

Metoda rozdzielania składowych nierówności powierzchni za pomocą dwuwymiarowej transformaty falkowej

A method of separating components of surface irregularities using a two-dimensional wavelet transform

WŁODZIMIERZ MAKIEŁA
DAMIAN GOGOLEWSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.506

W pracy przedstawiono możliwości wykorzystania transformaty falkowej w celu rozdzielania składowych nierówności powierzchni zmierzonej. Przeprowadzono badania porównawcze sygnałów chropowatości powierzchni otrzymanych po analizie filtrem Gaussa oraz po przeprowadzeniu dekompozycji falkowej. Analizując otrzymane wyniki badań statystycznych, stwierdzono, iż transformata falkowa może być stosowana do rozdzielania składowych nierówności powierzchni.

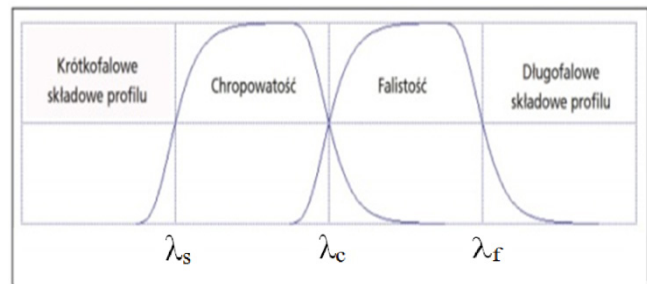
SŁOWA KLUCZOWE: filtracja, filtr Gaussa, analiza falkowa, chropowatość powierzchni

The paper presents the possibilities of using wavelet transform to separate the components of surface irregularities. Authors conducted comparative tests of surface roughness obtained by the Gaussian filtering and wavelet decomposition. Analyzing the results statistical research, it was concluded that the wavelet transform can be used for separating components of surface irregularities.

KEYWORDS: filtering, Gaussian filter, wavelet analysis, surface roughness

Powstała po przeprowadzeniu procesu obróbkowego powierzchnia przedmiotu nie jest zgodna z założonym idealnym kształtem elementu. Na powierzchni można zauważyć pewne odstępstwa od wartości nominalnych. Stanowią one złożenie okresowych oraz nieokresowych nierówności powstałych na skutek licznych błędów obróbkowych. Nierówności te można podzielić w zależności od charakteru na trzy grupy: błędy kształtu, falistość oraz chropowatość powierzchni. Do rozdzielania składowych nierówności powierzchni z sygnału zmierzonego są wykorzystywane ogólnie znane i szeroko stosowane sposoby wykorzystujące między innymi odpowiednie końcówki czujnika z określonym promieniem zaokrąglenia spełniające zadanie filtra mechaniczno-geometrycznego (profilometry stykowe), filtry analogowe lub cyfrowe [1]. Obecnie najszerzej stosowana jest metoda wykorzystująca filtrację Gaussa [3]. Do takiej analizy wykorzystywane są filtry o określonej długości odcięcia (*cut-off*), w zależności od rodzaju analizowanych nierówności powierzchni. Zatem badany sygnał jest rozdzielany przy użyciu dwóch filtrów: dolnoprzepustowego oraz górnoprzepustowego. Filtr dolnoprzepustowy tłumi wysokie częstotliwości sygnału związane z chropowatością powierzchni, pozostawiając składowe niskoczęstotliwościowe związane z falistością oraz zarysem kształtu. Odwrotną rolę pełni filtr górnoprzepustowy, który tłumi składowe wolnozmiennne, efektem czego jest sygnał chropowatości powierzchni. Długości fal wykorzystywanych w analizie składowych nierówności profilu, stosowanych

w analizie filtrem pasmowym Gaussa zostały wyszczególnione w normie PN-EN ISO 4287:1999/A1:2010. Graniczne wartości długości fali dla filtrów górnoprzepustowych odpowiadają długości odcinków elementarnych i wynoszą odpowiednio $\lambda_c = 0,08; 0,25; 0,8; 2,5; 8$ mm. Efekt działania takiego filtru jest taki, iż amplituda fali sinusoidalnej o długości odcinka elementarnego zmniejsza się do 50% swojej pierwotnej wysokości [7]. Na rysunku przedstawiono składowe nierówności powierzchni w zależności od granicznych wartości długości fali filtrów, gdzie λ_s oznacza filtr, który wyznacza przejście od chropowatości do składowych o jeszcze mniejszych długościach fal występujących na powierzchni, λ_c – filtr wyznaczający przejście od chropowatości do falistości, λ_f – filtr wyznaczający przejście od falistości do składowych o jeszcze większych długościach fal występujących na powierzchni [8].



