

Monitorowanie wybranych wielkości procesowych w szlifowaniu CFG

Monitoring of selected process variables during the CFG grinding

ROBERT BABIARZ *

DOI: 10.17814/mechanik.2015.12.589

Proces szlifowania stosuje się często jako obróbkę zgrubną dla materiałów trudno skrawalnych (proces CFG). Jednocześnie jego efekt jest zależny od trudnych do zmierzenia w trybie on-line parametrów. Z uwagi na znaczny koszt elementów obrabianych istotnym zagadnieniem jest problem monitorowania tego procesu. Zaprezentowane badania mają na celu określenie możliwości wykorzystania do tego celu wybranych sygnałów pomiarowych wielkości procesowych.

W przeprowadzonych badaniach wykorzystano układy pomiarowe emisji akustycznej, prądu wrzeciona ściernicy, drgań oraz składowych stycznej i normalnej siły szlifowania. Następnie zostały one ocenione pod kątem możliwości wykorzystania w układzie monitorowania procesu. Efekt końcowy procesu określano poprzez pomiary parametrów chropowatości oraz brak uszkodzeń termicznych powierzchni.

SŁOWA KLUCZOWE: szlifowanie, monitorowanie, CFG

The grinding process is often used as a roughing operation for materials difficult to machine (the process CFG). Simultaneously the end result is dependent on a large number of different, difficult to measure on-line parameters. Because of the significant cost of workpieces significant issue becomes the problem of monitoring this process. The presented research are to determine capabilities of using to that selected process variables of measuring signals. In this the acoustic emission, current of grinding spindle, vibrations and grinding force signal were used. They were then evaluated for capabilities to use in the system for monitoring the CFG process. The end results of the process were determined by measuring the roughness parameters and the lack of thermal damage on the surface.

KEYWORDS: grinding, monitoring, CFG

Wprowadzenie

Proces szlifowania z posuwem pełzającym (Creep-feed grinding) jest stosowany głównie w produkcji skomplikowanych kształtów w materiałach trudnoskrawalnych takich jak np. żaroodporne stopy lotnicze na bazie niklu [1]. W procesie tym przedmiot obrabiany uzyskuje kształt nadany przez odpowiednio zaprofilowaną ściernicę. Dokonuje się to najczęściej w jednym przejściu, przy pełnej głębokości skrawania i małym posuwie.

Na coraz powszechniejsze jego wykorzystanie ma wpływ głównie to, że może on służyć do kształtowania materiałów, dla których inne metody obróbki są trudne i kosztowne. Dodatkowo znacznie łatwiej jest zmodyfikować kształt profilu ściernicy niż narzędzi frezerskich, skracając tym samym czas wprowadzenia nowych wyrobów, bez dodatkowych kosztów związanych z projektowaniem narzędzi czy przezbrajaniem obrabiarki [2].

Zła skrawalność stopu Inconel 718 powoduje, że najczęściej stosowaną odmianą jego obróbki jest właśnie

szlifowanie z posuwem pełzającym. W procesie tym można uzyskiwać wydajności obróbki na poziomie podobnym jak w procesie frezowania [3]. Jednakże stosowanie bardzo dużych wartości dosuwu z uwagi na ograniczoną moc wrzeciona oraz możliwość wystąpienia przypaleń szlifierskich jest ograniczone i wiąże się z koniecznością szlifowania ze zmniejszonymi w stosunku do możliwości szlifierki wartościami posuwu [4,5].

Osiągnięcie wymaganej jakości obróbki w okresie trwałości ściernicy wymaga dużego doświadczenia oraz ostrożnego doboru wartości parametrów nastawczych procesu [6]. W zależności od warunków pracy ściernicy zjawiska samoostrzenia lub tępienia ściernicy występują w różnym nasileniu a decydujący o jakości otrzymanej powierzchni stan czynnej powierzchni ściernicy można określić dopiero po zakończeniu cyklu szlifowania [7,8].

