

Wojciech KACALAK¹, Filip SZAFRANIEC¹, Robert TOMKOWSKI¹,
Dariusz LIPIŃSKI¹, Czesław ŁUKIANOWICZ²

¹ POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, KATEDRA MECHANIKI PRECYZYJNEJ

² POLITECHNIKA KOSZALIŃSKA, KATEDRA INŻYNIERII PRODUKCJI, ZAKŁAD METROLOGII I JAKOŚCI

Metodyka oceny zdolności klasyfikacyjnej parametrów charakteryzujących cechy stereometryczne nierówności powierzchni

Prof. dr hab. inż. Wojciech KACALAK

Kierownik Katedry Mechaniki Precyzyjnej. Specjalność naukowa: mechatronika, diagnostyka, optymalizacja i automatyzacja procesów mikroobróbki oraz procesów bardzo dokładnej obróbki ścierniej, w tym zwłaszcza materiałów trudno obrabialnych, a także budowa i eksploatacja precyzyjnych urządzeń technologicznych. Dorobek naukowy składa się z ponad 260 publikacji naukowych, w tym wielu zagranicznych, oraz licznych projektów badawczych, monografii i patentów.



e-mail: wojciech.kacalak@tu.koszalin.pl

Dr inż. Dariusz LIPIŃSKI

W latach 1999 – 2005 asystent a od roku 2005 adiunkt w Katedrze Mechaniki Precyzyjnej Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. W swojej działalności naukowej zajmuje się zastosowaniem metod sztucznej inteligencji do optymalizacji i oceny jakości procesów obróbki.



e-mail: dariusz.lipinski@tu.koszalin.pl

Mgr inż. Filip SZAFRANIEC

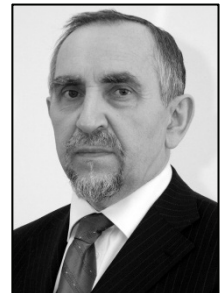
Autor od roku 2009 jest doktorantem w Katedrze Mechaniki Precyzyjnej Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. W swojej działalności naukowej zajmuje się modelowaniem i symulacją procesów obróbki, o bardzo dużej dokładności i małej chropowości.



e-mail: szafraniecfilip@gmail.com

Dr hab. inż. Czesław ŁUKIANOWICZ

Autor jest pracownikiem Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej. Kieruje Zakładem Metrologii i Jakości w Katedrze Inżynierii Produkcji. Specjalizuje się w pomiarach struktury geometrycznej powierzchni metodami stykowymi i optycznymi. Opublikował z tego zakresu ponad 100 artykułów i referatów naukowych.



e-mail: czeslaw.lukianowicz@tu.koszalin.pl

Mgr inż. Robert TOMKOWSKI

Absolwent Wydziału Mechanicznego Politechniki Koszalińskiej (2005) wszystkich trzech stopni kształcenia. Od 2008 roku pracownik Laboratorium Mikro- i Nanoinżynierii w Katedrze Mechaniki Precyzyjnej Politechniki Koszalińskiej. W swojej działalności naukowej zajmuje się modelowaniem i symulacją procesów obróbki, zastosowaniami sztucznej inteligencji oraz metrologią powierzchni.



e-mail: robert.tomkowski@tu.koszalin.pl

of evaluation methods and applications to complex analysis and surface evaluation. In this paper a methodology for selecting parameters for complex evaluation of the surface topography features is presented. Analysis of the classification ability of parameters was performed. It was proved that when selecting parameters for the classification of a collection one should consider: classification ability, technological usability and ease of interpretation in spite of classification ability of many parameters. New parameters and methods for classification of parameters on the basis of the stereometry features are presented.

Keywords: roughness parameters, ability of classification, stereometry features of surface.

Streszczenie

W pracy opracowano metodykę wyboru parametrów do kompleksowej oceny cech stereometrycznych powierzchni. Przeprowadzono analizy zdolności klasyfikacyjnej parametrów. Wykazano, że wybierając parametry do klasyfikacji zbioru należy uwzględnić: zdolność klasyfikacyjną, przydatność technologiczną oraz łatwość interpretacji, pomimo zdolności klasyfikacyjnej wielu parametrów. Przedstawiono nowe parametry i metody klasyfikacji parametrów na podstawie cech stereometrycznych.

Słowa kluczowe: parametry chropowości, zdolność klasyfikacyjna, cechy stereometryczne powierzchni.

Methodology for evaluation of classification abilities of parameters characterizing stereometry features of surface irregularities

Abstract

The increase in requirements for accuracy and properties of elements, minimisation of the wear of materials, mass and dimensions of elements, the increase in load capacity and endurance, and also the development of manufacturing technology, lead to the development of many measurement methods and equipment to carry them out as well as to increase the number of parameters for use in evaluation of the surface stereometry features. Taking into account new requirements, a new system for evaluation of the surface stereometry features was developed. The system consists of a collection

1. Wprowadzenie

Wzrost wymagań w zakresie dokładności i właściwości elementów, a także minimalizacja zużycia materiałów, masy elementów i ich rozmiarów, wzrost obciążalności i wytrzymałości, a także rozwój technologii wytwarzania, spowodowały opracowanie wielu metod pomiarów i urządzeń do ich przeprowadzania oraz zwiększanie liczby parametrów do wykorzystania w ocenie cech stereometrycznych powierzchni [1, 2].

