

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym

Modern material technologies in aerospace industry

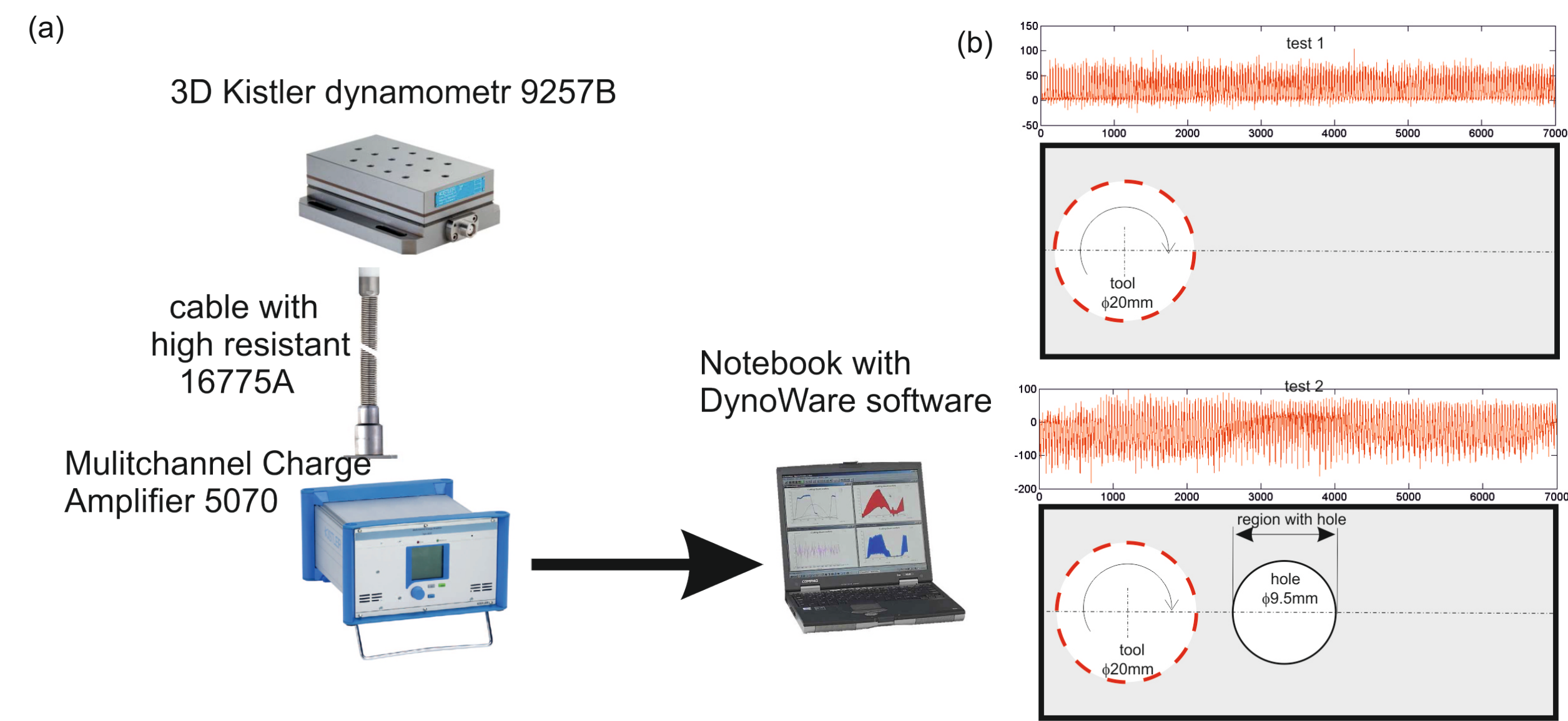
Opracowanie zaawansowanych procesów obróbki HSM trudnoobrabialnych stopów lotniczych

Development of advanced processes of HSM of almost unworkable aeronautical alloys

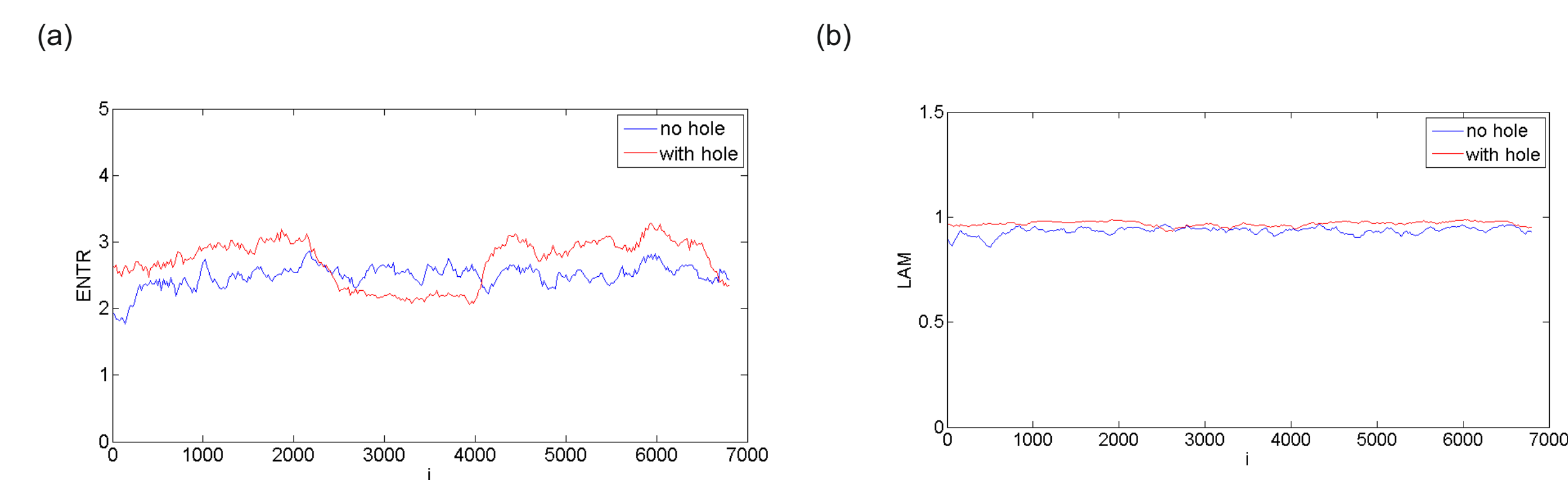
Politechnika Rzeszowska, Politechnika Lubelska, Politechnika Łódzka, Politechnika Warszawska

