

Influence of digital processing of milled surface measurement data on the Sq parameter

Wpływ sposobu cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych powierzchni frezowanej na wyznaczenie parametru Sq

EMILIA BACHTIAK-RADKA
SARA DUDZIŃSKA
DANIEL GROCHAŁA
STEFAN BERZYŃSKI *

DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2019.12.107>

Digital processing of recorded measurement data on the milled surface can offer operators many possibilities in the planning metrological procedures processes and give more leeway in the final configuration of the surface geometrical structure condition. Review of the current state of knowledge revolving around surface characteristics, measurement uncertainty and their quality, and primarily reproducibility of measurements not only in the laboratory but also in the industrial environment poses a major challenge. The article presents research works related to the identification of the influence of the measurement data processing method using digital data processing of milled surface on the Sq parameter. The analysis of individual stages of measurement data processing showed the direct influence of data filtration methods on the values of the Sq parameter.

KEYWORDS: digital data processing, point cloud filtration procedure, geometric structure of the surface, optical measuring systems

Cyfrowe przetwarzanie danych pomiarowych zarejestrowanych na powierzchniach frezowanych zwiększa swobodę w planowaniu procedur metrologicznych i końcowej ocenie stanu struktury geometrycznej powierzchni (SGP). Zagadnienia te nie zostały do tej pory znormalizowane. W dostępnej literaturze brak jest usystematyzowanego podejścia do problemów wyznaczania niepewności pomiarowych, a zwłaszcza odtwarzalności pomiarów. Problem ten dotyczy zarówno pomiarów prowadzonych laboratoryjnie, jak i w warunkach przemysłowych. W artykule przedstawiono wyniki prac badawczych związanych z identyfikacją wpływu cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych, uzyskanych dla powierzchni frezowanej, na parametr Sq . Analiza poszczególnych etapów przetwarzania danych pomiarowych wykazała bezpośredni wpływ sposobu ich filtracji na wartości Sq .

SŁOWA KLUCZOWE: cyfrowe przetwarzanie danych, procedura filtracji chmury punktów, struktura geometryczna powierzchni, optyczne systemy pomiarowe

Wprowadzenie

Zarejestrowanie danych pomiarowych bez błędów kształtu nierówności powierzchni pozwala na rezygnację z cyfrowej obróbki tych danych, dzięki czemu wartości parametrów struktury geometrycznej powierzchni (SGP) są wolne od losowego wpływu operatora [1–3]. Metodyka

określania wartości parametrów SGP jest prostsza, gdy dokona się założenia o idealnej (bez błędów kształtu) akwizycji chmury punktów. Wartości parametrów – bez wycinania wartości progowych, poziomowania i filtracji – powinny być odtwarzalne dla różnych systemów pomiarowych i umożliwiać klasyfikację urządzeń pomiarowych [9]. Większość komercyjnych urządzeń pomiarowych wykorzystuje w swoim działaniu efekt przesunięcia fazowego [4] lub efekt konfokalny światła chromatycznego [5–7]. W normach [4, 5, 7–9] oraz dokumentacji technicznej urządzeń pomiarowych brakuje szczegółowych informacji na temat sposobu akwizycji danych pomiarowych [9–15]. Podano jedynie podstawowe reguły i zalecenia [1, 3].

W celu zidentyfikowania wpływu sposobu przetwarzania danych pomiarowych przeprowadzono badania doświadczalne. Próbkę z materiału X160CrMoV121 obrabiono metodą frezowania, a następnie zbadano na maszynie pomiarowej AltiSurf A520, znajdującej się w Zachodniopomorskim Uniwersytecie Technologicznym w Szczecinie (ZUT). Pomiary zrealizowano zgodnie z opracowanym frakcyjnym planem eksperymentu. Uwzględniono w nim strategię przetwarzania danych pomiarowych dla kolejnych etapów: wycinania wartości progowych, poziomowania, usuwania kształtu oraz filtrowania. Wykorzystano oprogramowanie AltiMap PREMIUM w wersji 6.2. Zbadano wpływ poszczególnych sposobów filtracji danych na wartość parametru Sq , zdefiniowanego jako średnie kwadratowe odchylenie chropowatości powierzchni:

$$Sq = \sqrt{\frac{1}{M \cdot N} \sum_{j=1}^N \sum_{i=1}^M \theta^2(x_i, y_j)} \quad (1)$$

gdzie: $M \cdot N$ – wielkość macierzy próbkowania, $\theta^2(x_i, y_j)$ – powierzchnia resztowa (powierzchnia nośna).