Nadal jednak dobór parametrów oceny cech stereometrycznych powierzchni technicznych, tworzących komplementarny zbiór [3], zapewniających wysoką skuteczność klasyfikacyjną i łatwość interpretacji ocen, dla określonych zastosowań powierzchni, jest trudnym zadaniem, wymagającym rozwiązania wielu problemów, opracowania oraz upowszechnienia systemów do wspomagania obliczeń i analiz oraz wspomagania podejmowania decyzji, odnoszących się do ustaleń konstrukcyjnych, technologicznych i eksploatacyjnych.

2. Wskaźniki zdolności klasyfikacyjnej poszczególnych parametrów w ocenie cech stereometrycznych

W Politechnice Koszalińskiej opracowano system spełniający powyższe postulaty. Na system składa się zbiór metod oceny oraz

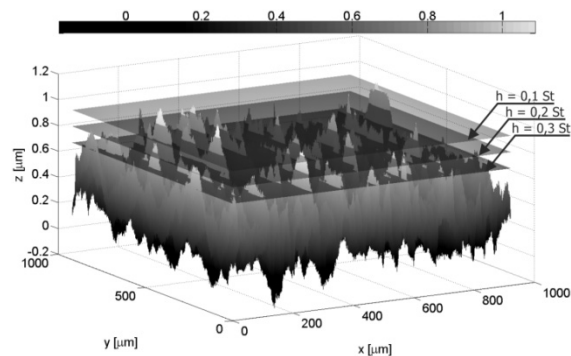
zestaw aplikacji do kompleksowych analiz i oceny cech stereometrycznych powierzchni, zwłaszcza powierzchni kształtowanych w procesach obróbki o dużej dokładności.

W tworzeniu systemu do kompleksowej oceny cech stereometrycznych powierzchni uwzględniono że:

- podstawą wyboru parametrów, które zostaną wykorzystane do oceny określonej powierzchni, powinno być przeznaczenie elementu i warunki jego eksploatacji, przy czym przydatna jest też wiedza o procesie stosowanym do kształtowania powierzchni;
- kształtowanie powierzchni wielu dokładnych elementów następuje w procesach obróbki ścierniej lub erozyjnej. Powierzchnie takie posiadają randomizowane cechy fraktalne, z niekiedy „obcą” składową główną;
- wiele parametrów chropowatości jest silnie skorelowanych dla pewnych klas powierzchni;
- zawartość informacyjna poszczególnych parametrów jest zróżnicowana;
- wiele parametrów zyskuje na znaczeniu dopiero po integracji zawartej w nich informacji z informacją z innych parametrów;
- większość użytkowanych powierzchni przeznaczonych jest do współpracy z innymi powierzchniami, a zatem rozmieszczenie, rozmiary i cechy statystyczne potencjalnych pól kontaktu mają duże znaczenie;
- dla oceny jakości, klasyfikacji i interpretacji wyniku kształtowania powierzchni, wielkie znaczenie ma łatwość interpretacji wartości parametrów i ich odniesienia do cech i efektów procesu kształtowania powierzchni;
- w ocenie cech stereometrycznych powierzchni za ważne należy uznać relacje między określonymi parametrami profilu (2D) we wzajemnie prostopadłych kierunkach, dlatego, iż szczególnie ważny jest kształt i rozmieszczenie obszarów prawdopodobnego styku kontaktujących się powierzchni;
- wskazywanie jednego uniwersalnego zbioru parametrów, zalecanego do oceny cech stereometrycznych powierzchni o różnych przeznaczeniach, funkcjach użytkowych i zastosowaniach eksploatacyjnych, nie jest uzasadnione;
- w zależności od warunków planowanej eksploatacji oraz, w pewnym stopniu, również od cech procesu kształtowania powierzchni, należy tworzyć zbiór parametrów, które:
 - maksymalizować będą przydatność informacyjną,
 - będą spełniać warunek komplementarności,
 - zawierać będą informację o rozproszeniu i zmienności parametrów geometrycznych,
 - spełniać będą warunek, łatwych do interpretacji relacji, między wartościami parametrów, a określonymi cechami powierzchni,
 - umożliwią wyznaczenie ewentualnych korekt procesu kształtowania powierzchni.

