

# Zastosowanie analizy czasowo-częstotliwościowej sygnałów pochodzących z układu obróbkowego do oceny intensywności procesu skrawania

Application of time-frequency analysis of signals derived from the machining for assessment of intensity of cutting

ANNA ZAWADA-TOMKIEWICZ  
BORYS STORCH \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.432

W artykule zaprezentowano zastosowanie danych pochodzących z układu obróbkowego – siły skrawania i drgań układu – do analizy przebiegu procesu, w tym do oszacowania intensywności procesu skrawania.

**SŁOWA KLUCZOWE:** siła skrawania, drgania układu OUPN, krótkookresowa transformata Fouriera, intensywność zużycia ostrza

*The paper presents the application of signal analysis – (cutting force and vibrations) for the analysis of machining process, including estimates of the intensity of cutting.*

**KEYWORDS:** cutting force, vibrations, Short-Time Fourier Transform, the intensity of tool wear

Problem skrawania stali o podwyższonej twardości coraz częściej jest rozważany w kontekście potencjalnych możliwości zastąpienia w niektórych zastosowaniach obróbek ściernych przez skrawanie wykończeniowe. Warunki usuwania materiału są uzależnione od narzędzia skrawającego, a chropowatość powierzchni jest tworzona przez zaokrągloną część krawędzi skrawającej. Celem prowadzonych badań była analiza składowych siły skrawania i drgań układu podczas skrawania stali hartowanej w warunkach obróbki wykończeniowej.

■ **Metodyka badań.** Badania procesu skrawania przeprowadzono na tokarce NEF 400 (rys. 1).



Rys. 1. Stanowisko obróbkowe tokarki NEF 400 (1 – czujnik drgań, 2 – siłomierz Kistler 9272)

W głowicy rewolwerowej za pomocą narzędziowego uchwyty tokarskiego VDI30 zamocowano siłomierz piezoelektryczny typu 9272 firmy Kistler, który umożliwiał pomiar wartości składowych siły: obwodowej  $F_c$ , posuwowej  $F_f$  i odporowej  $F_p$ . Do uchwytu przymocowano także czujnik sejsmiczny o czułości 70 dB i wzmacnieniu dźwięku: 20000×. Badania przeprowadzono na wałkach ze stali łożyskowej EN 100Cr6 o twardości 60 HRC. Twardość stali wyznaczono metodą Rockwella. Do obróbki stosowano ostrza TNMG 160408 PF 4015 firmy Sandvik. Parametry skrawania: posuw 0,15 mm/obr, prędkość skrawania 151 m/min, głębokość skrawania 0,15 mm.

■ **Właściwości procesu skrawania.** Analizując układ obróbkowy, można wyróżnić w nim stany, w których proces skrawania dokonywany jest w sposób stabilny, oraz stany, w których stabilność ta jest tracona.

● **Proces ustabilizowany o zdefiniowanej zdolności wytwórczej (A)** ma charakter zdefiniowany procesem technologicznym, występują zależności między próbkami danych sygnałów pochodzących z układu obróbkowego.

Pojawienie się zakłóceń doprowadza układ obróbkowy do utraty stabilności. Początkowo układ wpada w drgania, które stopniowo się nasilają sprawiając, że układ dynamiczny staje się niestabilny. Przeprowadzone testy statystyczne dla sygnałów drgań i siły skrawania dla ostrzy o znacznym stopniu zużycia oraz podczas zużywania się pozwoliły na wyróżnienie dwóch dodatkowych stanów, w których może się znaleźć proces skrawania.

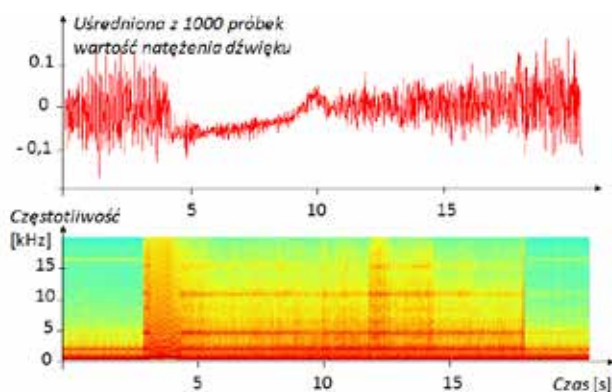
● **Proces o charakterze chaosu deterministycznego (B)**, który ma charakter deterministyczny, niewielkie zmiany w parametrach procesu mogą powodować znaczne zmiany położenia procesu w przestrzeni fazowej, a wartość największego współczynnika Lapunowa jest większa od zera.