W związku z powyższym moment przeprowadzenia operacji obciążania mocno zależy od doświadczenia technologa. Skutkuje to często niepotrzebnym, nadmiernym zużyciem ściernicy. Poważnym problemem występującym podczas realizacji tego procesu jest również problem właściwego doprowadzenia chłodziwa, szczególnie fazy rozpoczynania szlifowania gdy część strugi chłodziwa rozpraszana jest podczas zderzenia z powierzchnią boczną przedmiotu obrabianego. Może to powodować powstawanie przypaleń szlifierskich [9].

Z uwagi na powyższe ważnym zagadnieniem poprawiającym bezpieczeństwo prowadzenia tego procesu staje się problem jego monitorowania. Najczęściej używane do tego celu sygnały to siła skrawania, emisja akustyczna [bądź też drgania [10,11]. W większości przypadków każda z tych metod wymaga umieszczenia czujnika w pobliżu strefy obróbki. Wyjątkiem jest tutaj czujnik emisji akustycznej wykorzystujący strugę chłodziwa jako tor transmisyjny dla sygnału pomiarowego [12]. Jest to jednak bardzo kosztowne rozwiązanie, narzucające dodatkowo specjalne wymagania na układ chłodzenia szlifierki.

Przeprowadzono badania dotyczące możliwości wykorzystania wielu sygnałów procesu tj. sygnału drgań, emisji akustycznej, wartości prądu silnika wrzeciennika ściernicy oraz składowych siły szlifowania. Ich celem jest zastąpienie sygnału siły innymi sygnałami procesu. Stosowane zazwyczaj do tego celu sygnały składowych sił szlifowania wymagają kosztownych czujników oraz z uwagi na swoje rozmiary zmniejszającą dostępną przestrzeń roboczą. Jednocześnie czujniki są bardzo wrażliwe na udary a zatem podatne na uszkodzenia podczas eksploatacji szlifierki. Stosowany do wykrywania początku szlifowania w celu eliminacji szlifowania powietrza sygnał wartości skutecznej emisji akustycznej pomimo dobrej korelacji z chwilowymi przebiegami wartości składowych sił szlifowania i dobrej dynamice zmian sygnału jest wrażliwy na stan ściernicy. Dlatego jego bezpośrednie zastosowanie jest utrudnione.

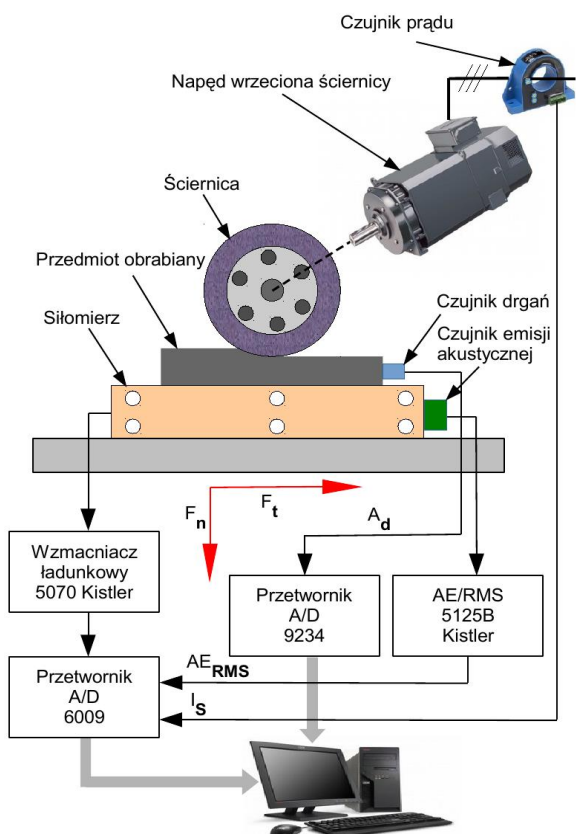
W celu przeprowadzenia selekcji najbardziej przydatnych do celów diagnostyki procesu szlifowania CFG sygnałów przeprowadzono badania doświadczalne. Prowadzono próby szlifowania z jednoczesną rejestracją sygnałów

* dr inż. Robert Babiarz (robertb@prz.edu.pl) – Politechnika Rzeszowska

składowych siły szlifowania F_t i F_n , wartości skutecznej emisji akustycznej AE_{ERMS} , wartości amplitudy drgań A_d oraz prądu silnika wrzeciona ściernicy I_s . Jako kryterium zużycia ściernicy przyjęto wartości graniczne wybranych parametrów chropowatości (R_a , R_z).