Rys. Składowe nierówności profilu powierzchni [8]

Dwuwymiarowa transformata falkowa

Rozwinięta na początku XX wieku transformata falkowa znajduje coraz większe zastosowanie w wielu dziedzinach nauki. Wykorzystanie w analizie lokalnie określonej o zwartym nośniku falki bazowej sprawia, iż transformata falkowa może być wykorzystywana do analizy sygnałów niestacjonarnych, posiadających nieokresowe nieregularności. Rzeczywiste sygnały pomiarowe należy traktować jako sygnały niestacjonarne, nieokresowe, zatem należy stosować odpowiednie narzędzia do ich analizy [2].

Analogicznie jak w przypadku analizy z użyciem filtrów cyfrowych, dekompozycja sygnału algorytmem transformaty falkowej opiera się na wykorzystaniu dwóch wzajemnie uzupełniających się filtrów: górnoprzepustowego oraz dolnoprzepustowego. Zatem na kolejnych poziomach następuje coraz większe wygładzenie sygnału wejściowego. Otrzymany sygnał aproksymowany odpowiada informacjom niskoczęstotliwościowym, a detale przedstawiają informacje wysokoczęstotliwościowe sygnału.

W pracy została rozwinięta koncepcja podziału składowych nierówności powierzchni zmierzonej zaproponowana przez Josso i in. w pracy [4] oraz Lingadurai i Shunmugam w pracy [5]. Uznano, iż dekompozycja powierzchni

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

zmierzonej na kolejnych poziomach analizy z wykorzystaniem transformaty falkowej prowadzi do rozdzielania składowych nierówności powierzchni. Sygnał chropowatości powierzchni będzie opisany jako suma detali powstałych na kolejnych poziomach analizy.

Wyniki obliczeń

Badania zostały przeprowadzone dla dwóch próbek powstałych w wyniku procesu frezowania czołowego elementu ze stali C45 przy zadanych parametrach procesu. Parametry te zebrano w tabl. I.

TABLICA I. Parametry obróbki

Parametry obróbki	Próbka nr 1	Próbka nr 2
a_p , mm	0,1	0,1
v_c , m/min	300	300
f_z , mm/ostre	0,1	0,18

Dla każdej z powierzchni została przeprowadzona filtracja z wykorzystaniem filtra Gaussa. Do rozdzielenia składowych nierówności powierzchni wytypowano filtr o rozmiarze $0,8 \times 0,8$ mm. Otrzymany sygnał chropowatości powierzchni został porównany z wykorzystaniem testów statystycznych z sygnałem powstałym po przeprowadzeniu analizy falkowej powierzchni zmierzonej. Do analizy statystycznej wykorzystano test T2 Hottelina na poziomie istotności $\alpha = 0,05$ [6], korelację Pearsona sygnału chropowatości powierzchni powstałej w wyniku analizy filtrem Gaussa oraz sygnału dekomponowanego na wytypowanym poziomie analizy oraz zbadano, czy istnieje różnica między wytypowanymi parametrami chropowatości powierzchni. Do analizy wykorzystano szereg fałek bazowych: *haar*, *db2*, *db3*, *db4*, *db5*, *db6*, *db7*, *db8*, *db9*, *db10*, *db12*, *db15*, *db20*, *coif1*, *coif2*, *coif3*, *coif4*, *coif5*, *sym2*, *sym3*, *sym4*, *sym5*, *sym6*, *sym7*, *sym8*, *sym10*, *bior1.3*, *bior1.5*, *bior2.2*, *bior2.4*, *bior2.6*, *bior2.8*, *bior3.1*, *bior3.3*, *bior3.5*, *bior3.7*, *bior3.9*, *bior4.4*, *bior5.5*, *bior6.8*. Uznano, iż w przypadku spełnienia warunków testu T2 Hottelina, korelację Pearsona między sygnałami niemal pełnej oraz względnej zmiany wartości parametrów chropowatości na poziomie mniejszym niż 10%, otrzymany sygnał powstały w wyniku dekompozycji falkowej powierzchni zmierzonej traktować jako sygnał chropowatości powierzchni. Dla wybranych fałek bazowych w tabl. II zamieszczono wyniki przeprowadzonych badań statystycznych próbki nr 1. Wartości względnej zmiany wartości parametrów chropowatości powierzchni zostały obliczone zgodnie z zależnością (1):

$$\delta = \frac{\Delta x}{x} 100\%$$

gdzie: Δx – moduł różnicy wartości parametru po przeprowadzeniu dekompozycji falkowej oraz wartości parametru po przeprowadzeniu analizy filtrem Gaussa, x – rzeczywista wartość parametru obliczona dla sygnału po przeprowadzeniu analizy filtrem Gaussa.