● **Proces niestabilny (C)**, w którym sygnały pochodzące z układu obróbkowego narastają okresowo, a wartość największego współczynnika Lapunowa wynosi zero.

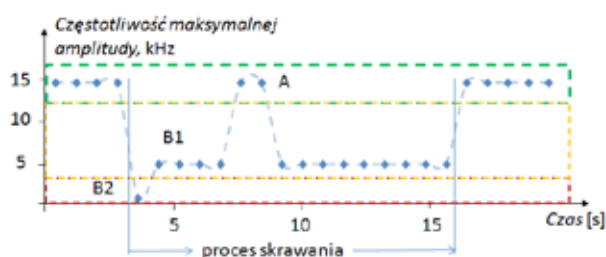
■ **Analiza sygnału drgań.** Na rys. 2 przedstawiono czasowo-częstotliwościowy wykres sygnału drgań oraz uzyskaną za pomocą krótkookresowej transformaty Fouriera barwną mapę rozkładu częstotliwości w czasie. Obserwacja dotyczy 22 s zarejestrowanego sygnału drgań. Efektywny czas skrawania był krótszy i wynosił 15,5 s. Po 3,5 s od uruchomienia czasu rejestracji rozpoczął się proces toczenia, od razu powodując intensywne zużywanie się narzędzia. Po sekundzie proces stabilizuje się i przez 8 s realizowany jest stabilny proces skrawania ze znacznie mniejszą intensywnością zużycia ostrza. Od ok. 12 s od rozpoczęcia procesu skrawania rozpoczynają się ponownie

\* Prof. nadzw. dr hab. inż. Anna Zawada-Tomkiewicz (anna.zawada-tomkiewicz@tu.koszalin.pl), prof. dr hab. inż. Borys Storch (borys.storch@tu.koszalin.pl) – Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej

procesy intensywnego zużycia, które nie ustępują aż do zniszczenia ostrza. Graniczna wartość zużycia po 15,5 s skrawania wyniosła  $VB = 0,54$  mm.



Rys. 2. Analiza sygnału drgań



Rys. 3. Wartość częstotliwości dla maksymalnej amplitudy drgań w funkcji czasu skrawania

Na rys. 3 przedstawiono obliczone dla szesnastu okien czasowych wartości częstotliwości dla maksymalnej amplitudy drgań w funkcji czasu skrawania z zaznaczeniem wyróżnionych stanów procesu – A, B1 i B2, które skorelowano z właściwościami procesu. Początkowo intensywność procesu jest największa, stopniowo układ się stabilizuje, a następnie intensywność znowu wzrasta i pozostaje taka sama aż do zakończenia skrawania.

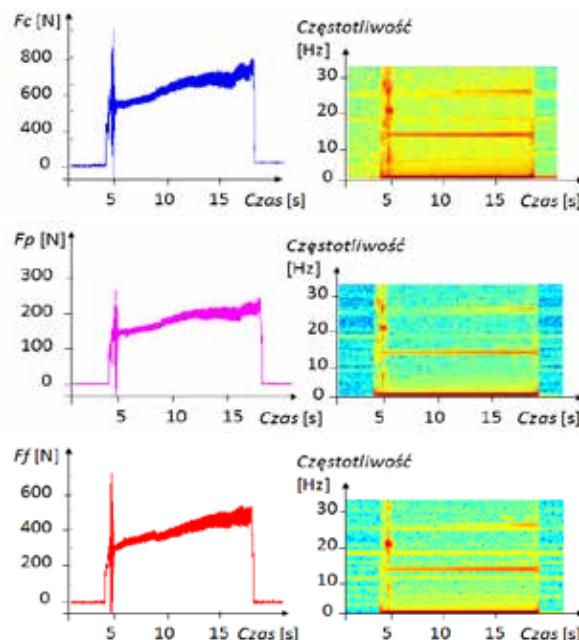
■ **Analiza sygnałów składowych siły skrawania.** Na rys. 4 przedstawiono czasowo-częstotliwościowy wykres sygnałów składowych siły skrawania oraz uzyskany za pomocą krótkookresowej transformaty Fouriera rozkład częstotliwości w czasie. Dla każdej ze składowych siły skrawania obserwowano w początkowym okresie skrawania intensyfikację procesów zużycia, następnie ustabilizowanie przebiegu oraz ponowne zwiększenie intensywności po 12÷13 s skrawania.