W artykule przeanalizowano parametr Sq , który jest wyznaczany takim samym algorytmem jak średnia moc skuteczna sygnałów elektrycznych RMS. Ten parametr efektywnie wizualizuje zmienność wartości odchylenia powierzchni od płaszczyzny średniej. Na jego podstawie można dokonać detekcji zakłóceń oraz ocenić – poprzez filtrowanie – „utrata mocy” sygnału ze względu na wprowadzone zbyt silne zniekształcenie.

* Mgr inż. Emilia Bachtia-Radka, ebachtia@zut.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0003-3366-0083> – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin, Polska
Mgr inż. Sara Dudzińska, sara.dudzinska@zut.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0002-2577-7899> – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin, Polska
Dr inż. Daniel Grochała, daniel.grochala@zut.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0003-2553-7739> – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin, Polska
Prof. dr hab. inż. Stefan Berzyński, stefan.berzynski@zut.edu.pl, <https://orcid.org/0000-0002-8403-6355> – Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny, Szczecin, Polska

Materiał badawczy

Badaniom poddano powierzchnie próbek o wymiarach $100 \times 100 \times 20$ mm, wykonanych ze stali X160CrMoV121 i ulepszonych cieplnie (o twardości 2 ± 2 HRC). Materiał ten wybrano ze względu na jego zastosowanie w konstrukcji tłoczników, które ukształtowano przez frezowanie na obrabiarce DMG DMU 60 monoBLOCK wyposażonej w głowicę torusową (WNT R1000G.42.6.M16.IK) z sześcioma płytkami skrawającymi o średnicy $d_p = 10$ mm (RD. X1003 MOT – WTN1205) ustawionymi pod kątem 15° w stosunku do osi maszyny. Pozostałe parametry technologiczne zawarto w tabl. I.

TABLE I. Milling technological parameters

TABLICA I. Parametry technologiczne frezowania

Prędkość skrawania v_c , m/min	110
Głębokość warstwy skrawanej a_p , mm	0,5
Posuw na obrót f_r , mm/obr	0,6
Posuw poprzeczny frezowania f_{wf} , mm	0,3

Metodyka pomiarów

Pomiar próbki X160CrMoV121 wykonano na maszynie AltSurf A520, wyposażonej w sensor konfokalny CL2 o zakresie pomiarowym $0 \div 400$ μm . Obszar skanowanej powierzchni miał wymiary $4 \text{ mm} \times 4 \text{ mm}$, wierszowanie w osi X wynosiło $6 \mu\text{m}$, próbkowanie w osi Y – $0,6 \mu\text{m}$ z prędkością skanowania $120 \mu\text{m/s}$, jasność diody LED była równa 100% mocy oświetlenia, a temperatura otoczenia – 21°C . Wybrano frakcyjny trójwartościowy plan eksperymentu. Czynniki wejściowe opisano w tabl. II.

TABLE II. Description of selected input factors used in the planning of the experiment

TABLICA II. Opis wybranych czynników wejściowych, przyjętych w planowaniu eksperymentu

Nazwa czynnika	Zakres
PO powierzchnia odwzorowana	–
A wycinanie wartości progowych	1. 0,01÷99,99 2. 0,05÷99,95 3. 0,10÷99,90
B poziomowanie	1. Płaszczyzna LS (przez obrót) 2. Płaszczyzna LS (przez odejmowanie) 3. Płaszczyzna zdefiniowana trzema punktami (10 punktów)
C usunięcie kształtu	1. Wielomian 2. rzędu 2. Wielomian 3. rzędu 3. Wielomian 4. rzędu
D filtrowanie	1. Filtr Gaussa (cutoff 0,8 mm) 2. Zgrubny filtr gaussowski (cutoff 0,8 mm) 3. Filtr Spline (cutoff 0,8 mm)

Określona w planie zmienność czynników wejściowych jest reprezentatywna dla ogółu dostępnych na rynku urządzeń do badań SGP i zgodna z [5]. Według planu eksperymentu przeanalizowano 27 układów eksperymentu, a ich wyniki opracowano w programie AltMap PREMIUM 6.2.

Opracowanie wyników

Analizę rezultatów badań rozpoczęto od określenia istotności wpływu wybranych czynników wejściowych na wartość parametru S_q [7]. Aby lepiej zilustrować zmiany będące następstwem kolejnych etapów cyfrowej obróbki zarejestrowanej chmury punktów, wyznaczono współczynnik zmienności stanu powierzchni KS_x :

$$KS_x = \frac{S_{x_{PO}}}{S_{x_x}} \quad (2)$$

gdzie: $S_{x_{PO}}$ – wartość parametru SGP powierzchni odwzorowanej, S_{x_x} – wartość parametru SGP powierzchni po wykonaniu określonej operacji cyfrowej obróbki.