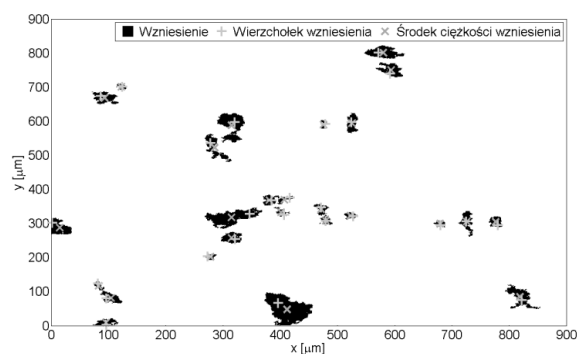
Opracowane i zastosowane zostały nowe parametry do analizy cech stereometrycznych powierzchni, wynikające z analiz:

- wartości i cech rozkładu pierwszej pochodnej zarysu: dz/dx , dz/dy (w tym statystyki wartości zbliżonych do zera),
- rozkładu rzędnych wierzchołków powierzchni i zarysów $P(x_{max})|_{x>x_0}$, $P(y_{max})|_{y>y_0}$
- rozkładu odległości wierzchołków w określonym kierunku,
- rozmiarów, położenia i odległości pól prawdopodobnego styku z powierzchnią współpracującą o określonej topografii lub z powierzchnią równoważną statystycznie, dla określonych warunków zbliżenia powierzchni (rys.1-2),
- rozkładu kątów pochylenia linii łączących sąsiednie wierzchołki wzniesień zarysu,
- rozkładu wartości stosunku wysokości do pierwiastka z pola wzniesienia,
- rozkładu wartości stosunku obwodu do pierwiastka z pola wzniesienia powierzchni ponad określony poziom,
- relacji między stosowanymi parametrami oceny wysokości nierówności,
- cech opisujących kształt wierzchołków nierówności i pól ich przecięcia na określonym poziomie.



Rys. 1. Wizualizacja wzniesień powierzchni nad płaszczyzną na trzech poziomach h od najwyższego wierzchołka powierzchni

Fig. 1. Visualization of surface elevation over plane on three levels of h from the highest top of the surface

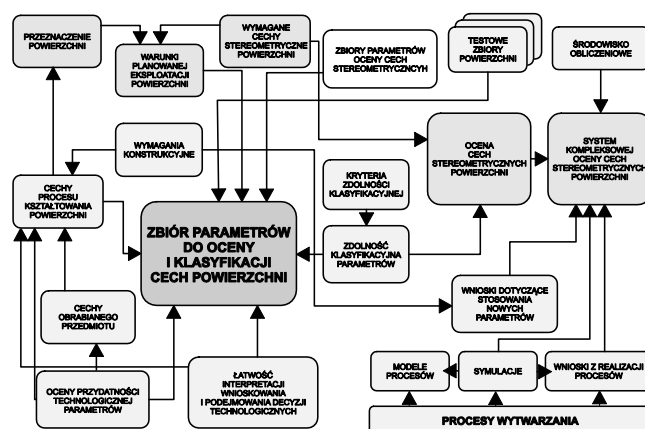


Rys. 2. Wzniesienia na poziomie $h = 0,2$ St od najwyższego wierzchołka powierzchni z zastosowaniem odfiltrowania wzniesień o polu mniejszym od 5% największego pola wzniesienia dla $h_f = 0,1$ St

Fig. 2. Elevation on the level $h = 0,2$ St from the highest top of the surface with use of filtration of field elevation smaller than 5% of the largest elevation field for $h_f = 0,1$ St