Wyniki badań Results

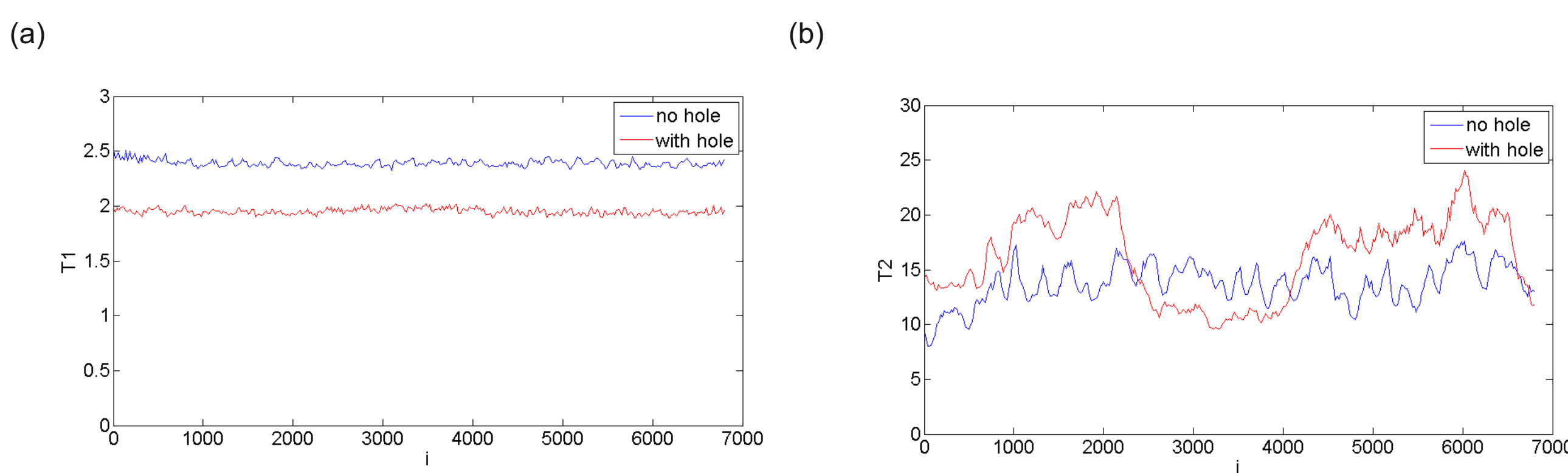
Badanie dynamiki procesu frezowania za pomocą wykresów rekurencyjnych Analysis of machining process by means of cross recurrence plots analysis



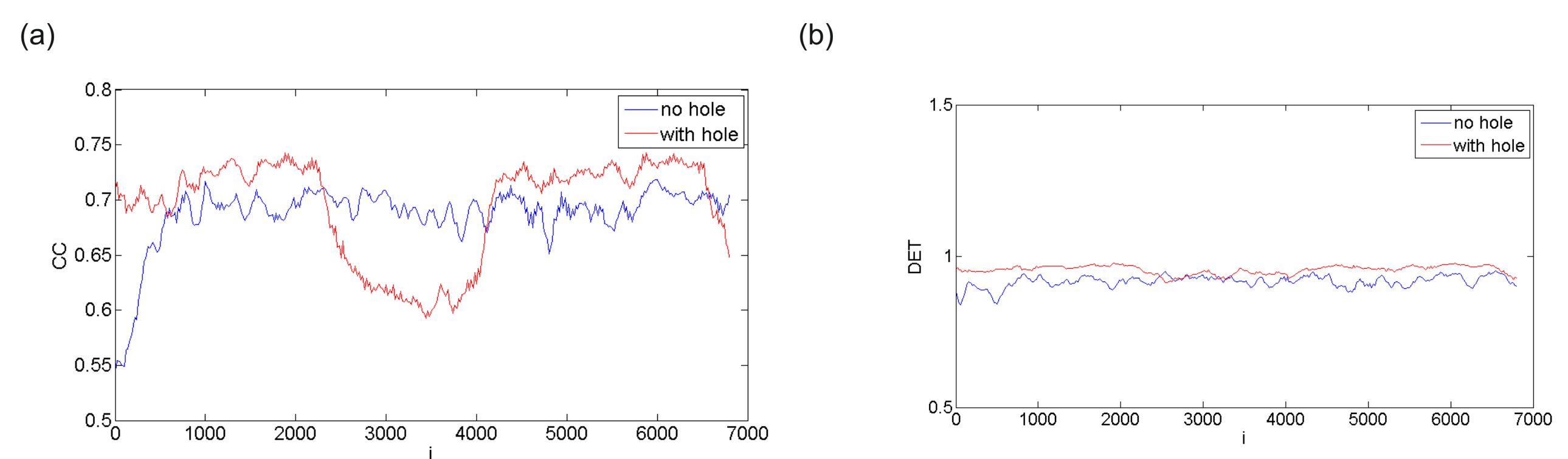
Rys. 1. Schemat aparatury pomiarowej (a) oraz powierzchnie frezowania, odpowiednio materiał pełny i z otworem (b).
Fig. 1. SScheme of experimental apparatus for milling tests (a), and the experimental tests: no. 1- milling of heat material (no damage), and no. 2- milling with the damage (hole) (b).