Na rys. 1 przedstawiono wartości S_q dla powierzchni odwzorowanej i dla wyznaczonych wartości progowych. Analizując poszczególne etapy cyfrowego przetwarzania danych powierzchni, można wywnioskować, że po usunięciu wartości progowych wartość S_q zmniejszyła się proporcjonalnie do wartości procentu wycięcia. Dla przypadku A1 (patrz tabl. II) wartość S_q zmalała o 0,04%, dla przypadku A2 – o 0,18%, a dla przypadku A3 – o 0,35% (rys. 1).

Wartość parametru S_q znacznie wzrosła po zastosowaniu poziomowania względem powierzchni odwzorowanej dla B3. Płaszczyzna zdefiniowana trzema punktami (10 punktów) zwiększyła się o 48% dla układów 7–9 i 25–27. Sposób poziomowania ma istotny wpływ na parametr S_q . W pozostałych przypadkach jego wartości zmniejszyły się średnio o 0,58% (rys. 2).

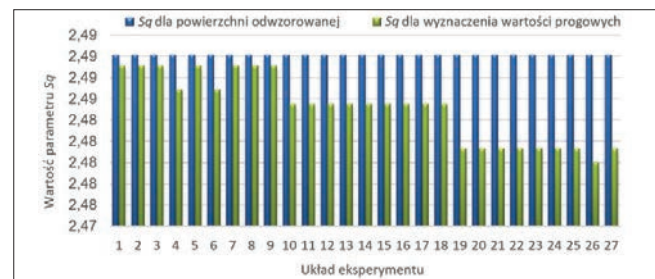


Fig. 1. Summary of the value of the S_q parameter of the mapped surface and the determined threshold value for 27 experiment systems
Rys. 1. Zestawienie parametru S_q powierzchni odwzorowanej i wyznaczonej wartości progowej dla 27 układów eksperymentu

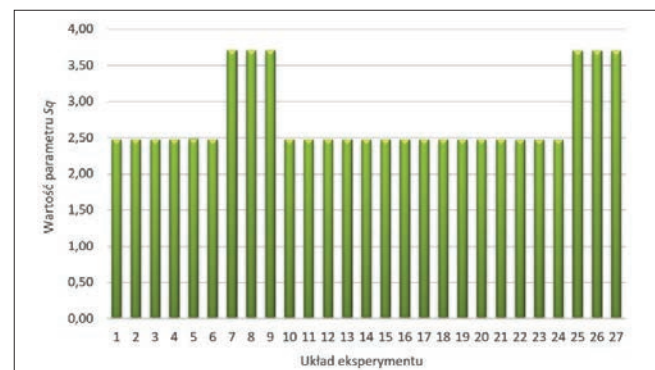


Fig. 2. Summary of the S_q parameter value for the level surface for 27 experiment systems

Rys. 2. Zestawienie wartości parametru S_q powierzchni poziomowanej dla 27 układów eksperymentu

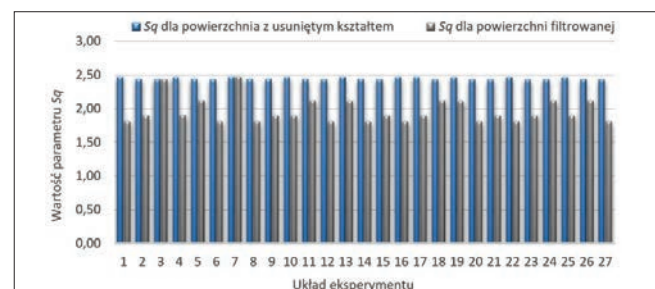


Fig. 3. Summary of the S_q parameter value of the surface with the shape removed and filtered for 27 experiment systems

Rys. 3. Zestawienie wartości parametru S_q powierzchni z usuniętym kształtem i filtrowanej dla 27 układów eksperymentu

