

Metodyka analizy i modelowania sił w procesie szlifowania płaszczyzn dla małych głębokości obróbki

The methodology of analysis and modeling the forces in the surface grinding process for small a depths machining

WOJCIECH KACALAK
FILIP SZAFRANIEC
DARIUSZ LIPIŃSKI*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.314

Przedstawiono metodykę badań eksperymentalnych, analizy i modelowania sił w procesie szlifowania płaszczyzn ze stopu niklu Inconel 718 dla małej głębokości obróbki ($5 \pm 20 \mu\text{m}$). Przeanalizowano siły szlifowania dla przejść szlifujących i wyiskrzających oraz porównano je z wynikami symulacji komputerowej tego procesu.

SŁOWA KLUCZOWE: siły szlifowania, Inconel 718, symulacja procesu szlifowania, model sił szlifowania

In the paper a methodology for analysis and modeling of forces in the process of surface grinding nickel alloy Inconel 718 for small machining depth (5 ± 20 microns) was presented. In the article analysis of the grinding forces to pass grinding was presented and sparking and them with the results of computer simulation for this process was compared.

KEYWORDS: grinding forces, Inconel 718, simulation of grinding process, model of grinding forces

Efektywnym narzędziem do analizy charakteru oraz siły wzajemnych oddziaływań zjawisk następujących w wyniku oddzielania materiału obrabianego przez ziarna ściernic jest symulacja procesu szlifowania [1÷4, 7, 8]. Modele zawarte w procedurach symulacyjnych, które umożliwiają uzyskanie informacji o wielu niemierzalnych parametrach procesu obróbki [4, 5], stanowią połączenie zarówno modeli analitycznych [6], jak i doświadczalnych.

Warunki i zakres eksperymentu

Badania procesu szlifowania współbieżnego obwodem ściernicy przeprowadzono na szlifierce do płaszczyzn SPG 25x60 CNC firmy FAS-Głowno. Szlifowano próbki o wymiarach $80 \times 20 \times 10$ mm wykonane z trudno skrawalnego stopu Inconel 718. Materiał szlifowano z zastosowaniem ściernicy elektrokorundowej o oznaczeniu 99A120K7VE01 firmy Andre Abrasive Articles. Stosowa-

TABLICA. Parametry eksperymentu i symulacji

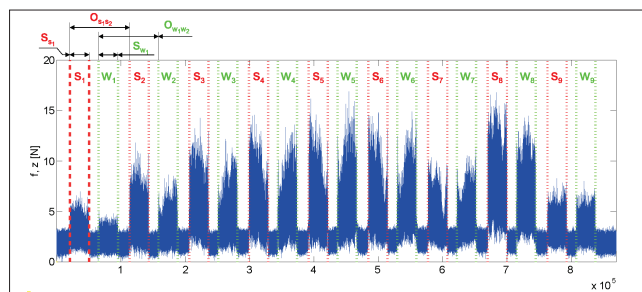
Prędkość szlifowania v_s , m/s	35
Prędkość wzdłużna przedmiotu v_{ft} , m/min	4
Dosuw a_e , μm	5 10 20
Posuw poprzeczny f_a , mm/skok	0,5 1 2
Średnica ściernicy D_s , mm	250
Numer ziarna	120
Rodzaj ziarna	99A
Szerokość przedmiotu, mm	10
Długość przedmiotu, mm	1

* Prof. dr hab. inż. Wojciech Kacalak (wojciech.kacalak@tu.koszalin.pl), mgr inż. Filip Szafraniec (filip.szafraniec@tu.koszalin.pl), dr inż. Dariusz Lipiński (dariusz.lipinski@tu.koszalin.pl) – Katedra Mechaniki Precyzyjnej, Wydział Mechaniczny Politechniki Koszalińskiej

no chłodzenie metodą zalewową z wykorzystaniem cieczy chłodząco-smarującej na bazie syntetycznego koncentratu emulgującego EMU-12L firmy Dik-Oil o stężeniu 3%. Parametry eksperymentu zestawiono w tablicy.

Rejestrowanie sił w procesie szlifowania

W rejestrowaniu sił procesu szlifowania zastosowano siłomierz płytowy do pomiaru składowych sił i momentów w procesie obróbki oraz analizator i tor pomiarowy typu 9257B firmy Kistler. Siłomierz pozwala na pomiar składowych sił obróbki w osiach X, Y i Z w zakresie ± 5 kN. Akwizycja wartości sił szlifowania była rejestrowana z zastosowaniem 16-kanalowej, 16-bitowej karty pomiarowej typu 2855A4 firmy Kistler oraz dedykowanego oprogramowania zaimplementowanego w środowisku obliczeniowym Matlab. Dane do przetwarzania przez aplikację miały strukturę zawierającą pola, w których zapisywane były wartości zmierzonego sygnału. Sygnał został podzielony na zbiory próbek rejestrowanych naprzemiennie w przejściach szlifujących (S) i wyiskrzających (W) oraz na zbiory próbek odpowiadające kolejnym numerom przejść obróbkowych (S_1, S_2, \dots, S_n oraz W_1, W_2, \dots, W_n , gdzie n oznacza liczbę przejść szlifujących ściernicy) (rys. 1).