TABLICA II. Wyniki obliczeń - próbka nr 1

falka bazowa	Współczynnik korelacji	Wartość δ , %				Test T2 Hotellinga
		Sa	Sq	Sku	Ssk	
<i>db12</i>	0,992	1,6	1,8	1,2	1,2	+
<i>sym7</i>	0,986	3,9	3,2	0,1	0,1	+
<i>bior1.3</i>	0,979	2,5	1,7	4,0	4,0	+
<i>bior1.5</i>	0,978	2,6	1,7	4,3	4,3	+
<i>bior3.1</i>	0,548	87,3	90,9	20,6	20,6	+

Analogiczne współczynniki wyznaczone dla próbki nr 2 zamieszczono w tabl. III.

TABLICA III. Wyniki obliczeń - próbka nr 2

falka bazowa	Współczynnik korelacji	Wartość δ , %				Test T2 Hotellinga
		Sa	Sq	Sku	Ssk	
<i>db12</i>	0,943	7,0	1,9	8,7	8,7	+
<i>sym7</i>	0,949	4,8	6,7	5,8	5,8	+
<i>bior1.3</i>	0,933	26,6	25,3	15,0	15,0	+
<i>bior1.5</i>	0,926	26,4	26,1	13,0	13,0	+
<i>bior3.1</i>	0,527	94,8	104	36,2	36,2	+

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały, iż istnieje możliwość wykorzystania transformaty falkowej jako nowej, alternatywnej metody do rozdzielania składowych nierówności powierzchni. Otrzymany sygnał chropowatości powierzchni zmierzonej po analizie transformatą falkową nie różni się w istotny sposób od sygnału otrzymanego z wykorzystaniem filtracji filtrem Gaussa.

Analizując otrzymane wyniki dekompozycji powierzchni zmierzonej na ósmym poziomie analizy można zauważyć, iż dla pewnej grupy fałek bazowych otrzymane wyniki nie różnią się w sposób istotny od parametrów otrzymanych dla sygnału chropowatości powierzchni. Najlepsze wyniki uzyskano dla fałek: *db10*, *db12*, *sym7*. Dla tych fałek dla obu próbek otrzymano zadowalające rezultaty.

Współczynnik korelacji Pearsona sygnału chropowatości powierzchni otrzymanej w wyniku filtracji filtrem Gaussa oraz sygnału po analizie falkowej osiągał dla wskazanych fałek korelację niemal pełną. Analiza porównawcza tych dwóch powierzchni z wykorzystaniem testu T2 Hottelina wykazała, iż dla wskazanych fałek bazowych, na wybranym poziomie istotności, nie ma istotnej różnicy między obiema powierzchniami.

Powierzchnia próbki nr 1 charakteryzowała się znacznie większą regularnością śladów obróbkowych w porównaniu z powierzchnią próbki nr 2. Na podstawie wyników przeprowadzonej analizy dla tej powierzchni, powstały odfiltrowany sygnał chropowatości powierzchni, jedynie dla dwóch fałek bazowych był w istotny sposób różny do sygnału chropowatości powstałego po analizie filtrem Gaussa.

Dalsze badania będą kontynuowane na próbce o większej liczności, co pozwoli uwzględnić losowy charakter współczynników opisujących powierzchnie. Ponadto zostaną przeprowadzone badania na powierzchniach zmierzonych, dla których do rozdzielenia składowych nierówności powierzchni zostaną wykorzystane filtry o innym rozmiarze.

LITERATURA

- Adamczak S. „Pomiary geometryczne powierzchni”. Warszawa: WNT 2008.
- 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.
- Jakubiec W., Malinowski J. „Metrologia wielkości geometrycznych”. Warszawa: WNT 2004.
- Josso B., Burton D.R., Lator M.J. “Frequency normalized wavelet transform for surface roughness analysis and characterization”. *Wear*. Vol. 252 (2012): pp. 491–500.
- Lingadurai K., Shunmugan M.S. “Metrological characteristics of wavelet filter used for engineering surfaces”. *Measurement*. Vol. 39 (2006): pp. 575–584.
- Makiela W., Gogolewski D. „Ocena zmienności zarysów stereometrii powierzchni w procesie dekompozycji falkowej za pomocą testu T2 Hotellinga”. *Mechanik*. Nr 8–9 (2015): s. 559–567.
- Wieczorowski M. „Wykorzystanie analizy topograficznej w pomiarach nierówności powierzchni”. Poznań: Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Rozprawy nr 429, 2009.
- Norma PN-EN ISO 4287:1999/A1:2010 – Specyfikacje geometrii wyrobów – Struktura geometryczna powierzchni: metoda profilowa – Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni. ■