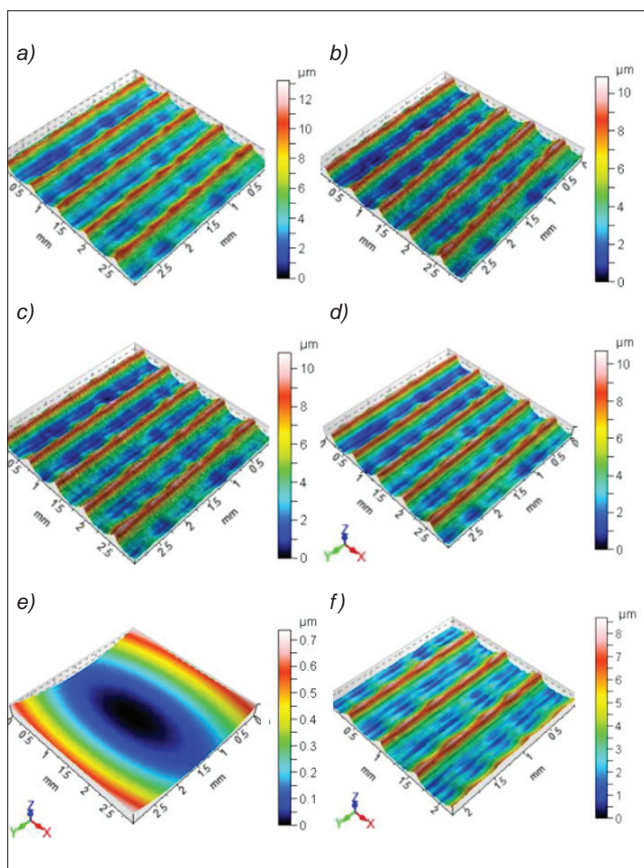


Fig. 4. List of isometric images of milled samples: a) reproduced surface; b) cutting out threshold values; c) leveled surface; d), e) removing the shape; f) surface filtration

Rys. 4. Zestawienie obrazów izometrycznych próbek frezowanych: a) powierzchnia odwzorowana; b) wycięcie wartości progowych; c) powierzchnia poziomowana; d), e) usunięcie kształtu; f) filtracja powierzchni

Po usunięciu kształtu i wykonaniu filtracji wartości parametru S_q zmniejszyły się średnio o 20%. W dwóch przypadkach, dla układów 3 i 8, wartości parametrów nie uległy zmianie. Na rys. 4 przedstawiono układ 1, wizualizując poszczególne etapy filtracji powierzchni.

Redukowane wartości parametru S_q , wyznaczone przez filtrację od wartości odwzorowanej, są mniejsze o ok. 22%, co jest istotną obserwacją, mającą wpływ na interpretację wyników pomiarów.

Podsumowanie

Normy PN-EN ISO 25178-2:2012 precyzyjnie definiują zależności służące do wyznaczania wartości poszczególnych parametrów SGP, jednakże nie określają jednoznacznie, jak należy przeprowadzać proces akwizycji chmury punktów i jaka powinna być metodyka obróbki danych pomiarowych przez cyfrowe przetwarzanie.

Podczas analizy zaobserwowano pewne trendy dla średniego kwadratowego odchylenia powierzchni S_q . Biorąc pod uwagę kolejność przeprowadzonych etapów obróbki danych, można zauważyć, że dla 27 układów eksperymentu powierzchnia odwzorowana cechowała się największymi wskazaniami parametru.

Potwierdzono znaczący wpływ cyfrowej obróbki danych pomiarowych, skutkujący zmianą wartości S_q – nawet o ok. 20% względem wartości odwzorowanej. Również filtracja ma znaczący wpływ na zredukowanie wartości parametru S_q o ok. 27%.

Konsekwencją wskazanych w artykule związków przyczynowo-skutkowych jest niejednoznaczna interpretacja

rzeczywistej jakości powierzchni obrabianej. Na bazie tych samych danych pomiarowych można wyciągnąć różne wnioski na temat stanu powierzchni w zależności od zastosowanej metody cyfrowej obróbki.

Na podstawie wyznaczonego współczynnika zmienności określono, o ile procent redukuje się parametr S_q wskutek zastosowania wybranego sposobu przetwarzania sygnału pomiarowego.

Potwierdzono, że zmiany parametru S_q są efektem wyboru konkretnej metody cyfrowego przetwarzania danych pomiarowych, oraz wykazano problem związany ze znaczącym wpływem operatora (metrologa) na końcowe wyniki procedury pomiarowej. Brak ujednoczonych norm dotyczących procedury akwizycji chmury punktów i sposobu cyfrowej obróbki danych pomiarowych daje metrologowi możliwość redukcji parametru S_q do wartości podanej w specyfikacji technologicznej, co stwarza problemy z osiągnięciem odtwarzalności wyników pomiarowych i nie powinno się zdarzać w praktyce przemysłowej. Możliwa jest sytuacja, gdy brak powtarzalności procedury pomiarowej doprowadzi do reklamacji partii produkcyjnych, które w rzeczywistości są zgodne z specyfikacją klienta.

LITERATURA

- [1] Miller T., