

Diagnostyka procesu wysokowydajnego frezowania stopów aluminium

Diagnostics of high performance milling of aluminum alloys

JAN BUREK
ROBERT BABIARZ
PAWEŁ SUŁKOWICZ
MARCIN SAŁATA *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.477

W artykule przedstawiono możliwości zastosowania sygnałów składowych siły skrawania, emisji akustycznej oraz drgań do diagnostyki wysoko wydajnego frezowania stopów aluminium. SŁOWA KLUCZOWE: diagnostyka, nadzorowanie, frezowanie, obróbka wysoko wydajna, stopy aluminium

This paper presents the results of research in monitoring signals, such as cutting force components, acoustic emission and vibrations in terms of their application in high performance milling of aluminum alloys.

KEYWORDS: diagnostics, monitoring, milling, HPC, aluminum alloys

Frezowanie jest procesem szeroko stosowanym w obróbce złożonych części dla przemysłu maszynowego, motoryzacyjnego czy lotniczego. Elementy konstrukcyjne samolotów o dużej wytrzymałości, takie jak podłużnice, dźwigary czy wręgi, wykonywane są obecnie z pełnego bloku aluminium. Ich cechą charakterystyczną jest duża liczba głębokich kieszeni oraz występowanie cienkich ścianek. Przekłada się to na ilość materiału usuwanego podczas frezowania, która nierzadko przekracza 90% objętości półfabrykatu. Części te są zwykle wykonywane w procesie obróbki wysokowydajnej (HPC – *high performance cutting*). Istotą tej obróbki jest usuwanie jak największej ilości materiału w jak najkrótszym czasie. Osiągane jest to poprzez zastosowanie wysokich wartości posuwu, szerokości oraz głębokości skrawania [1, 2].

Wysokie parametry skrawania, a także dążenie do pełnej automatyzacji procesu wytwarzania powodują konieczność stosowania systemów nadzorujących obróbkę. Można je podzielić na dwie grupy. Pierwsza opiera się na zastosowaniu systemów wizyjnych bądź inspekcji pracownika – tzw. metody off-line. Są one niekorzystne z punktu widzenia efektywności procesu, gdyż wymagają jego zatrzymania w celu przeprowadzenia kontroli. Odmienne podejście do zagadnienia diagnostyki procesów wytwarzania prezentują tzw. systemy on-line. Ich idea jest pomiar wybranych wielkości fizycznych pozwalających zidentyfikować stan procesu.

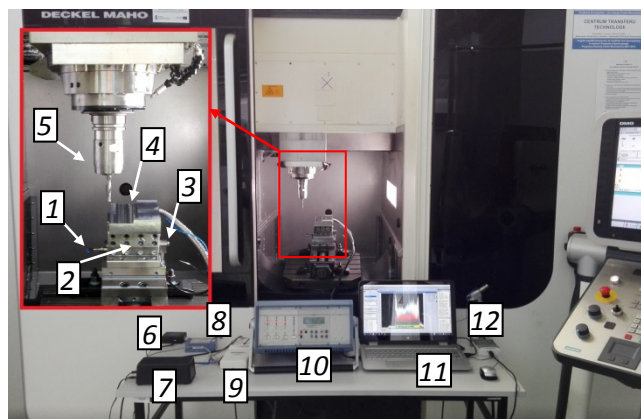
Poprawność przebiegu frezowania jest ściśle związana z siłą skrawania, której wartość jest uzależniona między innymi od takich parametrów, jak: stan narzędzia, temperatura w strefie obróbki, przekrój warstwy skrawanej itp. [3].

Do najczęściej stosowanych sygnałów diagnostycznych należą składowe siły skrawania, drgania czy emisja akustyczna (AE – *acoustic emission*). Szczególnie ten ostatni sygnał jest mało rozpowszechniony w nadzorowaniu procesów skrawania. Jego źródłem są fale sprężyste powstające na skutek nagłych zmian wartości energii wiązań międzycząsteczkowych. Podczas frezowania w wyniku działania sił skrawania na materiał obrabiany następuje przekroczenie wartości granicznych naprężeń, co powoduje zerwanie wiązań strukturalnych materiału. Istniejące czujniki AE pozwalają na rejestrację powstających fal w pasmie od 50 kHz do 1 MHz. Znane są prace potwierdzające wysoką korelację sygnału emisji akustycznej ze składowymi siłami skrawania w procesie szlifowania [4, 5].

Mierzone wielkości fizyczne mogą być następnie użyte jako sygnały wejściowe w układach sterowania adaptacyjnego, pozwalając na zmianę parametrów skrawania w trakcie obróbki [6, 7].