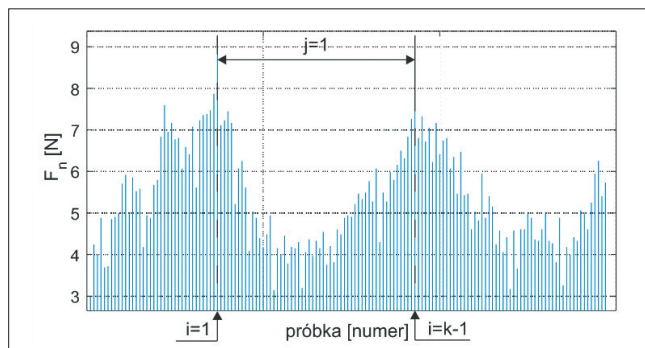
Rys. 1. Wyodrębnienie z sygnału składowej siły szlifowania zbiorów próbek dla przejść szlifujących i wyiskrzających

Eksperyment, z którego pozyskiwane były analizowane sygnały, zapewniał stałe wartości posuwów poprzecznych, stałą długość próbki szlifowanej oraz stały czas przestawienia między przejściem szlifującym a wyiskrzającym, więc możliwe było półautomatyczne wybieranie fragmentów sygnału dla przejść szlifujących i wyiskrzających.

Dzięki określeniu indeksów początków pierwszych zbiorów próbek (S_1 i W_1), ich szerokości (S_{s1} i W_{s1}) i odległości (O_{s1s2} i O_{w1w2}) oraz liczby wszystkich przejść szlifujących ściernicy (n) było możliwe półautomatyczne wyznaczenie zbioru wszystkich próbek dla analizowanego sygnału (rys. 1).

W procesach szlifowania z bardzo małymi naddatkami siła obróbki jest sumą skutków mało licznych kontaktów ziaren. Liczba ziaren równocześnie aktywnych jest mała, co stwarza potrzebę określania motywów zmienności wyników pomiaru dla każdego z przejść. Na kształt sygnału,

będącego sumą nielicznych oddziaływań ziaren, nakładają się dodatkowo składowe losowe, wynikające z odchylek kształtu ściernicy, bicia promieniowego powierzchni czynnej oraz zakłóceń procesu i pomiarów. Przyjęto, że wartości średnie siły będą wyznaczone dla każdego z motywów wyodrębnianych między kolejnymi maksymalnymi wartościami siły odległymi o liczbę wartości odpowiadającej okresowi głównej składowej sygnału (rys. 2).



Rys. 2. Schemat do wyznaczenia średniej wartości siły przypadającej na motyw zmienności

Dla każdego przejścia szlifującego i wyiskrzającego wyznaczono średnie wartości siły przypadającej na motyw zmienności według zależności:

$$F_{j\bar{s}r} = (k - 1)^{-1} \sum_{i=1}^{k-1} P_i \quad (1)$$

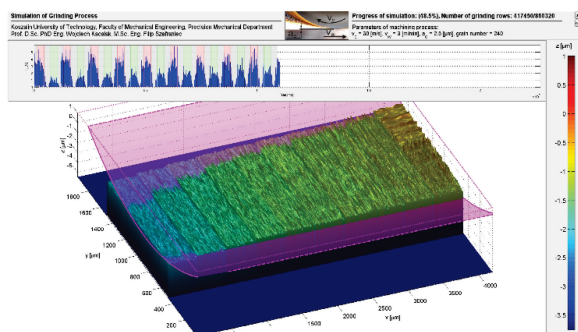
Modelowanie sił z zastosowaniem systemu do symulacji procesu szlifowania

W kompleksowym systemie do symulacji procesu szlifowania [4, 5] była możliwa rejestracja kontaktów ziaren ściernych z powierzchnią obrabianą oraz określenie wartości przekrojów warstw skrawanych [4]. Na podstawie tych informacji można określić wartość siły w jednostce czasu:

