

# Diagnostyka stanu ostrza frezu w procesie frezowania obwiedniowego

## Cutting edge condition diagnostics during hobbing

JAN BUREK  
ROBERT BABIARZ  
PAWEŁ SUŁKOWICZ  
JAROSŁAW BUK \*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.424

Przedstawiono wyniki badań diagnostyki stanu ostrza frezu podczas obróbki obwiedniowej kół zębatach. Przeprowadzono próby frezowania narzędziami o różnym stopniu uszkodzenia, podczas których rejestrowano wartości sygnałów emisji akustycznej oraz amplitudy drgań.

**SŁOWA KLUCZOWE:** diagnostyka, nadzorowanie, frezowanie obwiedniowe, emisja akustyczna

*This paper presents the results of research pertaining edge condition monitoring during hobbing. Machining of spur gears using hob mills with varied edge condition was performed during which acoustic emission and vibration amplitude were measured.*

**KEYWORDS:** diagnostics, condition monitoring, hobbing, acoustic emission

Spośród wielu metod obróbki uzębień walcowych najszerzej stosowana jest metoda frezowania obwiedniowego [1]. Dążenie do wzrostu wydajności tego procesu sprawia, że określony przez producentów czas pracy frezu jest niewystarczający do określenia jego okresu trwałości. Aby zminimalizować liczbę przestojów obrabiarki koniecznych na przemocowanie frezu, a także w pełni wykorzystać czas jego pracy, stosowane są układy monitorujące przebieg obróbki. Systemy te pozwalają na wykrywanie zużycia narzędzia, wahań naddatku, a także sytuacji awaryjnych, takich jak np. uszkodzenie frezu lub przedmiotu obrabianego [2, 3].

Dotychczasowe układy diagnostyczne opierają się głównie na pomiarze składowych siły skrawania, powszechnie uznawanych za sygnały, które dostarczają najwięcej informacji o przebiegu obróbki. Wysoki koszt siłomierzy piezoelektrycznych oraz trudność w ich instalacji w przestrzeni obróbkowej sprawiają, że poszukuje się innych alternatywnych rozwiązań [4, 5].

Celem niniejszych badań było określenie możliwości zastosowania sygnałów emisji akustycznej oraz drgań do monitorowania stanu ostrza frezu podczas frezowania obwiedniowego walcowych kół zębatach.

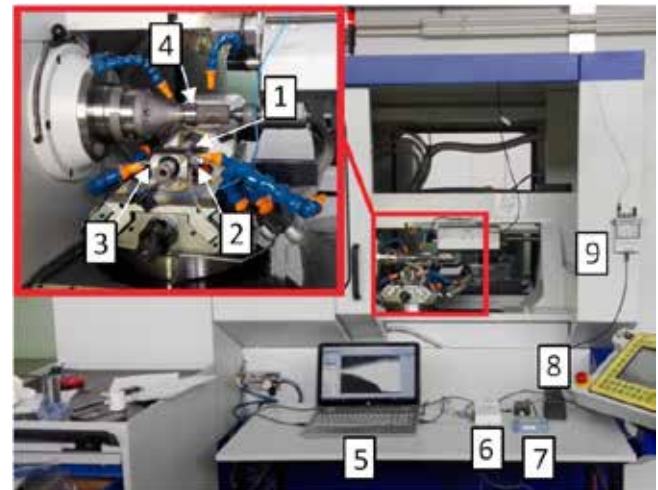
### Warunki badań

Badania zostały wykonane na 6-osiowej frezurce obwiedniowej CNC Koepfer 200 firmy Emag (rys. 1). Frezowano koła zębata o zębach prostych ze stali 42CrMo4. Pomiar emisji akustycznej realizowano za pomocą czujnika typu

8152C firmy Kistler, natomiast drgania z użyciem akcelerometru typu 621B40 firmy PCB Piezotronics.

Badania doświadczalne wykonano z użyciem frezów ślimakowych o średnicy  $d = 56$  mm. Wykonywano koła zębata o module  $m = 1,5$  mm i liczbie zębów  $z = 30$ . Prędkość skrawania wyniosła  $v_c = 130$  mm/min, posuw  $f = 0,7$  mm/obr.

Przebiegi sygnałów emisji akustycznej oraz drgań rejestrowano w programie LabVIEW SignalExpress.



Rys. 1. Stanowisko badawcze: 1 – frez ślimakowy, 2 – czujnik AE, 3 – czujnik drgań, 4 – przedmiot obrabiany, 5 – komputer, 6 – przetwornik A/C, 7 – wzmacniacz, 8 – zasilacz, 9 – przetwornik A/C wielokanałowy

Przeprowadzono próby frezowania kół zębatach narzędziami o krańcowo różnym stopniu zużycia ostrzy (rys. 2). Najpierw zastosowano zupełnie nowy frez ślimakowy, następnie frez z wyłamanymi ostrzami. W celu obserwacji procesu na całej szerokości frezu zastosowano metodę styczną, tzw. shifting. W ten sposób możliwa była obserwacja zmiany parametrów sygnału AE i amplitudy drgań na całej długości frezu.



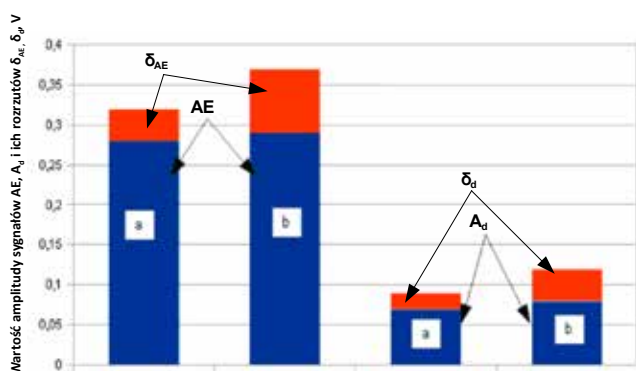
Rys. 2. Frez ślimakowy o największym stopniu wykruszenia ostrzy

\* Dr hab. inż. Jan Burek prof. PRz (jburek@prz.edu.pl), dr inż. Robert Babiarez (robertb@prz.edu.pl), mgr inż. Paweł Sułkiewicz (sulkiwicz@prz.edu.pl), mgr inż. Jarosław Buk (jbuk@prz.edu.pl) – Katedra Techniki Wytwarzania i Automatyzacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa, Politechnika Rzeszowska

## Wyniki badań

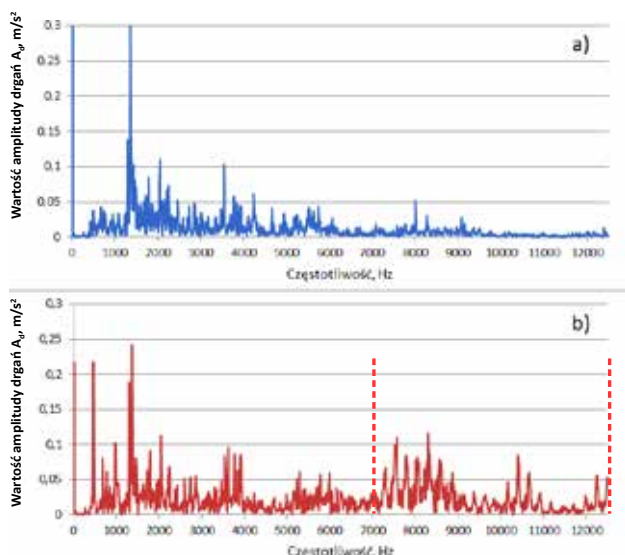
Zarejestrowane średnie wartości amplitudy drgań  $A_d$  oraz sygnału emisji akustycznej, a dokładniej jego wartości skutecznej, dalej oznaczanej skrótem AE, przedstawiono na rys. 3.

Z przedstawionych wartości sygnałów  $A_d$  i AE wynika, że nie wykazują one zmian większych niż kilkoprocentowe dla frezu o największym stopniu wykruszenia ostrzy w porównaniu z frezem nowym. W przypadku frezu uszkodzonego można jednak zaobserwować zwiększone 2-krotnie wartości rozrzutu sygnału zarówno emisji akustycznej  $\delta_{AE}$ , jak i drgań  $\delta_d$ . Związane jest to ze zwiększonymi zmianami wartości zdejmowanego przez poszczególne ostrza nadkładku obróbkowego w przypadku frezu z wykruszonymi ostrzami. Jako miarę rozrzutu wartości poszczególnych sygnałów przyjęto odchylenie standardowe obliczane dla pomiarów rejestrowanych w czasie 1 s.