Warunki badań

Celem badań było określenie możliwości zastosowania wybranych sygnałów pomiarowych do diagnostyki wysoko wydajnego frezowania stopów aluminium. Badania wykonano na pięcioosiowym centrum frezarskim HSC 55 Linear firmy DMG Mori (rys. 1). Przedmiot testowy ze stopu aluminium AlZn5.5MgCu (7075) zamocowano w uchwycie obróbkowym wyposażonym w siłomierz piezoelektryczny firmy Kistler typu 9121 pozwalający na pomiar trzech składowych siły skrawania. Do uchwytu zamocowano czujnik emisji akustycznej typu 8152C firmy Kistler i czujnik drgań typu 621B40 firmy PCB Piezotronics.



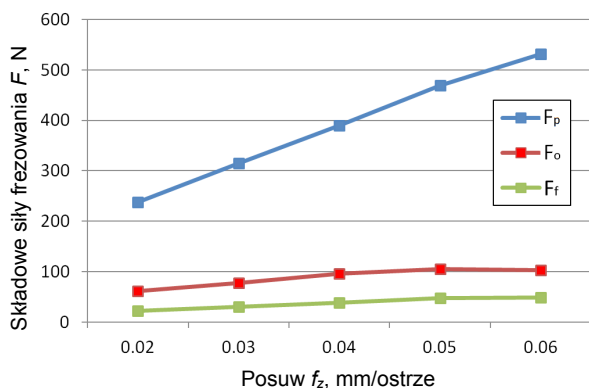
Rys. 1. Stanowisko badawcze: 1 – czujnik drgań, 2 – siłomierz, 3 – czujnik AE, 4 – frezowana próbka, 5 – frez, 6 – rozdzielacz, 7 – zasilacz, 8 – przetwornik wartości skutecznej, 9 – przetwornik A/C wielokanałowy, 10 – wzmacniacz, 11 – komputer, 12 – przetwornik A/C

* Dr hab. inż. Jan Burek prof. PRz (jburek@prz.edu.pl), dr inż. Robert Babiarz (robertb@prz.edu.pl), mgr inż. Paweł Sułkowicz (sulkowicz@prz.edu.pl), mgr inż. Marcin Sałata (msalata@prz.edu.pl) – Katedra Techniki Wytwarzania i Automatyzacji, Wydział Budowy Maszyn i Lotnictwa Politechniki Rzeszowskiej

Realizacja zadania badawczego polegała na frezowaniu przedmiotu testowego frezem pełnowęglkowym firmy Sandvik Coromant o średnicy $d = 10$ mm. Prędkość obrotowa wrzeczona wynosiła $n = 20000$ obr/min, głębokość skrawania $a_p = 8$ mm, a szerokość skrawania $a_e = 4$ mm. Posuw na ostrze f_z zmieniano w zakresie od 0,02 do 0,06 mm/ostrze.

Wyniki badań

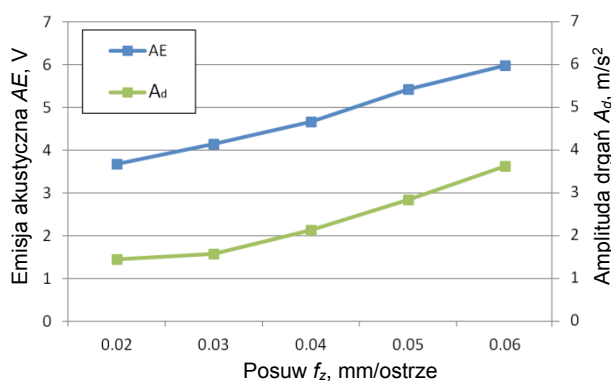
Przebiegi sygnałów rejestrowano z użyciem oprogramowania LabVIEW SignalExpress. Następnie wyznaczano ich wartości skuteczne. Na rys. 2 przedstawiono średnie wartości skuteczne składowych siły frezowania.



Rys. 2. Średnie wartości składowych siły frezowania

Na podstawie otrzymanych wyników można zauważyć, że największe wartości siły uzyskano na kierunku odporowym F_p . Składowe osiowa F_o oraz posuwowa F_f przyjmowały znacznie niższe wartości. W odróżnieniu od składowych F_o oraz F_f siła odporowa F_p znacząco rosła wraz ze wzrostem posuwu f_z .