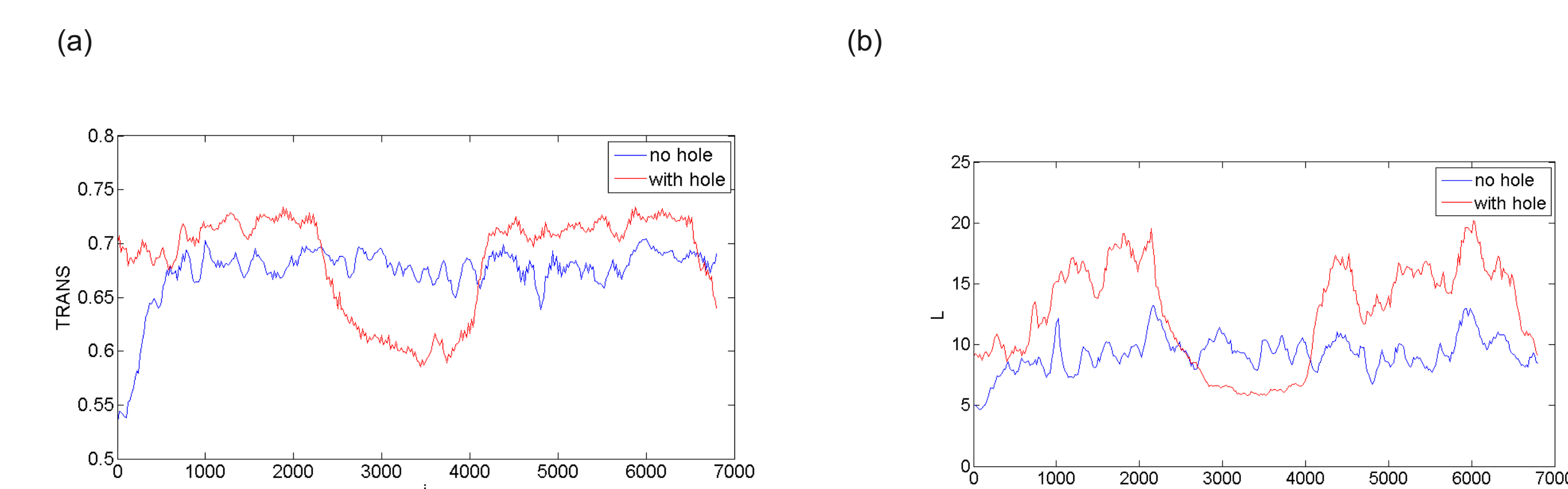
Rys. 2. Przebieg entropii względem punktów próbkowania (a) oraz przebieg laminarności (b).
Fig. 2. Evolution of the ENTR versus sample points (a), and evolution of the laminarity versus time sample points (b).