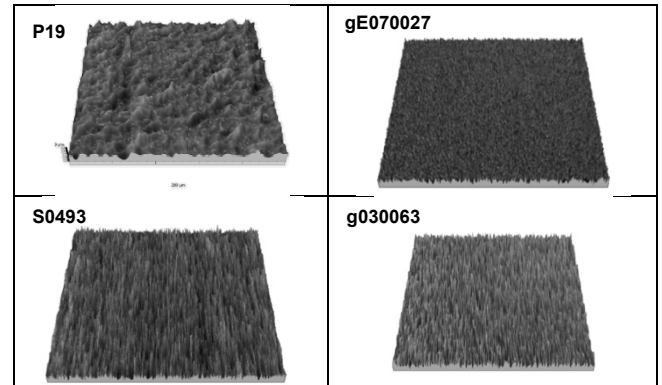
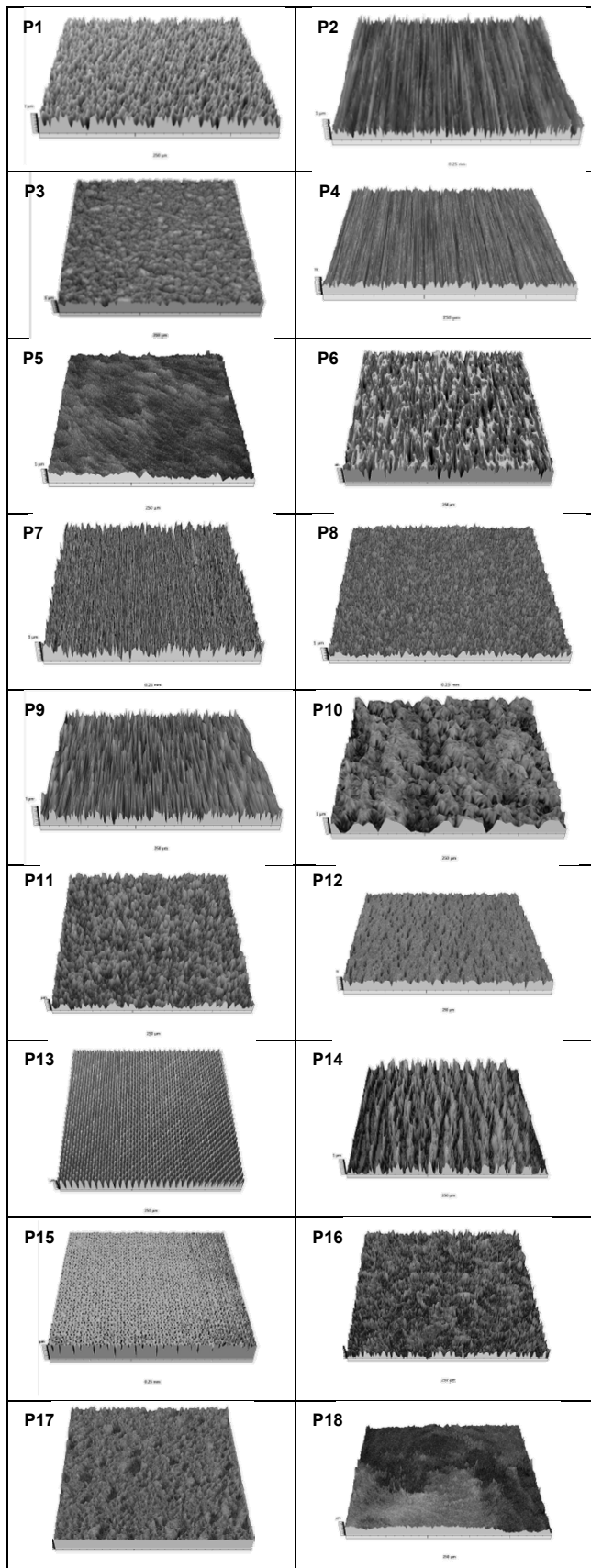
Do oceny powierzchni o bardzo małej chropowatości należy stosować zbiór parametrów zależnych od:

- liczby wzniesień powyżej określonego poziomu,
- powierzchni postawy wzniesień na określonym poziomie,
- liczby wzniesień płaskich (dla przyjętych kryteriów płaskości),
- powierzchni wzniesień płaskich,
- odległości między wzniesieniami powyżej danego poziomu,
- liczby wzniesień płaskich w stosunku do wszystkich wzniesień powyżej określonego poziomu,
- sumy pól powierzchni wzniesień zdefiniowanych jako płaskie, w stosunku do sumy wszystkich wzniesień powyżej określonego poziomu [4].



Rys. 3. Schemat do metodyki wyboru zbioru parametrów o wysokiej zdolności klasyfikacyjnej

Fig. 3. Methodology for selection of collection of parameters of high classification ability

Tab. 1. Zbiór testowy powierzchni o zbliżonej wartości parametru $St \cong 1 \mu m$ Tab. 1. Test collection of surfaces with approximate value of the parameter $St \cong 1 \mu m$ 

W tworzeniu syntetycznych wskaźników oceny powierzchni, z uwzględnieniem wielu parametrów elementarnych, niezbędna jest normalizacja wielkości wejściowych [5], a następnie wskazane jest wyznaczanie średniej geometrycznej, która w stosunku do średniej arytmetycznej w większym stopniu zależy od danych uznawanych za niekorzystne.

Problem wyboru zbioru parametrów o wysokiej zdolności klasyfikacyjnej oraz łatwych interpretacji i przydatnych do doboru parametrów i warunków procesu obróbki, przedstawiono na schemacie (rys. 3).

Zdolność klasyfikacyjna określonych parametrów oceny cech stereometrycznych powierzchni, dla określonego znormalizowanego zbioru powierzchni jest tym większa im bardziej równomierne jest rozkład wartości ocen wszystkich powierzchni (w przedziale 0-1). W przypadku, gdy oceny, z zastosowaniem danego parametru, są dla kilku powierzchni podobne, to parametr ten ma niską zdolność klasyfikacyjną. Wskaźnikiem zdolności klasyfikacyjnej może być średnia geometryczna różnic wartości kolejnych ocen w posortowanym ciągu ocen.