Stanowisko badawcze

Stanowisko badawcze procesu szlifowania zamków łopatek silników lotniczych wykonanych ze stopów typu Inconel zostało opracowane w oparciu o szlifierkę CNC do płaszczyzn i profili producenta Geibel&Hotz typ FS 640Z. Szlifierka wyposażona jest w system obciążania ściernicy wykorzystujący obrotową rolę kształtową.



Rys.1 Schemat blokowy układu rejestracji i przetwarzania sygnałów diagnostycznych

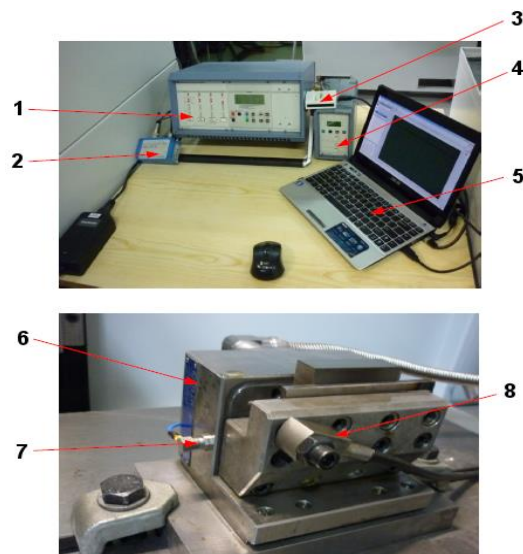
Na rys.1 przedstawiono schemat blokowy układu rejestracji i przetwarzania sygnałów pomiarowych.

Składowe siły szlifowania, styczna F_t oraz normalna F_n mierzono są za pomocą piezoelektrycznej 3-składowej platformy pomiarowej 9121 firmy Kistler. Następnie sygnał wzmacniano i filtrowano za pomocą wzmacniacza 5070 firmy Kistler. Zastosowano filtr dolnoprzepustowy o częstotliwości odcięcia 100 Hz. Wzmocniony i odfiltrowany sygnał przetwarzano na postać cyfrową za pomocą karty przetwornika A/C 12bit. USB 6009 firmy National Instrument. Rejestracja danych odbywała się z częstotliwością próbkowania 1kHz. Drgania w procesie szlifowania mierzono za pomocą miniaturowego czujnika drgań M353B16 firmy PCB. Rejestracja danych odbywała się z częstotliwością próbkowania 25kHz. Pomiar prądu zrealizowano wykorzystując precyzyjny czujnik hallotronowy typu LEM.

Badania polegały na wyznaczeniu zmian wartości amplitudy sygnałów w trakcie procesu i porównaniu ich z przebiegami składowych siły szlifowania oraz przebiegiem wybranych parametrów chropowatości (R_a , R_z). Pomiar chropowatości powierzchni realizowano wykorzystując Surtronic 3+ firmy Rank Taylor Hobson. Pomiar parametrów

chropowatości obrobionej powierzchni realizowano w kierunku prostym do kierunku ruchu stołu.

Na rys. 2 przedstawiono widok rozmieszczenia ważniejszych elementów stanowiska oraz czujników pomiarowych.



Rys. 2. Widok rozmieszczenia istotnych elementów stanowiska oraz czujników pomiarowych: 1) wzmacniacz ładunkowy czujnika siły typ 5070, 2) konwerter RMS przetwornika AE, 3) karty przetwornika A/C, 4) wzmacniacz czujnika drgań, 5) komputer rejestrujący, 6) siłomierz 7) czujnik drgań, 8) czujnik AE

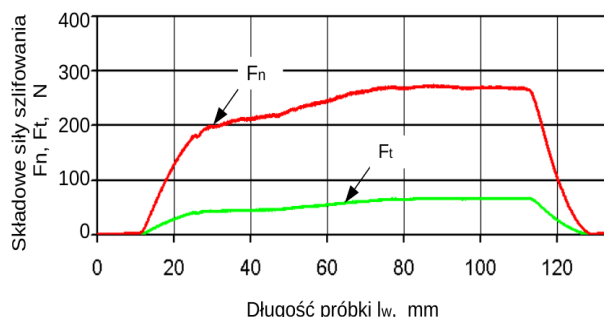
Czujniki drgań oraz emisji akustycznej umieszczono w pobliżu strefy obróbki.

Warunki prowadzenia badań oraz wyniki badań doświadczalnych

Badania przeprowadzono w następujących warunkach. Ciecz chłodziwo-smarująca to wodny 4% roztwór emulsji syntetycznej AquaTec 7000. Zastosowana ściernica, 300x50x76 mm, miękka, 35A 80 G 14. Dosuw szlifowania $a_e=1\text{mm}$. Prędkość posuwu $v_w=30-90\text{mm/min}$. Posuw obciążania $f_d=150\text{mm/min}$. Stosunek prędkości obciążania $q_d=0,3$. Dosuw obciążania $a_d=0,02\text{mm}$ (10 przejęć). Długość szlifowania $l_w=120\text{mm}$. Materiał obrabiany to próbka w kształcie prostokąta o szerokości 15mm i długości 120mm wykonana z materiału Inconel 718.

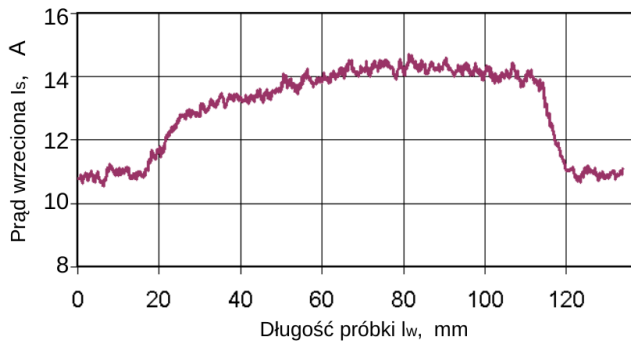
Ostatni etap polegał na rejestracji poziomu drgań i określenia granicznej wartości powodującej przekroczenie założonych wartości parametrów chropowatości szlifowanej powierzchni. Długość próbki oraz wartość dosuwu dobrano doświadczalnie w taki sposób aby dla wybranych parametrów technologicznych procesu osiągnąć stan zużycia profilu ściernicy.

Przebiegi wartości składowych siły szlifowania przedstawiono na rys.3.



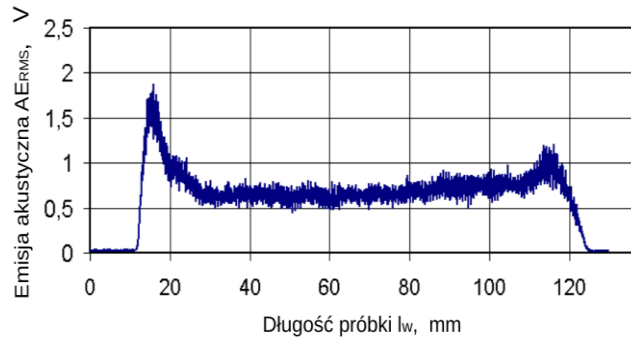
Rys.3 Przebiegi wartości składowych siły szlifowania F_t i F_n w funkcji długości próbki l_w

Składowe normalna i styczna siły szlifowania stanowią odniesienie dla pozostałych zarejestrowanych sygnałów.