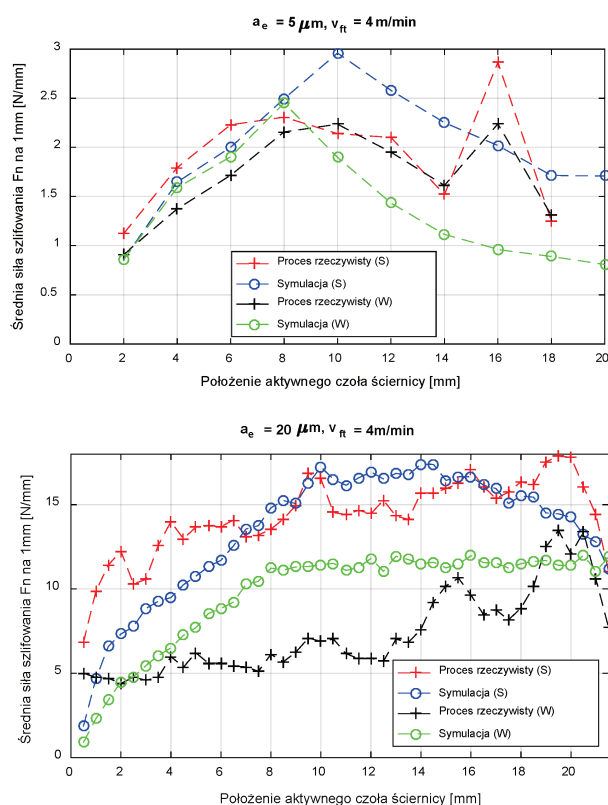
$$F_n = \sum_{i=1}^{L_{za}} CA^n f(k_s) \quad (2)$$

gdzie: L_{za} – liczba ziaren aktywnych, C – stała materiałowa, A – przekrój warstwy skrawanej określonym ziarnem, $f(k_s)$ – funkcja opisująca wpływ kształtu strefy kontaktu ziarna i materiału obrabianego, n – współczynnik nieliniowości procesu szlifowania zależnego od gęstości ziaren ściernych oraz potencjału materiału do tworzenia wypływek.

Przykładową wizualizację z rejestracji sił w systemie do symulacji procesu szlifowania dla przejść szlifujących (czerwone) i wyiskrzających (zielone) przedstawiono na rys. 3. Przeprowadzono procedury symulacji dla parametrów obróbki zestawionych w tabelicy, a porównanie wyników badań pokazano na rys. 4.



Rys. 3. Wizualizacja zmienności sił szlifowania w kompleksowym systemie do symulowania procesów szlifowania



Rys. 4. Średnie wartości sił szlifowania F_n na 1 mm w funkcji położenia aktywnego czola ściernicy dla głębokości 5 i 20 μm

Podsumowanie

Z porównania wyników badań eksperymentalnych i symulacji dla dwóch różnych głębokości szlifowania, tj. 5 i 20 μm , wynika, że:

- dla głębokości 5 μm poziomy sił w przejściu roboczym i powrocie wyiskrzającym są porównywalne, a wyniki symulacji i eksperymentu są bardzo zbliżone – co do wartości – dla całego procesu,
- dla głębokości 20 μm siły w powrocie wyiskrzającym są zdecydowanie niższe niż w przejściu roboczym,
- dla głębokości 20 μm różnica wyników symulacji i rzeczywistego procesu szlifowania w początkowej jego fazie wskazuje na potrzebę zwiększenia dokładności zależności (2) dla większych przekrojów warstw skrawanych.

LITERATURA

1. Darafon A., Warkentin A., Bauer R. "3D metal removal simulation to determine uncut chip thickness, contact length, and surface finish in grinding". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 66 (2013): pp. 1715÷1724.
2. Hecker R.L., Liang S.Y. "Predictive modeling of surface roughness in grinding". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. 43 (2003): pp. 755÷761.
3. Holtermann R., Schumann S., Menzel A., Biermann D. "Modelling, simulation and experimental investigation of chip formation in internal traverse grinding". *Production Engineering*. Vol. 7 (2013), pp. 251÷263.
4. Kacalak W., Szafraniec F. "Modelowanie obciążeń ziaren aktywnych i sił w procesie szlifowania". *Mechanik*. Nr 8-9 (2013): s. 241÷252/703.
5. Lipiński D., Kacalak W., Szafraniec F., Tomkowski R. "Metodyka tworzenia modeli neuronowych procesu szlifowania z wykorzystaniem wiedzy analitycznej i doświadczalnej". *Mechanik*. Nr 8-9 (2014): s. 255÷260/726.
6. Królikowski T., Bałasz B. "Ocena i modelowanie składowych sił mikroszlifowania pojedynczym ziarnem". *Pomiary Automatyka Kontrola*. R. 55, nr 4 (2009): s. 259÷262.
7. Yanlong C., Jiayan G., Bo L., Xiaolong C., Jiangxin Y., Chunbiao G. "Modeling and simulation of grinding surface topography considering wheel vibration". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 66 (2013): pp. 937÷945.
8. Zhou X., Xi F.: "Modeling and predicting surface roughness of the grinding process". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 42 (2002): pp. 969÷977. ■