Ocena zdolności klasyfikacji różnych parametrów możliwa jest z zastosowaniem następującej metodyki:

- W pierwszym etapie tworzy się zbiór powierzchni, które planuje się różnicować z zastosowaniem różnych parametrów (tab. 1). W tabeli 1 zilustrowano dwadzieścia dwa z kilkudziesięciu przykładów powierzchni o tej samej wartości parametru St , ale odmiennych cechach stereometrycznych. Wśród tych powierzchni można wyróżnić: powierzchnie po obróbce ścierniej (P2, P4, P7, P9, P14, S0493, g030063), powierzchnie po obróbce erozyyjnej (P1, P8, P11, P16, P17, P19, gE070027), powierzchnie wygładzane ściernie (P3, P12, P15), powierzchnie o dużej porowatości (P6, P10), powierzchnie o regularnej topografii (P13), oraz powierzchnie po zużyciu eksploatacyjnym (P5, P18).
- W kolejnym etapie wyznacza się wartości różnych parametrów dla wszystkich powierzchni w zbiorze testowym. W tabeli 2 przedstawiono zbiór analizowanych parametrów chropowatości oraz wyróżniono nowe parametry oceny cech stereometrycznych powierzchni kolorem szarym.
- Przeprowadza się normalizację parametrów do przedziału $\langle 0,1 \rangle$, korzystnie z zastosowaniem metod wnioskowania rozmytego.
- Dokonyje się wizualizacji znormalizowanych wartości parametrów na wykresie radarowym. (rys. 4-6).
- Dokonyje się sortowania zbiorów wartości każdego z parametrów oddzielnie $\{St_1, St_2, \dots, St_n\}, \dots, \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$.
- Wyznacza się różnice między kolejnymi wartościami dla każdego zbioru j parametrów $\Delta \bar{P}_j = P_{j+1} - P_j$.
- Ustala się małą wartość $\varepsilon \ll \Delta \bar{P}_j$, np. $\varepsilon = (0,01 \div 0,1) \Delta \bar{P}_j$.
- Wyznacza się średnią geometryczną w zbiorze wartości $n \Delta \bar{P}_j + \varepsilon$

według wzoru $Wsk_{klas} = \left[\prod_{j=1}^n (n \Delta \bar{P}_j + \varepsilon) \right]^{\frac{1}{n}}$, dla wszystkich $j = 1, \dots, n$, gdzie n – liczba parametrów w zbiorze.

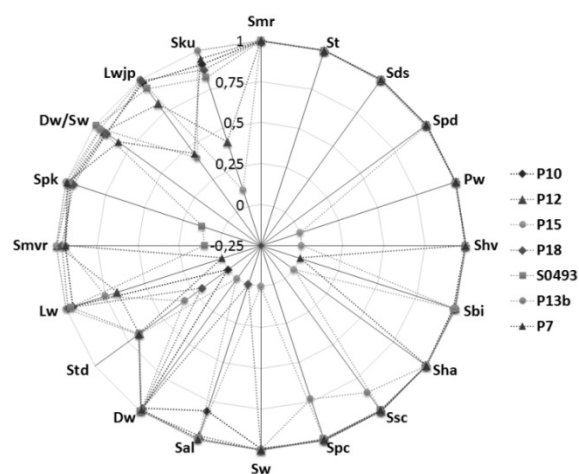
Wartość $0 < Wsk_{klas} < 1$ jest wskaźnikiem zdolności klasyfikacyjnej danego parametru. Zdolność klasyfikacyjna jest tym większa, im bliższa jedności jest wartość Wsk_{klas} (rys. 7).

Tab. 2. Wykaz parametrów 3D przedstawionych na rys. 7; na podstawie m.in. [6]
Tab. 2. List of 3D parameters shown in Fig. 7; on the basis, inter alia, [6]