Analiza częstotliwości dla maksymalnej wartości amplitudy dla każdej składowej siły skrawania, podobnie jak dla sygnału drgań, wskazała trzy poziomy intensywności, zmieniające się w czasie skrawania (rys. 5): narastający sygnał okresowy składowej  $F_c$  przy pozostałych składowych siły na poziomie B2 w początkowej fazie skrawania, krótki czas przebywania składowej  $F_f$  w stanie stabilnym A oraz duża zmienność intensywności każdej ze składowych w końcowym etapie skrawania.

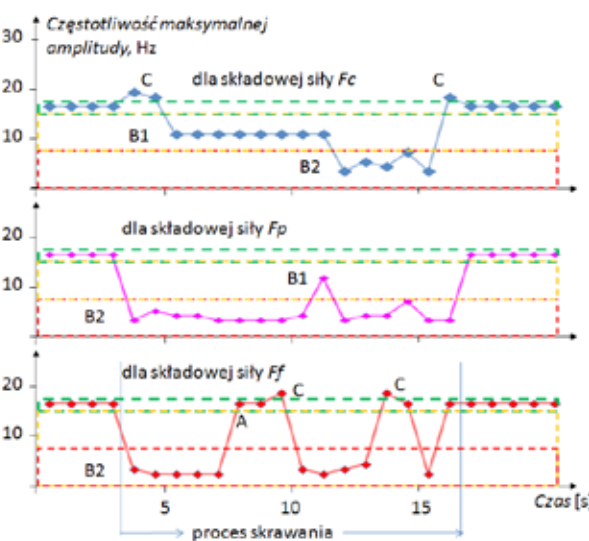
■ **Podsumowanie.** W pracy dokonano czasowo-częstotliwościowej analizy sygnału drgań oraz sygnału składowych siły skrawania podczas toczenia stali hartowanej ostrzem z powlekanego węglika spiekanego, które podczas skrawania ulegało intensywnemu zużyciu.

Zarejestrowane sygnały drgań oraz składowych siły skrawania były analizowane z wykorzystaniem krótkookresowej transformaty Fouriera, co umożliwiło nie tylko analizę wizualną przebiegu procesu w postaci kolorowej

mapy obrazującej rozkład częstotliwości w czasie, ale też analizę ilościową. Wyznaczono częstotliwość dla największej wartości amplitudy w 25 oknach czasowych. Dzięki wyróżnieniu 1÷3 poziomów częstotliwości dla maksymalnej amplitudy sygnału drgań i składowych siły dla układu niestabilnego istnieje możliwość oceny intensywności procesu i jej powiązania z intensywnością zużycia ostrza.



Rys. 4. Analiza sygnału składowych siły skrawania



Rys. 5. Częstotliwość dla maksymalnej amplitudy siły dla każdej składowej siły skrawania

#### LITERATURA

- Kacalak W. „Metodyka badań i analiz oraz podstawy modelowania i symulacji procesów obróbki ściernej”. Poznań: Politechnika Poznańska, 2015.
- Bartoszek M., Grzesik W. “Investigation of Initial Wear Period of Differently Coated Carbide Cutting Tools”. *Journal of Machine Engineering*. Vol. 15, No. 4 (2015): pp. 37÷45.
- Zawada-Tomkiewicz A. „Teoretyczne i doświadczalne podstawy monitorowania procesu toczenia z wykorzystaniem informacji o cechach stereometrycznych obrabianej powierzchni”. Koszalin, Wydawnictwo Politechniki Koszalińskiej 2012.
- Zawada-Tomkiewicz A., Storch B. „Analiza wartości siły skrawania podczas toczenia stali hartowanej w warunkach małych przekrojów warstwy skrawanej”. *Mechanik*. Nr 8–9/2015, DOI: 10.17814/mechanik.2015-8-9.448, s. 725/381+389. ■