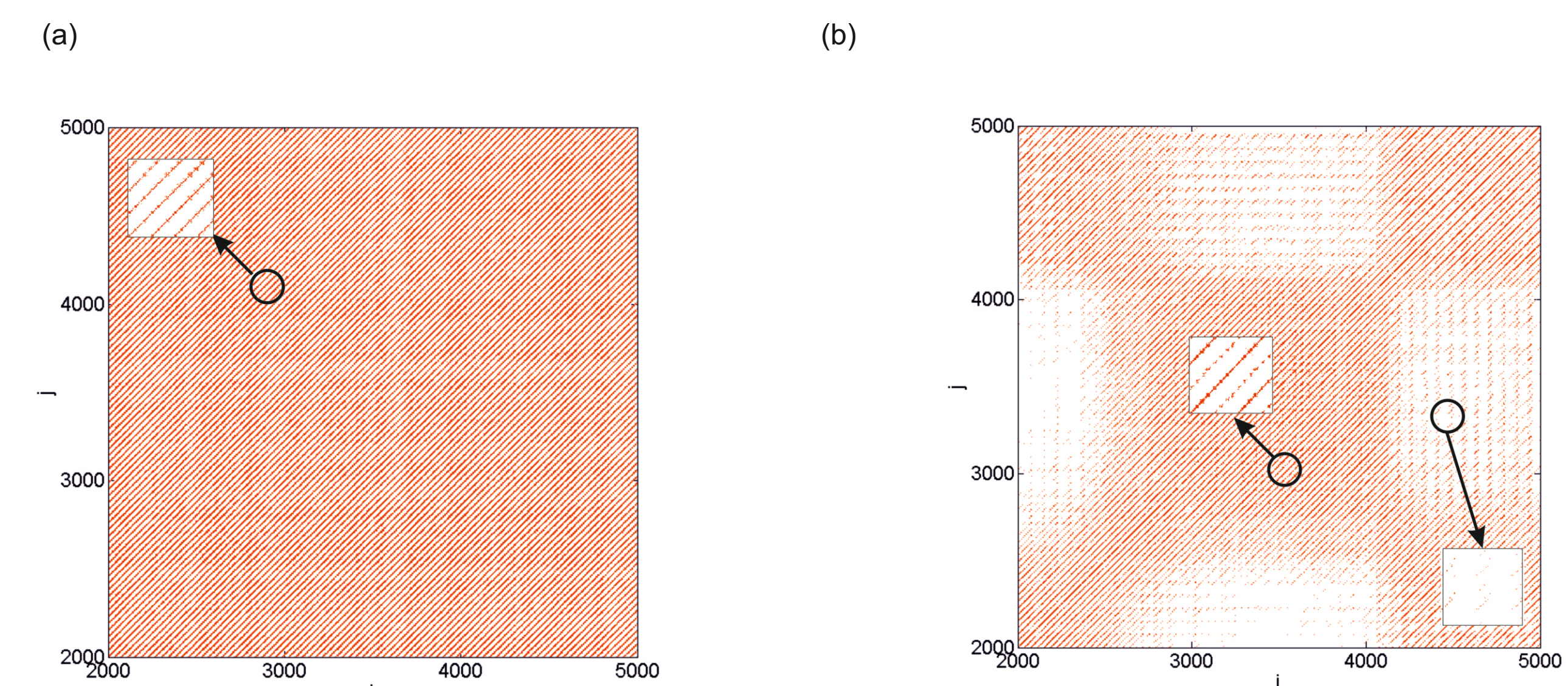
Rys. 3. Czas rekurencji typu pierwszego T1 oraz drugiego T2 (b).
Fig. 3. Evolution of the recurrence time of the first type T1 (a) and the second type T2 (b).



Rys. 4. Przebieg współczynnika zgrupowania CC (a), oraz determinizmu DET (b).
Fig. 4. Evolution of the clustering coefficient (a), and determinism DET (b).

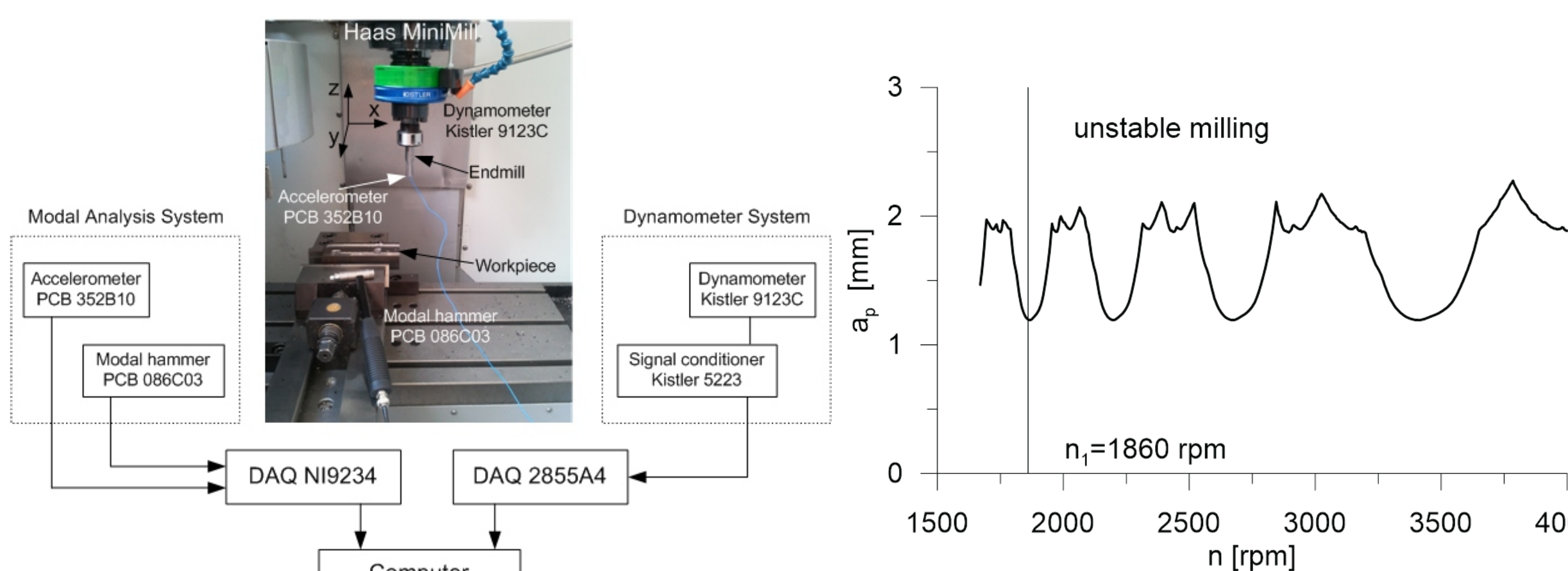


Rys. 5. Rozkład przenikalności (a), oraz długości uśrednionych linii diagonalnych (b).
Fig. 5. The Evolution of the transitivity TRANS versus sampling points (a), and the evolution of averaged diagonal length L (b).