Rys. 3. Wartości średnie amplitudy drgań  $A_d$  oraz sygnału AE: a) frez nowy, b) frez z wykruszonymi ostrzami

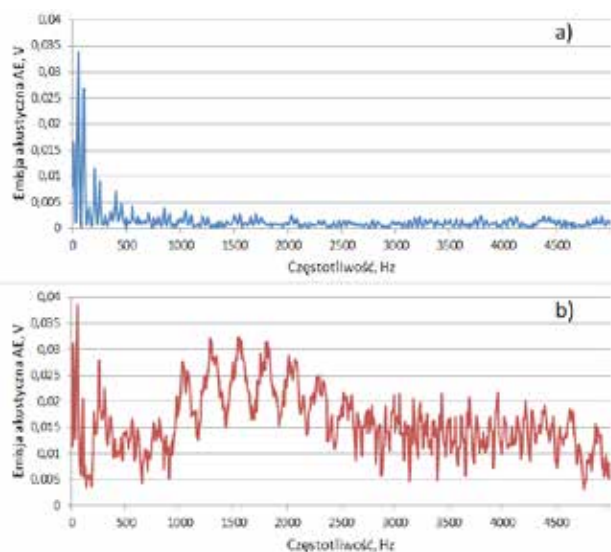
W kolejnym kroku obliczono transformaty FFT analizowanych sygnałów. Na rys. 4 przedstawiono przykładowe przebiegi FFT sygnału drgań  $A_d$  dla frezu nowego oraz z wykruszonymi ostrzami.



Rys. 4. Przebiegi FFT sygnału amplitudy drgań: a) frez nowy, b) frez z wykruszonymi ostrzami

W przypadku sygnału drgań  $A_d$  można zauważyć ok. dwukrotny wzrost amplitudy sygnału w paśmie powyżej 7 kHz. Z kolei sygnał emisji akustycznej AE przyjmuje wielokrotnie większe wartości dla frezu z wykruszonymi ostrzami w niemal całym zakresie analizowanych częstotliwości.

Przykładowe przebiegi FFT sygnału emisji akustycznej przedstawione zostały na rys. 5.



Rys. 5. Przebiegi FFT sygnału emisji akustycznej AE: a) frez nowy, b) frez z wykruszonymi ostrzami

## Podsumowanie

Frezowanie kół zębatach ze względu na swoją złożoną kinematykę jest procesem trudnym do nadzorowania. Stąd też zastosowanie niewielkich i odpornych na warunki procesu (wpływ chłodziwa, zanieczyszczeń czy temperatury) czujników drgań oraz emisji akustycznej jest rozwiązaniem technicznie uzasadnionym, a dodatkowo nie wymaga większych zmian konstrukcyjnych i nie ogranicza przestrzeni roboczej obrabiarki.

Najbardziej efektywny do diagnostyki procesu frezowania obwiedniowego okazał się sygnał FFT emisji akustycznej, dla którego zmiany wartości w wybranym przedziale częstotliwości były największe.

W przypadku ograniczonych możliwości obliczeniowych układu diagnostycznego jako wskaźnik stanu narzędzia można również wykorzystać wartości odchylenia standardowego  $\delta_{AE}$ . Sygnały oparte na pomiarze drgań są dla tego procesu mniej użyteczne z uwagi na znacznie mniejsze wartości rejestrowanych amplitud i trudności w odpowiednim montażu czujnika. Problemy te nie występują w przypadku zastosowania czujnika emisji akustycznej. Umieszczenia czujników nie utrudniają wymiany przedmiotów obrabianych oraz nie pogarszają sztywności maszyny, co często ma miejsce podczas prób zastosowania siłomierzy.

Jak wynika z przeprowadzonych badań, zarówno sygnał emisji akustycznej, jak i drgań pozwala na oszacowanie wystąpienia uszkodzenia frezu.

## LITERATURA

- Dimitriou V. „CAD-based simulation of the hobbing process for the manufacturing of spur and helical gear”. *Int. J. Adv. Manuf. Technol.* Vol. 41, No. 3–4 (2009): p. 347–357.
- Tapoglou N. „CAD-Based Calculation of Cutting Force Components in Gear Hobbing”. *J. Manuf. Sci. Eng.* Vol. 134, No. 3 (2012): p. 8.
- Teti R., Jemielniak K., O'Donnell G., Dornfield D. „Advanced monitoring of machining operations”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology.* Vol. 59, No. 2 (2010): pp. 717–739.
- Sabbhi N., Pelaingre C., Barlier C. „Characterization of the cutting forces generated during the gear hobbing process: Spur gear”. *Procedia CIRP.* Vol. 31 (2015): pp. 411–416.
- Jemielniak K., Otman O. „Tool failure detection based on analysis of acoustic emission signals”. *Journal of Materials Processing Technology.* Vol. 76, No. 1 (1998): pp. 192–197.