Symbol parametru	Jedn. miary	Kontekst	Opis
Dw	μm	$h = 0,2 \text{ St}$	Średnia długość wzniesień
Dw/Sw	$\mu\text{m}/\mu\text{m}$	$h = 0,2 \text{ St}$	Stosunek średniej długości wzniesień do średniej szerokości wzniesień
Lw	μm	$h = 0,2 \text{ St}$	Liczba wzniesień
Lwjd	$1/\text{mm}$	$h = 0,2 \text{ St}$	Liczba wzniesień na jedn. długości
Lwjp	$1/\text{mm}^2$	$h = 0,2 \text{ St}$	Liczba wzniesień na jedn. powierzchni
Ow	μm	$h = 0,2 \text{ St}$	Średnia odległość między wzniesieniami
Pw	μm^2	$h = 0,2 \text{ St}$	Średnie pole powierzchni wzniesień
A1	$\mu\text{m}^2/\text{mm}$		Względne pole powierzchni wzniesień
A2	$\mu\text{m}^2/\text{mm}$		Względne pole powierzchni wgłębień
S10z	μm	Cięcie = 5%	Wysokość 10. punktów powierzchni
S5p	μm	Cięcie = 5%	Wysokość pięciu wierzchołków powierzchni
S5v	μm	Cięcie = 5%	Wysokość pięciu dolin powierzchni
Sa	μm		Średnie odchylenie arytmetyczne
Sal	μm		Długość autokorelacji najszybszego zanikania
Sbi			Wskaźnik nośności powierzchni
Sci			Wskaźnik retencji płynu rdzenia
Sda	μm^2	Cięcie = 5%	Pole powierzchni zamkniętych wgłębień
Sdc	μm	$p = 10\%$, $q = 80\%$	Różnica wysokości między przekrojami
Sdq			Średniokwadratowy gradient powierzchni
Sdr	%		Współczynnik rozwinięcia obszaru powierzchni
Sds	$1/\mu\text{m}^2$		Gęstość wierzchołków
Sdv	μm^3	Cięcie = 5%	Objętość zamkniętych wgłębień
Sfd			Wymiar fraktalny powierzchni
Sha	μm^2	Cięcie = 5%	Pole powierzchni zamkniętych wzniesień
Shv	μm^3	Cięcie = 5%	Objętość zamkniętych wzniesień
Sk	μm	Gaussowski filtr, 0,8 mm	Głębokość chropowatości rdzenia
Sku			Kurtoza (eksces) powierzchni
Smc	μm	$p = 10\%$	Odwrotny połowy stosunek materiałowy powierzchni
Smmr	μm		Średnia objętość materiału wzniesień na jednostkę powierzchni
Smq		Gaussowski filtr, 0,8 mm	Względny udział materiałowy na przejściu plateau i wgłębień
Smr	%	$c = 1 \mu\text{m}$ pod najwyższym wierzchołkiem	Względny udział materiałowy powierzchni
Smvr	μm		Średnia objętość pustek na jednostkę powierzchni
Sp	μm		Maksymalna wysokość wzniesień
Spc	$1/\mu\text{m}$	Cięcie = 5%	Średnia arytmetyczna krzywizna wierzchołka powierzchni
Spd	$1/\mu\text{m}^2$	Cięcie = 5%	Gęstość wierzchołków powierzchni
Spk	μm	Gaussowski filtr, 0,8 mm	Zredukowana wysokość wierzchołków
Spq		Gaussowski filtr, 0,8 mm	Nachylenie prostej regresji w obszarze plateau
Sq	μm		Średniokwadratowe odchylenie powierzchni
$\sqrt{\text{Pw}}/\text{Ow}$	$\mu\text{m}/\mu\text{m}$	$h = 0,2 \text{ St}$	Stosunek pierwiastka średniego pola wzniesień do średniej odległości między wzniesieniami
Sr1	%	Gaussowski filtr, 0,8 mm	Górny udział materiałowy powierzchni
Sr2	%	Gaussowski filtr, 0,8 mm	Dolny udział materiałowy powierzchni
Ssc	$1/\mu\text{m}$		Średnia arytmetyczna krzywizna wierzchołków
Ssk			Asymetria powierzchni
St	μm		Maksymalna wysokość nierówności
Std	$^\circ$		Kierunek struktury powierzchni
Str			Wydłużenie struktury powierzchni
Sv	μm		Maksymalna głębokość wgłębień
Svi			Wskaźnik retencji płynu przez doliny
Svk	μm	Gaussowski filtr, 0,8 mm	Zredukowana głębokość doliny
Svq		Gaussowski filtr, 0,8 mm	Nachylenie prostej regresji w obszarze wgłębień
Sw	μm	$h = 0,2 \text{ St}$	Średnia szerokość wzniesień
Sxp	μm	$p = 50\%$, $q = 97,5\%$	Skrajna wysokość wierzchołka
Sz	μm		Największa wysokość nierówności