Rys.4 Przebieg wartości prądu fazowego silnika wrzeciona ściernicy w funkcji długości próbki l_w

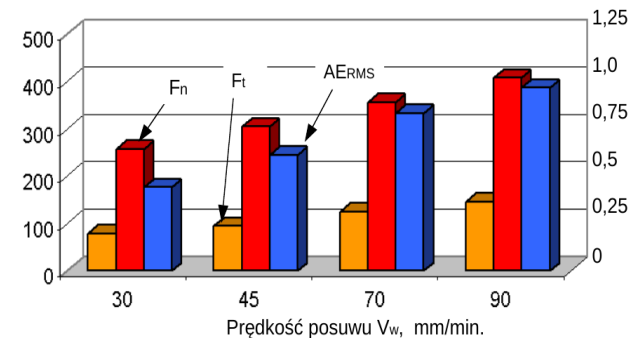
Na rys.4 przedstawiono przebieg wartości prądu silnika wrzeciona. Pomimo zastosowania filtracji oraz operacji uśredniania w porównaniu do sygnałów składowych siły szlifowania sygnał prądu silnika I_s jest mocno zakłócony. Jednak jego przebieg jest dobrze skorelowany z przebiegami składowych sił szlifowania.



Rys.5 Przebieg wartości skutecznej sygnału emisji akustycznej A_{ERMS} w funkcji długości próbki l_w

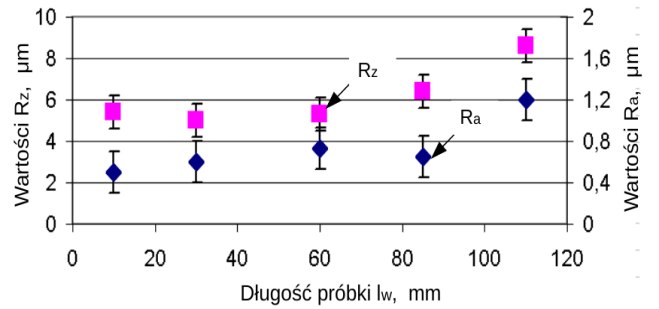
Sygnał emisji akustycznej charakteryzuje się znaczną czułością. Jego przebiegu nie można jednak powiązać z wartościami składowych siły szlifowania.

Na zarejestrowanym przebiegu tego sygnału widoczne są znaczne zmiany wartości spowodowane zmianą warunków chłodzenia i smarowania w strefie skrawania, której przyczyną jest zakłócenie przebiegu strumienia chłodziwa podczas wchodzenia ściernicy w materiał. W tym obszarze przebieg zmian wartości emisji akustycznej znacząco różni się od przebiegów sił skrawania (rys. 5).



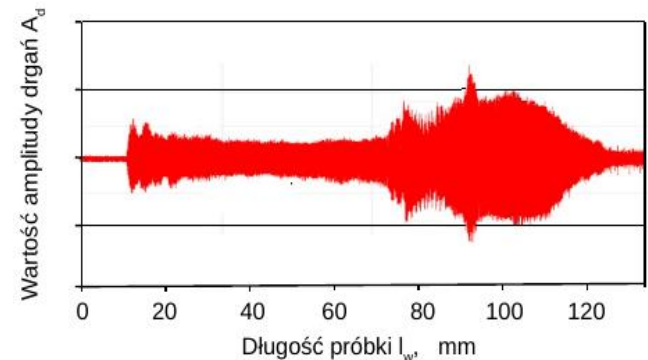
Rys.6 Średnie wartości składowych siły szlifowania F_t i F_n oraz wartości skutecznej emisji akustycznej A_{ERMS} dla różnych wartości prędkości posuwu v_w

Natomiast średnie wartości sygnału A_{ERMS} zmieniają się podobnie jak wartości składowych sił szlifowania (rys.6) jednak nie jest to zależność proporcjonalna.



Rys.7 Przebieg wartości wybranych parametrów chropowatości R_a i R_z w funkcji długości próbki l_w

Przebiegi wybranych parametrów chropowatości pozostają na prawie stałym poziomie do długości próbki ok. 90mm. Od tego momentu zauważalny jest przyspieszony wzrost wartości tych parametrów (rys.7). Związane jest to z nierównym zużyciem profilu ściernicy spowodowanym wykruszeniami ziaren ściernych. Porwiera to również przebieg amplitudy drgań (rys.8).



