

Wyznaczanie minimalnej grubości warstwy skrawanej z wykorzystaniem dwuwymiarowej transformaty falkowej

The determination of a minimum thickness value of the machined layer using two-dimensional wavelet transform

WŁODZIMIERZ MAKIEŁA
DAMIAN GOGOLEWSKI
ŁUKASZ NOWAKOWSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.467

W pracy podjęto próbę adaptacji dwuwymiarowej transformaty falkowej do identyfikacji występowania strefy inicjowania procesu skrawania oraz wyznaczenia wartości minimalnej grubości warstwy skrawanej dla procesu frezowania czołowego stali C45. Otrzymane wyniki wskazują na zdolność transformaty falkowej do analizy sygnałów niestacjonarnych oraz wykrywania w nich obszarów charakterystycznych.

SŁOWA KLUCZOWE: frezowanie czołowe, analiza falkowa, chropowatość powierzchni, minimalna grubość warstwy skrawanej

In this paper, authors take attempt to adapt the two-dimensional wavelet transform to identify the cutting zones and the determination of a minimum thickness value of the machined layer in the process of face milling of steel C45. The research results show the ability of the wavelet transform for the analysis of non-stationary signals and detecting characteristics zones in surface.

KEYWORDS: face milling, wavelet analysis, surface roughness, the minimum thickness of value of the machined layer

Obróbka wykończeniowa jest końcowym etapem procesu produkcyjnego. Ma ona istotny wpływ na kształtowanie warstwy wierzchniej wytwarzanych elementów oraz ich późniejsze właściwości. Konieczne jest zatem określenie parametrów procesu, które pozwolą na wykonanie powierzchni, eliminując niepożądane zjawiska, które mogą powstać w trakcie obróbki, uwzględniając również liczne błędy obróbkowe spowodowane m.in. posiadaniem płytek skrawających w gniazdach korpusu narzędzia czy nierównościami ostrza skrawającego. Wszystkie one wpływają na stan struktury geometrycznej powierzchni [1].

Jednym ze szczególnie istotnych parametrów procesu frezowania podczas obróbki z małymi głębokościami skrawania jest określenie minimalnej grubości warstwy skrawanej, która jest graniczną wartością definiującą początek obróbki skrawaniem i oddzielania materiału w postaci wióra. W zależności od głębokości skrawania można wyróżnić trzy strefy oddziaływania narzędzia skrawającego na obrabiany materiał. Pierwszą z nich jest strefa, w której występują jedynie odkształcenia sprężyste oraz plastyczne poprzez ugniatanie materiału obrabianego przez ostrze skrawające. W tym przypadku głębokość skrawania jest mniejsza niż najmniejsza wartość materiału, jaka może zostać usunięta w procesie ($a_p < h_{min}$). Kolejnym obszarem jest strefa odkształceń sprężysto-plastycznych z częściowym usuwaniem materiału ($a_p \approx h_{min}$). Natomiast ostatnia to strefa, w której następuje usuwanie materiału w postaci wióra ($a_p > h_{min}$) [2].

Analizując stan literatury, można znaleźć wiele opracowań analitycznych, z wykorzystaniem których można oszacować wartość h_{min} . Zakładają one jednak pewne uproszczenia oraz wyidealizowanie modelu, który w rzeczywistych warunkach nie jest możliwy do zastosowania. Praktyczne rozwiązania opisane w pracach [2, 3] pozwalają na eksperymentalne wyznaczenie wartości h_{min} poprzez m.in. stykowy bezpośredni pomiar parametru, analizę mikrotwardości, analizę stref kontaktu narzędzia i powierzchni obrabianej z użyciem optycznych przyrządów pomiarowych.

W pracy podjęto próbę adaptacji dwuwymiarowej transformaty falkowej do określenia miejsca występowania poszczególnych stref oddziaływania ostrza narzędzia skrawającego na obrabiany materiał oraz oszacowania wartości minimalnej grubości warstwy skrawanej.

Transformata falkowa

Dwuwymiarowa transformata falkowa na przełomie XX oraz XXI w. stała się coraz częściej stosowanym narzędziem w analizie sygnałów pomiarowych. Możliwość analizy sygnałów posiadających nieokresowe nieregularności oraz zdolność określania miejsca ich występowania sprawiają, iż jest ona coraz szerzej stosowana w wielu dziedzinach nauki. Wielu badaczy wykorzystuje transformatę falkową do badania diagnostycznego procesów, maszyn i urządzeń, w tym procesu frezowania [4–6]. Rzeczywiste zjawiska powstałe w procesie obróbki m.in. sygnał chropowatości powierzchni, mają charakter niestacjonarny, zatem należy wykorzystywać odpowiednie narzędzia do ich oceny [7].

