

Metoda oceny wpływu posuwu na proces frezowania czołowego z użyciem dwuwymiarowej transformaty falkowej

The method of assessing the impact of feed for face milling process using a two-dimensional wavelet transform

WŁODZIMIERZ MAKIEŁA
DAMIAN GOGOLEWSKI*

DOI: 10.17814/mechanik.2016.8-9.260

Przedstawiono wyniki analizy struktury geometrycznej powierzchni. Zbadano możliwość adaptacji transformaty falkowej do wyznaczenia wartości parametru posuwu na obrót podczas procesu frezowania czołowego dla sześciu rodzajów materiału. Do badań użyto falki Morlet oraz Mexican hat. Stwierdzono, że ciągła transformata falkowa może być stosowana do analizy sygnałów chropowatości powierzchni.

SŁOWA KLUCZOWE: diagnostyka, frezowanie czołowe, analiza falkowa, chropowatość powierzchni

In this paper, authors show the research results of analysis of the geometric structure of surface. The authors test the possibility of adaptation of wavelet transform to determine the feed per revolution parameter value during face milling process for six kinds of material. Two mother wavelets (Morlet and Mexican hat) had been used to carry out the study. After analyzing the research results authors concluded that continuous wavelet transform may be used to analysis of surface roughness.

KEYWORDS: diagnostic, face milling, wavelet analysis, surface roughness

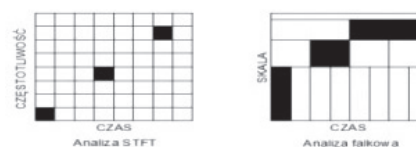
Wiele jest metod kształtowania elementów części maszyn. Podczas procesu produkcyjnego najczęściej wykorzystuje się obróbkę skrawaniem. Około 70% wszystkich elementów wytwarzanych jest za pomocą tej techniki [1]. Jednym z dominujących sposobów wykonywania elementów części maszyn z wykorzystaniem obróbki ubytkowej jest frezowanie. Rozwój nauki i techniki spowodował, że w procesie technologicznym stawiane są coraz większe wymagania wobec wykonywanych elementów, dotyczące m.in. ich dokładności wymiarowo-kształtowej czy struktury geometrycznej powierzchni. Miniaturyzacja oraz dążenie do podnoszenia sprawności maszyn i urządzeń sprawiają, że diagnostyka procesu obróbkowego jest nieodłącznym etapem procesu produkcyjnego. Pozwala ona na wykrycie niepożądanych zjawisk, które mogą prowadzić do uszkodzenia narzędzia, zmian jakości warstwy wierzchniej wytwarzanych elementów czy ich dokładności wymiarowo-kształtowej.

W literaturze na temat diagnozowania procesu frezowania można znaleźć wiele opracowań odnoszących się do analizy sygnałów z wykorzystaniem transformaty falkowej. Badania te dotyczą analizy sygnałów jednowymiarowych powstałych na skutek pomiarów siły skrawania [2], emisji akustycznej [3], sygnałów prądowych silników posuwu [4] czy mechanicznych drgań narzędzia [5]. Za pomocą tej nowoczesnej metody można wykryć anomalie procesu, na które mogą mieć wpływ m.in. drgania samowzbudne narzędzia [6], pęknięcia czy złamania frezu [7], wykruszenia ostrzy skrawających czy ich niecentryczności [8].

Brak jest natomiast opracowań na temat dwuwymiarowej analizy stereometrii powierzchni z użyciem analizy falkowej w kontekście diagnozowania przestrzennego stanu warstwy wierzchniej. W pracy podjęto próbę wykorzystania dwuwymiarowej transformaty falkowej do analizy parametrów procesu frezowania czołowego w odniesieniu do powstałej po obróbce chropowatości powierzchni

Dwuwymiarowa transformata falkowa

Rozwinięta na początku XX w. transformata falkowa jest obecnie wykorzystywana w wielu dziedzinach nauki, m.in. matematyce, fizyce kwantowej, elektronice czy geodezji sejsmicznej. Lokalnie określona, o zerowej wartości średniej oraz zwartym nośniku falka ma zdolność analizy sygnałów niestacjonarnych oraz wykrywania w nich miejsc występowania nieciągłości czy charakterystycznych stref sygnału, co daje jej niewątpliwą przewagę nad metodami klasycznymi, m.in. analizą czasowo-częstotliwościową. Klasyczna analiza Fouriera pozwala na wykrycie niewielkich zmian sygnału, jednak nie da się określić miejsca ich występowania. Miejsce wystąpienia nawet niewielkich zmian sygnału można określić dzięki wykorzystaniu w analizie falek bazowych, które są zlokalizowane w czasie (poprzez przesunięcia) oraz w częstotliwości (poprzez skalowanie). Możliwość takiej analizy wynika z wykorzystywania zmiennej wielkości okna w zależności od częstotliwości analizowanych informacji. Do przedstawienia informacji szybkozmiennych stosowane są krótkie odstępy próbkowania, natomiast informacje wolnozmiennne wymagają znacznie większych odstępów. Na danym poziomie dekompozycji możliwe jest wykrycie pewnych cech sygnału, które na innym poziomie są niewidoczne. Szybkozmiennne, niewielkie fragmenty sygnału będą widoczne jedynie na początkowych etapach analizy. Na rys. 1 przedstawiono idee szybkiej transformaty Fouriera oraz analizy falkowej dla sygnału jednowymiarowego.