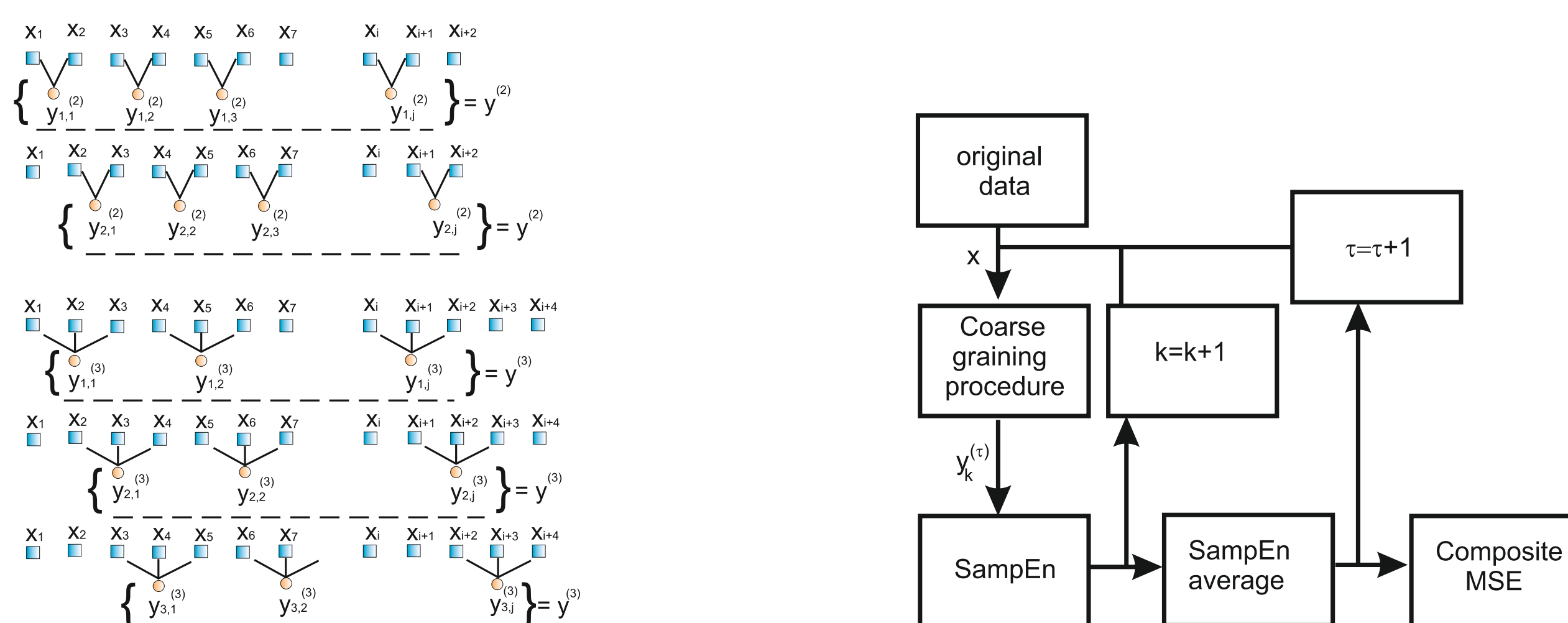
Rys. 6. Recurrence diagram for milling test no. 1, the applied recurrence threshold equals 40 (a) and test no. 2, recurrence threshold equals 50 (b).
Fig. 6. TRecurrence diagram for milling test no. 1, the applied recurrence threshold equals 40 (a) and test no. 2, recurrence threshold equals 50 (b).

Analiza stabilności frezowania stopu tytanu metodą entropii wieloskalowej oraz za pomocą wykładników Hursta The stability analysis of titanium milling process by multiscale entropy and Hurst exponents



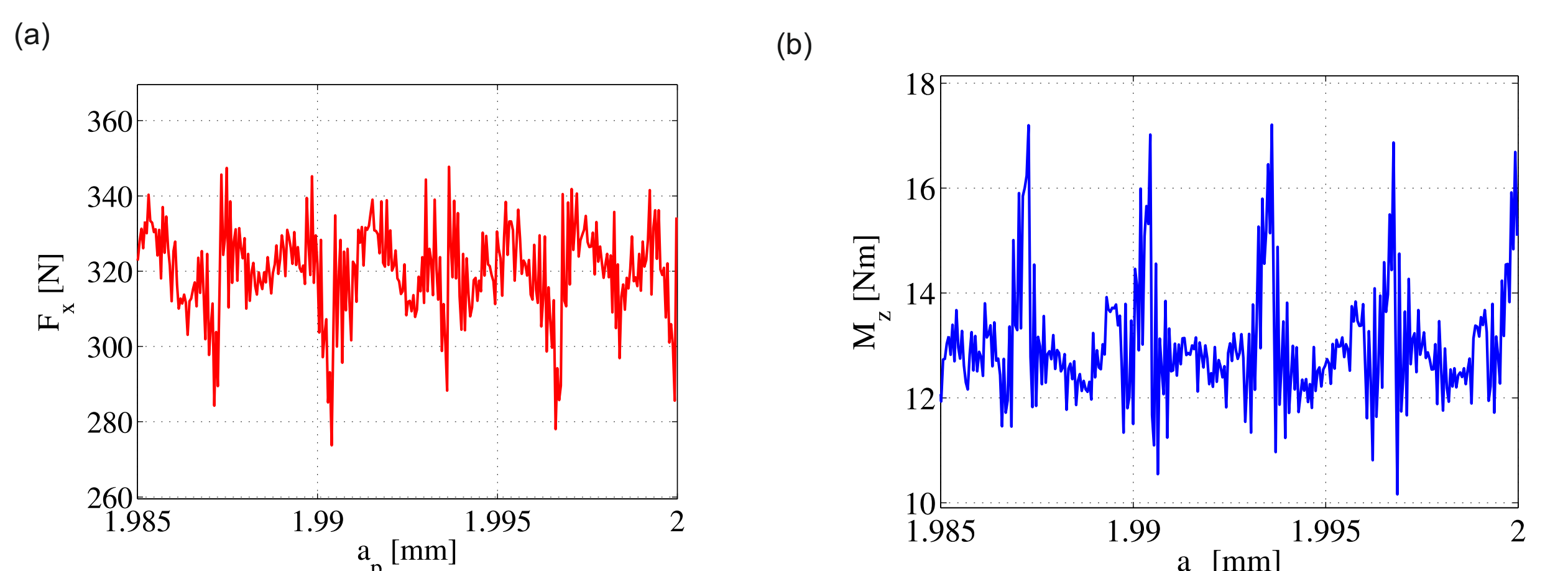
Rys. 7. Stanowisko pomiarowe sił i momentu podczas frezowania.