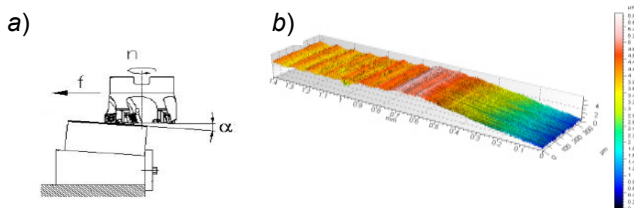
Zaletą tej transformaty jest wykorzystanie w analizie „małych falek”, które posiadają ograniczony zakres trwania, oscylacyjny charakter czy wartość oczekiwana równą zero. Wyboru falki bazowej, która powinna być wykorzystana w analizie, można dokonać w oparciu o odpowiednie testy statystyczne, bądź w oparciu o wiedzę i doświadczenie, uwzględniając zróżnicowane właściwości poszczególnych falek. Kształt falki wykorzystanej w analizie powinien być w największym stopniu dopasowany do kształtu sygnału.

Analiza sygnału dwuwymiarowego z wykorzystaniem transformaty falkowej prowadzi na każdym poziomie do jego dekompozycji na cztery inne sygnały – sygnał aproksymowany oraz sygnały detali poziomych, pionowych i ukośnych. Każdy z powstałych na danym poziomie dekompozycji sygnałów charakteryzuje się możliwością pozyskiwania innych informacji o różnym zakresie częstotliwości. Niemniej jednak detale powstałe na pierwszym i drugim poziomie dekompozycji zawierają jedynie szumy. Istotne informacje o sygnale zmierzonym analiza pozwala wykryć dopiero na kolejnych poziomach dekompozycji [8].

* Dr hab. inż. Włodzimierz Makieła prof. PŚk (wmakieła@tu.kielce.pl), mgr inż. Damian Gogolewski (dgogolewski@tu.kielce.pl), dr inż. Łukasz Nowakowski (lukasn@tu.kielce.pl) – Politechnika Świętokrzyska

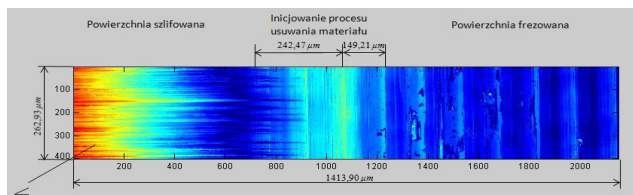
Metodyka badań oraz wyniki obliczeń

Próby skrawania przeprowadzono na centrum obróbkowym AVIA VMC800, z wykorzystaniem głowicy frezarskiej CoroMill 490. W celu uniknięcia bicia osiowego i promieniowego ostrzy w głowicy zamontowano jedną płytke typu 490-08T308M-PL. Prostopadłościenną próbkę ze stali C45 poddano operacji szlifowania, a następnie zamontowano ją w uchwycie obróbkowym na pochyłej przymie o kącie pochylenia $0^{\circ}23'16,57''$. Proces skrawania przeprowadzono bez użycia płynu chłodząco-smarującego przy parametrach obróbki: $v_c = 300$ m/min, $f_z = 0,1$ mm/ostrze. Schemat procesu przedstawiono na rys. 1a. Otrzymana powierzchnia została zmierzona na przyrządzie optycznym Talysurf CCI. Na rys. 1b przedstawiono jej widok izometryczny.



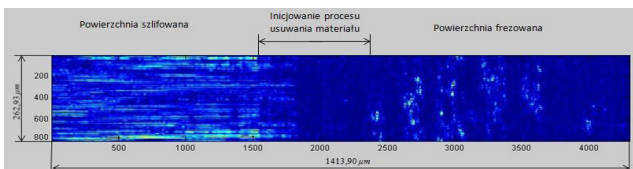
Rys. 1. Schemat mocowania próbki (a). Widok izometryczny powierzchni (b)

Analizę przeprowadzono z wykorzystaniem 10 falek bazowych. Za pomocą transformaty falkowej 2D przeanalizowano powierzchnie do 6. poziomu dekompozycji. Sygnał aproksymowany badanej powierzchni na 1. poziomie dekompozycji, po analizie falką matką $db12$ przedstawiono na rys. 2, na którym można wyróżnić charakterystyczne obszary opowiadające powierzchni po operacji szlifowania, frezowania oraz miejsca inicjowania procesu frezowania.



Rys. 2. Sygnał aproksymowany na 1. poziomie dekompozycji – falka $db12$

Następnie przeprowadzono analizę na kolejnych poziomach dekompozycji. Powstała macierz przedstawiająca rozkład współczynników detali poziomych na 4. poziomie dekompozycji została przedstawiona na rys. 3. Na poniższym rysunku można wyróżnić analogiczne obszary.



Rys. 3. Obraz współczynników detali poziomych na 4. poziomie dekompozycji – falka $db12$

Analizując powstałą macierz współczynników detali poziomych, na 4. poziomie dekompozycji, w lewej części rysunku, można zauważyć wyraźną kierunkowość SGP powstałą na skutek procesu szlifowania. W środkowej części następuje wyraźna zmiana intensywności kolorów. W tym obszarze następuje kontakt materiału i ostrza skrawającego, jednak głębokość skrawania jest mniejsza niż minimalna grubość warstwy, którą może zebrać narzędzie skrawające. Ostatni obszar, który można wyróżnić, jest to obszar występowania procesu skrawania i usuwania materiału w postaci wióra. Analogiczne obszary zaobserwowano w macierzach detali pionowych oraz ukośnych.