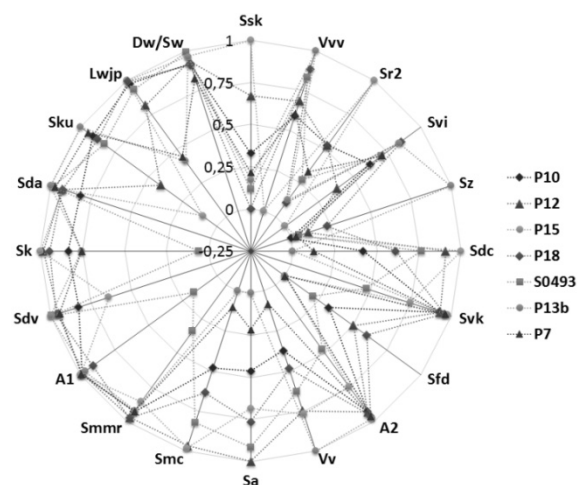
Tab. 2. Ciąg dalszy
Tab. 2. Continued

Oznaczenie parametru	Jedn. miary	Kontekst	Opis
Vm	$\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$	$p = 10\%$	Objętość materiału na określonym poziomie na jednostkę powierzchni
Vmc	$\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$	$p = 10\%$, $q = 80\%$	Objętość materiału w strefie rdzenia na jednostkę powierzchni
Vmp	$\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$	$p = 10\%$	Objętość materiału w strefie wzniesień na jednostkę powierzchni
Vv	$\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$	$p = 10\%$	Objętość pustek na określonym poziomie na jednostkę powierzchni
Vvc	$\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$	$p = 10\%$, $q = 80\%$	Objętość pustek w strefie rdzenia na jednostkę powierzchni
Vvv	$\mu\text{m}^3/\mu\text{m}^2$	$p = 80\%$	Objętość pustek w strefie wgłębień na jednostkę powierzchni
$\sigma(\sqrt{\text{Pw}})/\sqrt{\text{Pw}}$		$h = 0,2 \text{ St}$	Stosunek odchylenia standardowego pierwiastka z pola powierzchni wzniesienia do pierwiastka ze średniego pola powierzchni wzniesień



Rys. 4. Znormalizowane wartości wybranych parametrów o niskim współczynniku Wsk_{klas} dla siedmiu wybranych powierzchni z zbioru testowego

Fig. 4. Normalized values of selected parameters of small coefficient Wsk_{klas} for seven selected surfaces from the test collection

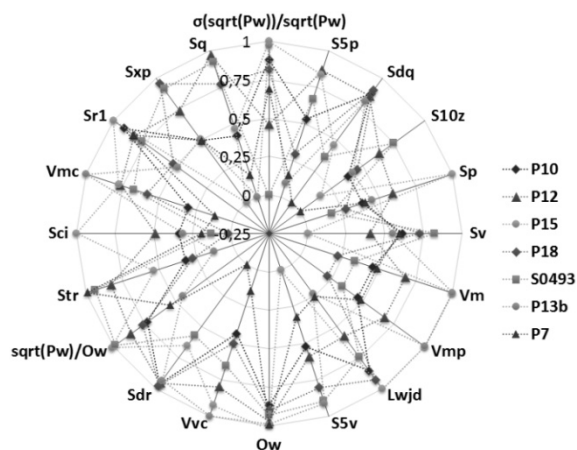


Rys. 5. Znormalizowane wartości wybranych parametrów o średnim współczynniku Wsk_{klas} dla siedmiu wybranych powierzchni z zbioru testowego

Fig. 5. Normalized values of selected parameters of medium coefficient Wsk_{klas} for seven selected surfaces from the test collection

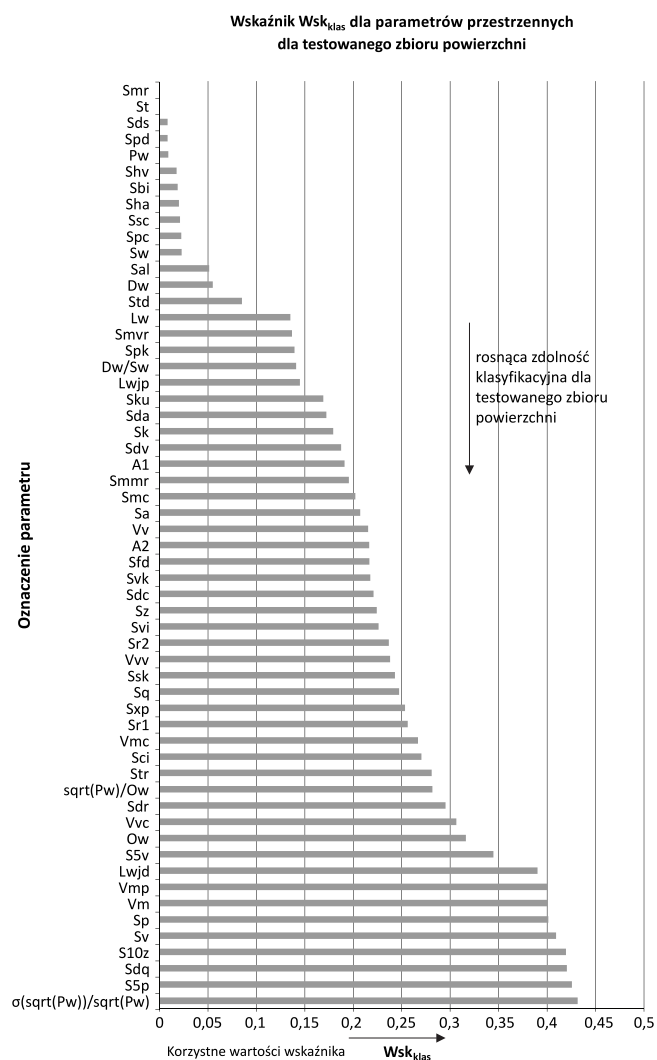
Znaczenie technologiczne poszczególnych parametrów zależy od stopnia korelacji ich wartości i parametrów opisujących proces kształtowania obrabianej powierzchni, oraz parametrów opisujących cechy narzędzi i inne cechy obróbki.