Fig. 7. Forces and torque measuring position during milling process.



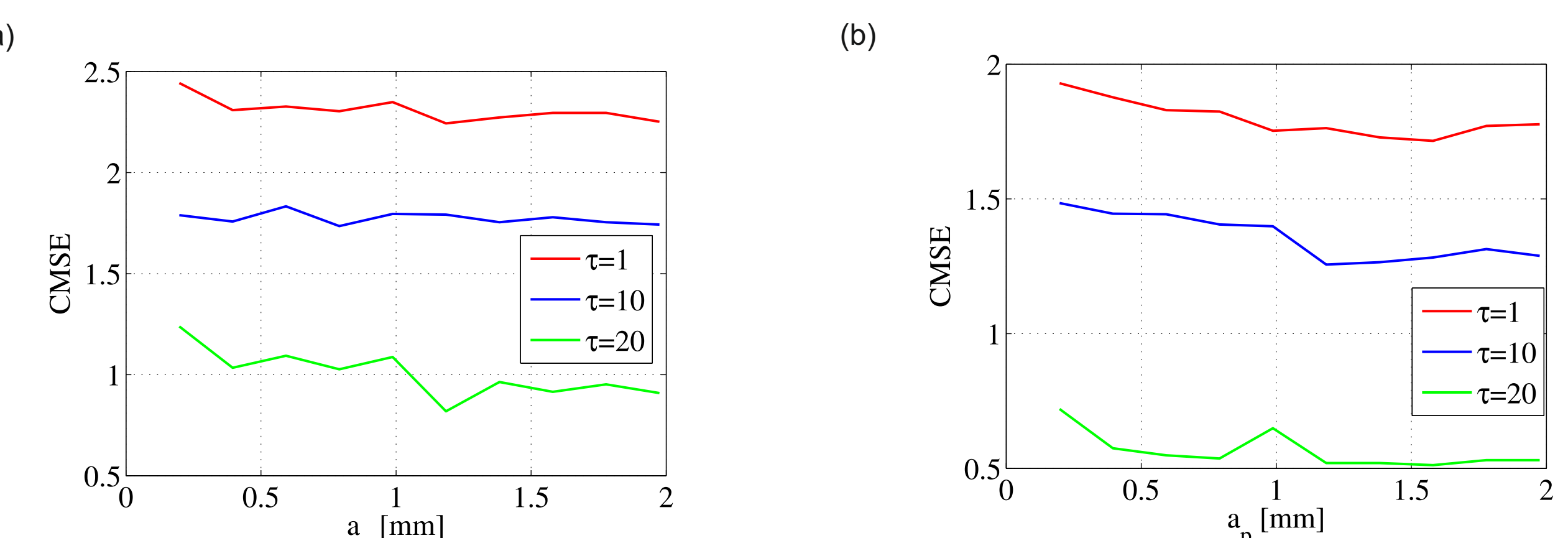
Rys. 9. Schemat procesu ziarnikowania danych sygnału sił frezowania.

Fig. 9. Schematic of the coarse graining procedure illustration of force milling signal.