Strefa inicjowania procesu skrawania została uwypuklona w tym samym obszarze macierzy współczynników.

Zmierzona powierzchnia na profilometrze optycznym pozwoliła w bezpośredni sposób wyznaczyć wartość h_{min} , która wyniosła $1,53889 \pm 0,17003$ μm. Ponadto wyznaczono długość strefy inicjowania procesu frezowania. Na tej podstawie z wykorzystaniem kąta pochylenia przymy oraz funkcji trygonometrycznych wyznaczono wartość h_{min} , która wyniosła $1,64175 \pm 0,62351$ μm. Następnie obliczono błąd względny metody, przyjmując pomiar bezpośredni jako wielkość bazową. Błąd wyniósł 6,59%. Dla badanej powierzchni wyznaczono również długość obszaru, w którym proces obróbki nie jest ustabilizowany. Wartość parametru wyniosła $391,68 \pm 151,13$ μm. Obszar zaznaczono na rys. 2 i 3.

Podsumowanie

Analiza falkowa stanowi nowoczesne narzędzie wykorzystywane w analizie sygnałów pomiarowych, w szczególności do diagnozowania pracy różnego typu urządzeń. Niewątpliwą zaletą transformaty jest możliwość analizy sygnałów niestacjonarnych, nieokresowych, wykrywania w nich zaburzeń oraz wskazanie miejsca ich powstania.

Przeprowadzone symulacje potwierdziły, iż istnieje możliwość rozpoznawania miejsca występowania charakterystycznych stref oddziaływania narzędzia na materiał obrabiany podczas inicjowania procesu frezowania czołowego z wykorzystaniem transformaty falkowej.

Wartość h_{min} dla badanej powierzchni zmierzona w sposób bezpośredni wyniosła $1,53889 \pm 0,17003$ μm, natomiast wykorzystując znany kąt pochylenia przymy oraz rozkład współczynników macierzy po przeprowadzonej analizie falkowej, badana wartość wyniosła $1,64175 \pm 0,62351$ μm. Błąd względny między obiema wartościami wyniósł 6,59%. Ponadto, dla badanej powierzchni próbki wyznaczono długość obszaru, w którym proces frezowania nie jest ustabilizowany. Wartość parametru wyniosła $391,68 \pm 151,13$ μm.

Wybór falki bazowej, którą będzie analizowany sygnał wpływa na wyniki analizy otrzymywane na kolejnych poziomach dekompozycji. Niemniej jednak, każda z analizowanych falek wykryła charakterystyczne strefy.

Przeprowadzone badania dotyczą powierzchni jednej próbki. Otrzymywane wyniki wartości h_{min} mogą się różnić, w zależności od przyjętej w procesie prędkości skrawania, posuwu, rodzaju i właściwości materiału, geometrii ostrza oraz błędów pomiarowych. Określenie wartości h_{min} jest istotną kwestią podczas doboru głębokości skrawania, czy naddatku materiału pod obróbkę wykończeniową. Pozytywna weryfikacja pozwala na uruchomienie badań na próbce o większej liczności dla różnych parametrów procesu.

LITERATURA

- Grzesik W. „Podstawy skrawania materiałów metalowych”. Warszawa, 1998, WNT.
- Nowakowski Ł., Miko E. „Pomiar minimalnej grubości warstwy skrawanej dla procesu frezowania czołowego”. *Mechanik*, nr 7 (2013): s. 521–525.
- Harasymowicz J., Gawlik J., Warziniak W. „Sposób określania minimalnej grubości warstwy skrawanej wg patentu P. 252621”. Politechnika Krakowska 1988.
- Zhai L.Y., Er M.J., Li X., Gan O.P. San L. “Wavelet-based analysis of force signal for monitoring and prediction of cutting performance in high-speed milling processes”. *Engineering Letters*. Vol. 19 (2011): pp. 155–158.
- Romero-Troncoso R.J., Herrera-Ruiz G., Terol-Villalobos I., Jauregui-Correa J.C. “FPGA based on-line tool breakage detection system for CNC milling machines”. *Mechatronics*. Vol. 14 (2004): pp. 439–454.
- Kasashima N., Mori K., Herrera-Ruiz G. “Diagnosing cutting tool condition in milling using wavelet transform”. *Advancement of Intelligent Production*, 1994: pp. 339–344.
- Brol S., Grzesik W. „Zastosowanie ciągłej transformaty falkowej do oceny profili chropowatości powierzchni po obróbce zahartowanej stali AISI52100”. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatykacji*, t. 26, nr 2 (2006): s. 103–112.
- 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.