Rys. 1. Porównanie metody czasowo-częstotliwościowej (STFT) oraz falkowej

Ciągłą dwuwymiarową transformatę falkową definiuje się ze wzoru [9]:

$$W_{b,a}(x,y) = \frac{1}{\sqrt{a_x a_y}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(x,y) \psi\left(\frac{x-b_x}{a_x}, \frac{y-b_y}{a_y}\right) dx dy$$

gdzie: $f(x,y)$ – dwuwymiarowy sygnał badany, ψ – falka matka, a_x, a_y – współczynniki skalowania w kierunku x oraz y , b_x, b_y – współczynniki przesunięcia w kierunku x oraz y .

* Dr hab. inż. Włodzimierz Makieła prof. PŚk (wmakielea@tu.kielce.pl), mgr inż. Damian Gogolewski (dgogolewski@tu.kielce.pl) – Politechnika Świętokrzyska

Istotny wpływ na wyniki ma użyta w analizie falka matka. W przypadku jej niewłaściwego doboru sygnał aproksymowany zostanie zdominowany przez własności samej falki i straci swój charakter [10]. Na każdym etapie analizy sygnału z wykorzystaniem transformaty falkowej następuje coraz większe wygładzenie sygnału wejściowego. Według [11] na pierwszych dwóch poziomach nie ma możliwości wykrycia charakterystycznych zmian sygnału. Informacje zawierają jedynie szumy. Poziomą dyskretną dekompozycję można w bezpośredni sposób powiązać z rozdzielczością (skalą) okna ciągłej transformaty falkowej [12]. Taką zależność przedstawiono w tablicy.

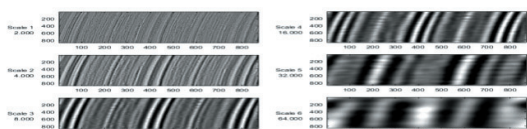
TABLICA. Powiązanie skali i poziomu dekompozycji

Poziom dekompozycji	1	2	3	4	5	6
Skala	2	4	8	16	32	64

Wyniki obliczeń

Dla sześciu rodzajów materiału przeprowadzono proces skrawania przy zadanych parametrach obróbki: głębokości skrawania $a_p = 0,2$ mm, prędkości skrawania $v_c = 200$ m/min oraz posuwie na ostrze f_z w zakresie $0,02 \div 0,12$ mm/ostrze. Sygnały chropowatości powierzchni zostały przeanalizowane z użyciem falki Mexican hat, pozwalającej ocenić rozkład ekstremów sygnału, oraz falki Morleta, określającej rozkład amplitud częstotliwości [13].

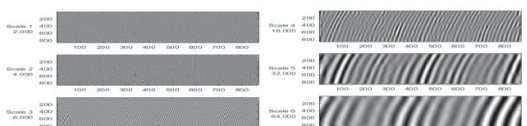
Na rys. 2 przedstawiono rzeczywiste obrazy sygnałów aproksymowanych na sześciu poziomach dekompozycji po przeprowadzeniu analizy z wykorzystaniem falki Mexican hat dla sygnału chropowatości powierzchni powstałej po operacji frezowania czołowego stali 40 HM przy zadanych parametrach: $a_p = 0,2$ mm, $v_c = 200$ m/min, $f_z = 0,12$ mm/ostrze. Na pierwszym poziomie analizy można zauważyć jedynie lokalne, krótkookresowe ekstrema sygnału. Na kolejnych poziomach widać kierunkowość warstwy wierzchniej odpowiadającą śladom ostrza skrawającego. Jasne obszary odpowiadają ekstremom dla długookresowych nieregularności. Szósty poziom analizy przedstawia rozmyty obraz powierzchni wejściowej. Na jego podstawie nie można w sygnale znaleźć charakterystycznych informacji.



Rys. 2. Aproxymowane sygnały powierzchni wejściowej na sześciu poziomach dekompozycji – falka Mexican hat

Dla tej powierzchni została przeprowadzona również filtracja z użyciem falki Morleta (rys. 3). Na pierwszych poziomach analizy falka nie wykryła charakterystycznych amplitud, uwidocznione elementy występują krótko i nieregularnie. Zmieniając długość falki matki na kolejnych etapach skalowania, można wykryć ślady ostrza skrawającego na badanej powierzchni.