Rys.8 Przebieg wartości amplitudy drgań A_d w funkcji długości próbki l_w

Zaobserwowano kilkukrotny wzrost amplitudy drgań dla począwszy od $l_w > 75$ mm długości próbki.

Podsumowanie

Z przeprowadzonych badań doświadczalnych wynikają następujące wnioski:

- wartość skuteczna sygnału emisji akustycznej A_{ERMS} z uwagi na zmiany właściwości skrawnych ściernicy niezbyt dobrze nadaje się do nadzorowania procesu szlifowania,
- prąd silnika wrzeciona I_s może znaleźć zastosowania do nadzorowania procesów wolnozmiennych, np. w szlifowania z posuwem pelzającym,
- charakter zmian sygnału drgań jest podobny do przebiegu chropowatości a jednak wzrost wartości tego sygnału występuje wcześniej aniżeli zauważalny wzrost parametrów chropowatości, dynamika zmian tego sygnału jest również znacznie większa,
- dla badanego procesu zużycie ściernicy występowało głównie w postaci wykruszania się ziaren ściernych. Nie powodowało to znaczącego wzrostu siły szlifowania, natomiast prowadziło do szybkiego wzrostu wartości drgań oraz wzrostu wartości parametrów chropowatości R_a i R_z .

Podziękowanie

Badania realizowane w ramach Projektu "Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym", Nr POIG.01.01.02-00-015/08-00 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (PO IG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

LITERATURA

1. Nesluam M., "Grinding of Ni-based alloys with grinding wheels of high porosity". *Advances in Production Engineering & Management*, 4(2009)1-2, p.29-36.
2. Liao Y.S., Lin H.M., Wang J.H., "Behaviors of end milling Inconel 718 superalloy by cemented carbide tools." *Journal of Materials Processing Technology*, 201(2008), p.460-465.
3. Wenfeng D., Jihua X., Zhenzhen C., Honghua S., Yucan F., "Grindability and Surface Integrity of Cast Nickel-based Superalloy in Creep Feed Grinding with Brazed CBN." *Abrasive Wheels*, Chinese Journal of Aeronautics, 23(2010), p.501-510.
4. Xu X., Yu Y., Huang H., "Mechanisms of abrasive wear in the grinding of titanium (TC4) and nickel (K417) alloys." *Wear* 255 (2003), p.1421-1426.
5. Chen X., Griffin J., Liu Q., "Mechanical and thermal behaviors of grinding acoustic emission." *Int. Journal of Manufacturing Technology and Management*, 2006.
6. Yang Y., Lin J., Xu S., "Surface Grinding Machine Stability Characteristics Limited Prediction." *Mechanical Engineering Research*; Vol. 2, No. 2, ISSN 1927-0607, 2012.
7. Gołąbczak A., Święcik R., Galant M. „Modelowanie i weryfikacja doświadczalna temperatury w procesie szlifowania AEDG stopu tytanu." *Mechanik*. Nr 8-9, (2013). s.136-143/701
8. Németh Š., Neslušán M., "Vibration in grinding operations". *7th International Multidisciplinary Conference Baia Mare*, Romania, May 17-18, 2007.
9. Gradisek J., Baus A., Govekar E., Klocke F., Grabec I. "Automatic chatter detection in grinding." *International Journal of Machine Tools & Manufacture* 43, 1397-1403, 2003.
10. Zh L., Payre G., "Stability of Doubly Regenerative Cylindrical Grinding Process." *Journal of Sound and Vibration*, 310 (3-5), 950-962, 2007.
11. Kabin S. K., "Dynamic Modeling of Chatter Vibration in Cylindrical Plunge Grinding Process." *Innovative Systems Design and Engineering*, ISSN 2222-1727, Vol 2, No 4, 2011.
12. Sutowski P., Plichta S., "An investigation of the grinding wheel wear with the use of root-mean-square value of acoustic emission." *Archives of Civil and Mechanical Engineering*, vol VI, 2006.