Z badań autorów wynika, iż w wielu przypadkach parametry mające wysoką zdolność klasyfikacyjną, również mają duże znaczenie technologiczne.



Rys. 6. Znormalizowane wartości wybranych parametrów o wysokim współczynniku Wsk_{klas} dla siedmiu wybranych powierzchni ze zbioru testowego

Fig. 6. Normalized values of selected parameters of high coefficient Wsk_{klas} for seven selected surfaces from the test collection



Rys. 7. Wartości wskaźnika zdolności klasyfikacyjnej wybranych parametrów oceny cech stereometrycznych powierzchni dla testowego zbioru ocenianych powierzchni

Fig. 7. Classification ability index value for selected parameters for evaluation of the stereometric surface features for the test collection

W testowanym zbiorze powierzchni o zbliżonej wartości parametru $St \cong 1 \mu m$ (tab. 1), parametrami o najwyższej zdolności klasyfikacyjnej okazały się następujące:

- $\sigma(\sqrt{Pw})/\sqrt{Pw}_{h=0,2St}$ – stosunek odchylenia standardowego pierwiastka z pola powierzchni wzniesienia do pierwiastka ze średniego pola powierzchni wzniesień,
- S5p – wysokość pięciu wzniesień powierzchni,
- Sdq – średniokwadratowy gradient powierzchni,
- S10z – wysokość dziesięciu punktów powierzchni,
- Sv – maksymalna głębokość wgłębień,
- Sp – maksymalna wysokość wzniesień,
- Vm – objętość materiału na określonym poziomie na jednostkę powierzchni,
- Vmp – objętość materiału w strefie wzniesień na jednostkę powierzchni,
- $Lw_{jd}_{h=0,2St}$ (rys. 1-2) – liczba wzniesień na jednostkę długości,
- S5v – wysokość pięciu wgłębień powierzchni.

Do ważnych parametrów o dobrej zdolności klasyfikacyjnej można również zaliczyć parametry, które ponadto wyróżniają się łatwą interpretacją cech stereometrii powierzchni, takie jak średnia odległość między wzniesieniami $Ow_{h=0,2St}$ (rys. 1-2), wartość stosunku pierwiastka średniego pola wzniesień do średniej odległości między wzniesieniami $\sqrt{Pw}/Ow_{h=0,2St}$, średniokwadratowe odchylenie powierzchni Sq.

Dla zbiorów powierzchni różniących się wysokościami nierówności, dobrą zdolność klasyfikacyjną oraz łatwość interpretacji i istotne znaczenie technologiczne, będą również miały parametry St i Sz.

3. Wnioski

Klasyfikacja powierzchni na podstawie ich cech stereometrycznych, z określeniem klasy przydatności do wyodrębnionej grupy zastosowań, wymaga przyjęcia następującej metodyki:

- najpierw określa się zbiór różnych zastosowań i warunków pracy powierzchni,
- następnie określa się zbiór parametrów, wykorzystywanych do opisywania cech stereometrycznych powierzchni,
- w kolejnym kroku określa się wzorce cech stereometrycznych, typowe dla danych zastosowań, wymagań i warunków pracy.

W końcowym kroku, z zastosowaniem sztucznej sieci neuronowej Hamminga, następuje zakwalifikowanie ocenianej powierzchni, na podstawie wartości parametrów, opisujących jej cechy stereometryczne, jako najbliższej jednego z wzorców, co oznacza przypisanie określonego wyróżnika klasyfikacyjnego.

Tak wyselekcjonowany zbiór parametrów pozwala precyzyjnie opisać topografię powierzchni, w zależności od jej przeznaczenia.

4. Literatura

- Wieczorowski M.: Wykorzystanie analizy topograficznej w pomiarach nierówności powierzchni, Monografia, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Wyd. I, Poznań, 2009.
- Pawlus P.: Topografia powierzchni. Pomiar, analiza, oddziaływanie. Oficyna wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2005.
- Oczó K. E., Liubimov V.: Rozważania nad istotnością parametrów struktury geometrycznej powierzchni w układzie 3D, Mechanik, 3/2008, s.129-137.
- Tomkowski R., Kacalak W., Lipiński D.: Analiza własności stereometrycznych powierzchni w procesach mikro- i nanowygładzania. Agencja „MAGA”, NSOŚ Łódź 2010.
- Kacalak W., Lipiński D., Tomkowski R.: Podstawy jakościowej oceny stanu powierzchni kształtowanych z wykorzystaniem teorii zbiorów rozmytych, Wydawnictwo PAK vol. 54 nr 4, Warszawa 2008.
- Draft International Standard ISO/DIS 25178-2: Geometrical product specification (GPS) – Surface texture – Areal. Part 2: Terms, definitions and surface texture parameters, International Organization of Standardization, 2007.