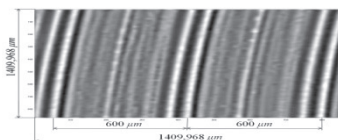
Dla każdej z badanych powierzchni został przeprowadzony proces wyznaczania wartości posuwu na obrót na podstawie zmierzonych punktów pomiarowych po



Rys. 3. Aproxymowane sygnały powierzchni wejściowej na sześciu poziomach dekompozycji – falka Morleta

przeprowadzeniu analizy. Na rys. 4 przedstawiono sygnał aproksymowany na trzecim poziomie dekompozycji z zaznaczonymi wielkościami wyznaczanego posuwu. Odległość między śladami obróbki była zgodna z zadaniem posuwem na obrót podczas skrawania.

Rys. 4. Sygnał powierzchni na trzecim poziomie dekompozycji z zaznaczonymi wartościami posuwu na obrót – falka Mexican hat



Podsumowanie

Adaptacja transformaty falkowej w analizie diagnostycznej pozwala na stwierdzenie nieokresowych zmian sygnału oraz określenie miejsca ich występowania. Możliwość takiej analizy jest szczególnie istotna podczas analizy sygnałów rzeczywistych, które w głównej mierze należy rozpatrywać jako niestacjonarne, nieokresowe.

Transformata falkowa jest przydatnym narzędziem w analizie struktury geometrycznej powierzchni frezowanych czołowo. Wykazano możliwość wyznaczenia zadanych wartości wybranych parametrów procesu. Otrzymana po analizie wartość wielkości posuwu na obrót była zgodna z wartością zadaną podczas procesu skrawania.

Analiza powierzchni z wykorzystaniem falki Mexican hat pozwoliła uwidocznienie miejscowych ekstremów powierzchni badanej. Na podstawie obrazów powstałych na kolejnych poziomach dekompozycji można stwierdzić, że analiza na pierwszych poziomach nie uwypukla istotnych informacji o badanym sygnale. Takie informacje – w zależności od użytej w analizie falki bazowej – można wykryć dopiero od drugiego do czwartego poziomu. Na kolejnych poziomach analizy następuje rozmycie sygnału wejściowego, co uniemożliwia identyfikację charakterystycznych obszarów powierzchni.

LITERATURA

- Wittbrodt P. „Trwałość i zużycie monolitycznych frezów węglkowych”. *Eksplotacja i Niezawodność*. T. 3 (2005): s. 3+12.
- Berger B.S., Minis I., Harley J., Rokni M., Papadopoulos M. „Wavelet based cutting state identification”. *Journal of Sound and Vibration*. Vol. 213 (1998): pp. 813+827.
- Mian A.J., Driver N., Mativenga P.T. „Chip formation in microscale milling and correlation with acoustic emission signal”. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. Vol. 56 (2011): pp. 63+78.
- Li X., Guan X.P. „Time-frequency-analysis-based minor cutting edge fracture detection during end milling”. *Mechanical Systems and Signal Processing*. Vol. 18 (2004): pp. 1485+1496.
- Yesilyurt I. „End milling breakage detection using mean frequency analysis of scalogram”. *International Journal of Machine Tool and Manufacture*. Vol. 46 (2005): pp. 450+458.
- Suh C.S., Khurjekar P.P., Yang B. „Characterisation and identification of dynamic instability in milling operation”. *Mechanical System and Signal Processing*. Vol. 16 (2002): pp. 853+872.
- Kasashima N., Mori K., Herrera-Ruiz G. „Diagnosing cutting tool condition in milling using wavelet transform”. *Advancement of Intelligent Production*. (1994): pp. 339+344.
- Kasashima N., Mori K., Herrera-Ruiz G., Taniguchi N. „Online failure detection in face milling using discrete wavelet transform”. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. Vol. 44 (1995): s. 483+487.
- Zahouani H., Mezghani S., Vargiolu R., Dursapt M. „Identification of manufacturing signature by 2D wavelet decomposition”. *Wear*. (264): pp. 480+485.
- Herrmann F. „A scaling medium representation a discussion on well-logs, fractals and waves”. Rozprawa doktorska. Delft: 1997.
- Zawada-Tomkiewicz A. „Estimation of surface roughness parameter based on machined surface image”. *Metrology and Measurement System*. Vol. XVII, No. 3 (2010): pp. 493+504.
- Misiti M., Misiti Y., Oppenheim G., Poggi J.M. „Wavelet Toolbox 4 – User's Guide”. The MathWorks, Inc. 2007.
- Brol S., Grzesik W. „Zastosowanie ciągłej transformaty falkowej do oceny profili chropowatości powierzchni po obróbce zahartowanej stali AISI52100”. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji*. T. 26, nr 2 (2006): s. 103+112.