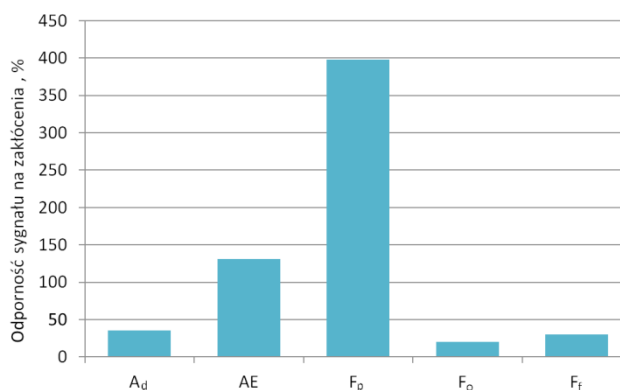
Na rys. 3 przedstawiono wartości średnie sygnałów emisji akustycznej oraz amplitudy drgań.



Rys. 3. Średnie wartości sygnałów emisji akustycznej oraz amplitudy drgań

Z wykresów wynika, że wartości sygnału emisji akustycznej AE wykazują największą korelację z wartościami składowej odporowej F_p siły skrawania (współczynnik korelacji $r = 0,99$). Również wartości amplitudy drgań A_d charakteryzują się wysoką korelacją z siłami skrawania ($r = 0,96$).

Następnie wyznaczono odporność sygnału pomiarowego na zakłócenia. W tym celu obliczono stosunek sygnału otrzymanego w stanie ustalonym podczas frezowania do wartości sygnału zarejestrowanego przed rozpoczęciem skrawania. Na rys. 4 przedstawiono odporność sygnału na zakłócenia podczas frezowania z posuwem $f_z = 0,06$ mm/ostrze.



Rys. 4. Odporność sygnałów na zakłócenia

Na podstawie przedstawionych wyników można zauważyć, że najbardziej odporny na zakłócenia okazał się sygnał siły odporowej F_p . Sygnał emisji akustycznej AE charakteryzuje się dobrą odpornością na zakłócenia. Natomiast przebiegi amplitudy drgań A_d oraz składowej osiowej F_o i posuwowej F_f siły skrawania dla małych wartości posuwu f_z mogą okazać zbyt wrażliwe na zakłócenia pochodzące od układów kinematycznych obrabiarki, które są wartością stałą.

Podsumowanie

Przeprowadzone badania prowadzą do wniosku, że w zastosowaniu do wysoko wydajnego frezowania najistotniejszy z punktu widzenia diagnostyki procesu jest sygnał składowej odporowej F_p siły skrawania. Z uwagi na wysoki koszt siłomierzy oraz trudności w ich montażu na obrabiarce zasadne jest poszukiwanie innych rozwiązań. Pomiar sił może być z powodzeniem zastąpiony poprzez pomiar wartości skutecznej emisji akustycznej, wykorzystując łatwy do zamocowania w pobliżu strefy obróbki czujnik. Zarejestrowane przebiegi tego sygnału wykazują bardzo wysoki stopień korelacji z wartościami siły odporowej. Ponadto sygnał ten cechuje się wysoką odpornością na zakłócenia i dostateczną czułością. Z kolei pomiar amplitudy drgań za pomocą akcelerometru dostarcza wielu informacji na temat przebiegu procesu i jest również dobrze skorelowany z sygnałem siły przy większej podatności na zakłócenia. Jednak w przypadku tego sygnału należy dokonać przemyślanego wyboru miejsca jego montażu.

LITERATURA

- Burek J., Babiarz R., Sułkiewicz P., „Nadzorowanie procesu wysokowydajnego frezowania stopów aluminium z zastosowaniem sterowania adaptacyjnego”. *Mechanik*. Nr 8–9 (2015): s. 551–558.
- Balkrishna R., Yung C. „Analysis on high-speed face-milling of 7075-T6 aluminum using carbide and diamond cutters”. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. Vol. 41, No. 12 (2001): pp. 1763–1781.
- Nouri M., Fussell A., Ziniti B., Linder E. „Real-time monitoring in milling using a cutting condition independent method”. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*. Vol. 89, No. 1 (2015): pp. 1–13.
- Hwang T., Whinton E., Hsu N., Blessing G., Evans C. „Acoustic emission monitoring of high speed grinding of silicon nitride”. *Ultrasonics*. Vol. 38, No. 1 (2000): pp. 614–619.
- Webster J., Marinescu I., Bernett R., Lindsay R. „Acoustic emission for process control and monitoring of surface integrity during grinding”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. Vol. 43, No. 1 (1994): pp. 299–304.
- Rivero A., Lopez L., Penalva M. „Tool wear detection in dry high-speed milling based upon the analysis of machine internal signals”. *Mechanics*. Vol. 18, No. 10 (2008): pp. 627–633.
- Kious M., Ouahabi A., Boudraa M., Serra R., Chekneane A. „Detection process approach of tool wear in high speed milling”. *Measurement*. Vol. 10, No. 43 (2010): pp. 1439–1446.