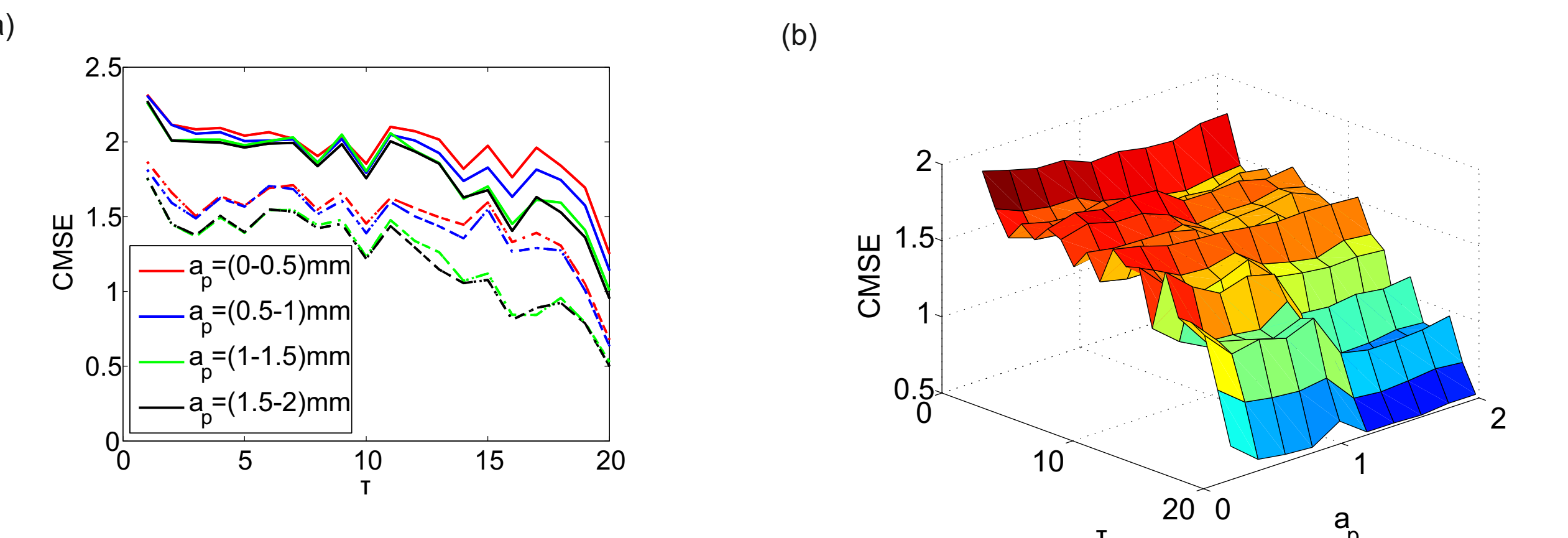
Rys. 11. Przebieg sygnału siły (a) oraz momentu na wrzeciono (b) podczas frezowania stopu aluminium przy rosnącej głębokości frezowania a_p , oraz pozostałych stałych parametrach $n = 1860 \text{ rpm}$, $a_e = 4 \text{ mm}$ i $f_z = 0.05 \text{ mm}$.

Fig. 11. The time series of the milling process of force signal (a) and torque one (b) during Ti6242 alloy milling with continuously growing depth of cut a_p , at fixed $n = 1860 \text{ rpm}$, $a_e = 4 \text{ mm}$ and $f_z = 0.05 \text{ mm}$.



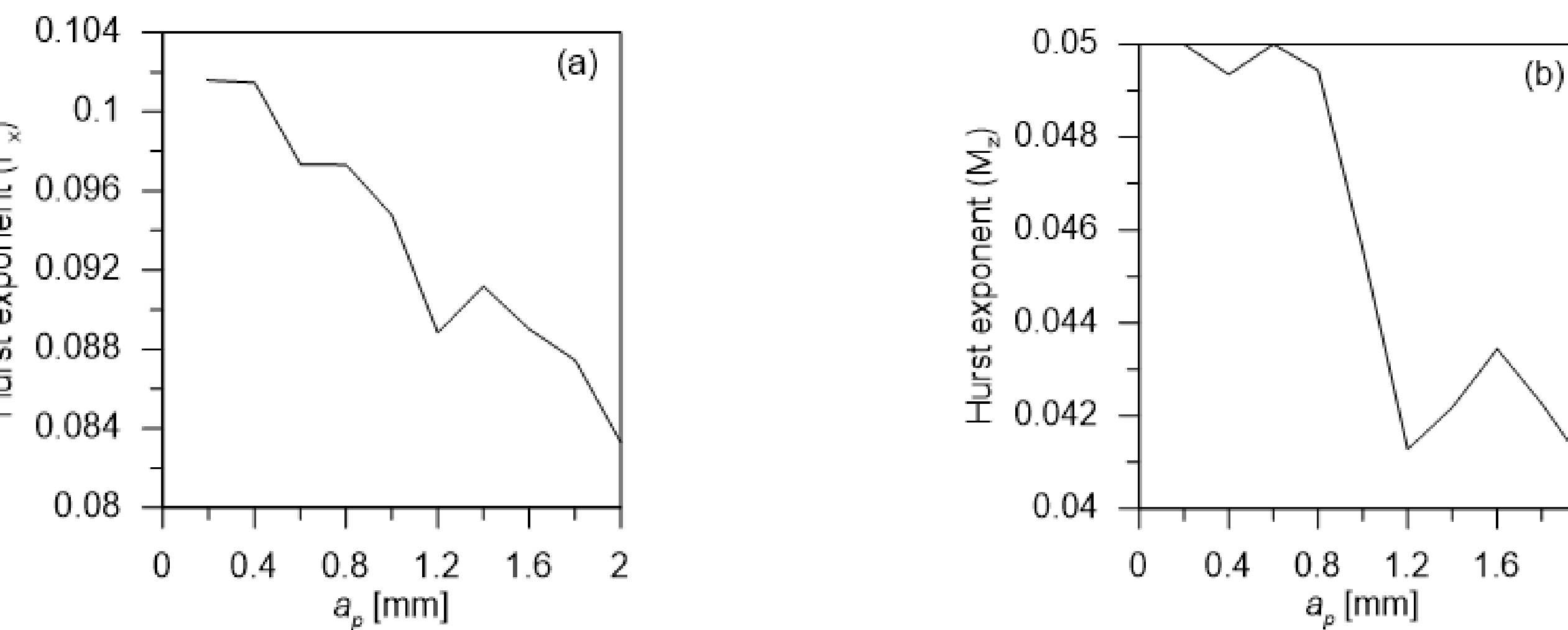
Rys. 12. Entropia wieloskalowa CMSE względem zmiennej głębokości frezowania a_p dla wybranych współczynników skali liczona od sygnału siły (a) oraz momentu (b).

