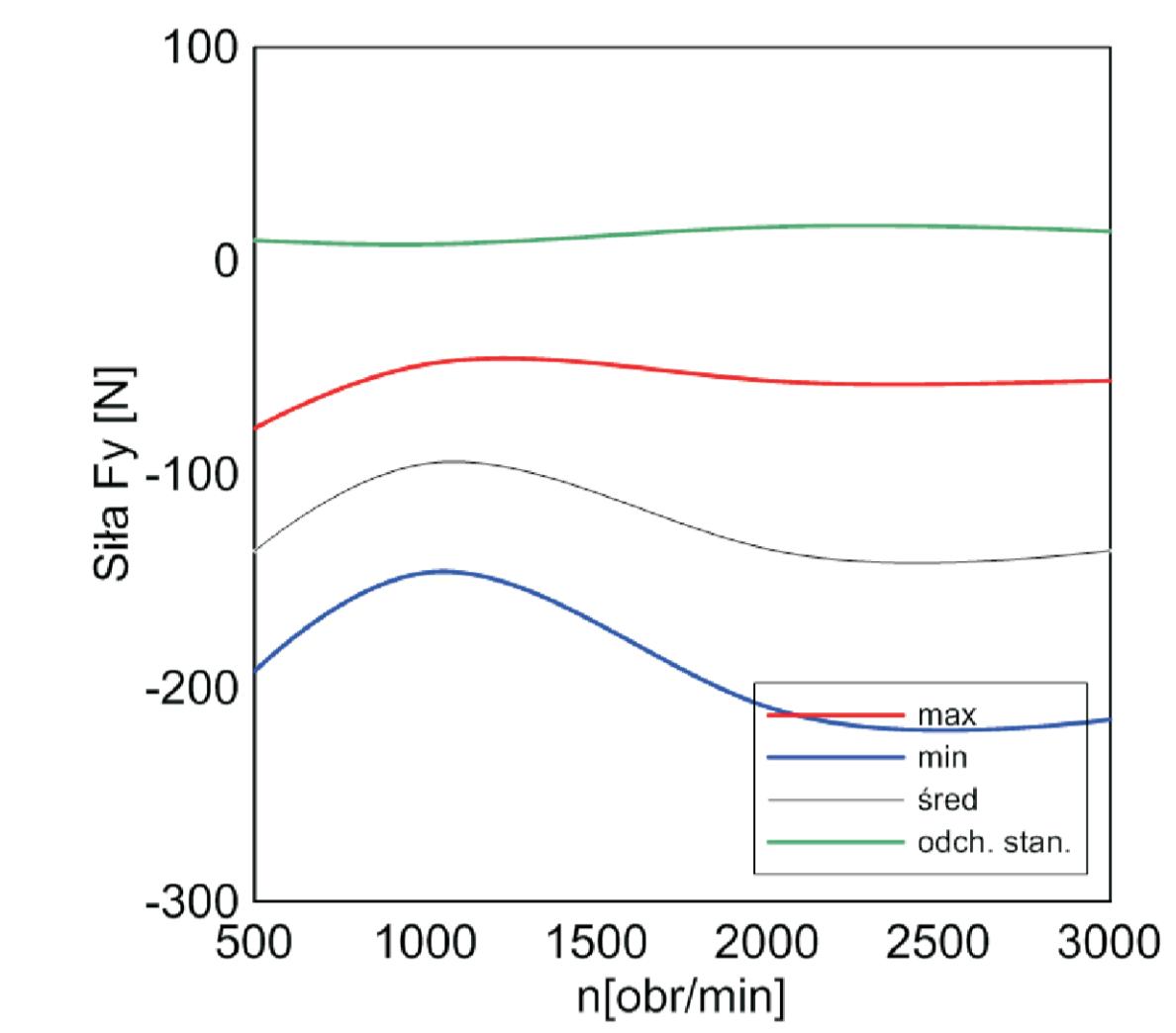
Fig. 17. Influence of depth of cut to force F_x

Rys. 18. Wpływ głębokości skrawania na siłę F_y

Fig. 18. Influence of depth of cut to force F_y



Rys. 19. Wpływ prędkości obrotowej na siłę F_y



Rys. 20. Wpływ prędkości obrotowej na siłę F_y

Wnioski Conclusions

- Badanie stabilności procesu frezowania przeprowadzone na przykładzie stopu Ti6242 wykazały zasadność użycia nowych miar stabilności opartych na:
 - wykresach rekurencyjnych,
 - parametram statystycznych,
 - sparametryzowanej analizie rekurencyjności.
- W badaniach doświadczalnych procesu frezowania stali kwasoodpornej wykazano, podczas analizy korelacej, że sprzężenie drgań (sil) w dwóch płaszczyznach jest mniejsze wraz z rosnącą głębokością skrawania.
- Priorytetowej głębokości skrawania (toczenia) wpływ zjawiska "stick-slip" jest bardziej widoczny niż klasyczny efekt podtrzymywania drgań poprzez regenerację ślazu.
- Badanie stabilności procesu toczenia przeprowadzone na stali kwasoodpornej wykazały możliwość użycia nowych miar do monitorowania procesu, są to:
 - procedura parametryzacyjna 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
 - statistical 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

• WSK "PZL-Rzeszów" SA - Cutting of thin - walled elements made of superalloys

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Publikacje

- 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.
- Kęcik K., Rusinek R., Warminski J.: *Modelling of high-speed milling process with frictional effect* Journal of Multi-body Dynamics, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part K, 2013, vol.1(1), p.3-11 doi: 10.1177/1464419312458363.

Prace mgr, dr, hab.

Prace magisterskie obronione:

- Sebastian Świątkowski - *Badanie wpływu ukierunkowania włókien wzmacniających materiał kompozytowy na siły skrawania*. Promotor: dr inż. K. Kęcik.
- Bartłomiej Józwiak - *Badanie diagramu stabilności materiału trudo-obrabialnego Inconel 625*. Promotor: dr inż. K. Kęcik.

Prace inżynierskie planowane

- Marta Cichosz: Badanie procesu wiercenia kompozytów stosowanych w przemyśle lotniczym. Promotor: dr hab. inż. Rafal Rusinek
- Wojciech Surmacz: Badanie wpływu prędkości skrawania materiał kompozytowego z włóknem aramidowym na wielkość sił frezowania . Promotor: dr hab. inż. Rafal Rusinek
- Kamil Trochimowicz: Ocena wpływu posuwu podczas frezowania materiału kompozytowego z włóknem aramidowym na wielkość sił skrawania. Promotor: dr hab. inż. Rafal Rusinek
- Agnieszka Kołacz: Badanie wpływu głębokości skrawania materiał kompozytowego z włóknem aramidowym na charakterystykę i wielkość sił frezowania. Promotor: dr hab. inż. Rafal Rusinek

Prace doktorskie planowane

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