Fig. 12. Composite multiscale entropy against the depth of cut at chosen scale factors, for measured forces F_x signal (a) and torque signal M_z signal (b), respectively.



Rys. 13. Złożona Entropia wieloskalowa od sygnałów przy różnych głębokościach frezowania a_p oraz mapa Entropii CMSE w funkcji zmiennej głębokości frezowania a_p i współczynnika skali.

Fig. 13. Composite multiscale entropy of measured signals for chosen level of a_p (a) and Entropy CMSE map against continuously changing of a_p parameter and scale factor (b).



Rys. 14. Wykładnik Hurst'a od sygnału siły F_x (a) oraz sygnału momentu M_z (b).

Fig. 14. Hurst exponent of F_x (a) and M_z (b), respectively.

Wnioski z zastosowanych analiz CMSE oraz wykładnika Hurst'a Conclusions of CMSE and Hurst exponent analysis

Applying the paper the composite multiscale entropy (CMSE) and the Hurst exponent analyses provide a good approach to detect the chatter effect. Analysing the stability lobes diagram, one can conclude the unstable behaviour of milling process, found on the lobes at higher depth of cut a_p , does not give not sufficient information to detect the chatter effect. It is due to the fact, the chatter effect can appear both in chaotic and also regular behaviours. For the analysed time series the CMSE method indicates growing disorder at lower level depth of cut a_p , what can indicate some irregularities in the system at the beginning of the process. And during a_p is growing at the milling time, it simultaneously turns out that for $a_p > 1 \text{ mm}$ level, the chatter effect appears in spite of behaviour looks to be regular according to CMSE analysis. It concludes that in the stable parameters sets of milling process, one can found the unexpected chatter effect. Also the Hurst exponent analysis, confirms the process runs into anti-persistent behaviour which is conducive to that harmful effect

Wnioski Conclusions

● Zastosowanie analizy za pomocą wykresów rekurencyjnych oraz wyselekcjonowanych kwantyfikatorów, pozwala dobrać optymalne parametry skrawania z punktu widzenia problematyki drgań.

● Badanie procesu frezowania przeprowadzone na stopie tytanu za pomocą złożonej entropii wieloskalowej CMSE daje nowe możliwości oceny stabilności procesu obróbki przy określonych parametrach wejściowych

● Na podstawie analiz procesu frezowania zaobserwowano efekt chattered w obszarze pracy gdzie siły oddziaływania wykazywał uporządkowany charakter. Za pomocą wskazanych metod, możliwa staje się identyfikacja tego niekorzystnego zjawiska.

Przykłady zastosowania w lotnictwie Examples of application in aviation



Przykłady współpracy z przemysłem lotniczym Collaboration with aviation industry

● WSK "PZL-Rzeszów" SA, PZL Mielec - 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 , PZL Mielec - Cutting of thin - walled elements made of superalloys

Wskaźniki realizacji celów projektu Indicators of the project

Publikacje

- A. Weremczuk, R. Rusinek, J. Warminski: "The concept of active elimination of vibrations in milling process" Procedia CIRP (2015) - zaakceptowana.
- R. Rusinek, M. Wiercigroch, P. Wahi: "Orthogonal cutting process modelling considering tool-workpiece frictional effect" Procedia CIRP (2015) - zaakceptowana.
- R. Rusinek, P. Lajmert, K. Kecik, B. Kruszynski, J. Warminski: "Chatter identification methods on the basis of time series measured during titanium superalloy milling". International Journal of Mechanical Sciences - w recenzji.

Prace mgr, dr, hab.

Prace magisterskie i inżynierskie w realizacji:

- Artur Nadolny: Badanie sił skrawania w procesie frezowania stopu Inconel 625. Promotor: dr inż. K. Kęć.
- Anna Filipowicz: Badania charakterystyki siły skrawania na przykładzie frezowania kompozytu metalicznego odlewanej metodą SQ. Promotor: dr hab. inż. Rafał Rusinek
- Dawid Prandl: Analiza zależności sił skrawania od prędkości posuwowej na przykładzie frezowania kompozytu metalicznego. Promotor: dr hab. inż. Rafał Rusinek
- Karol Chmura: Ocena wpływu głębokości skrawania na charakterystykę siły skrawania na przykładzie frezowania kompozytu metalicznego odlewanej metodą grawitacyjną. Promotor: dr hab. inż. Rafał Rusinek
- Marta Chrzęścian: Badania charakterystyki siły skrawania na przykładzie frezowania kompozytu metalicznego odlewanej metodą grawitacyjną. Promotor: dr hab. inż. Rafał Rusinek
- Magdalena Marucha: Weryfikacja obszarów stabilności podczas frezowania wybranego stopu niklu. Promotor: dr inż. R. Rusinek
- Katarzyna Rusek: Weryfikacja obszarów stabilności podczas frezowania wybranego stopu tytanu. Promotor: dr inż. R. Rusinek.

Prace magisterskie i inżynierskie zrealizowane:

- Szymon Zbiciak: Wyznaczanie charakterystyki sił skrawania kompozytu metalicznego an bazie aluminium. Promotor: dr inż. K. Kęć.

Prace doktorskie zrealizowane

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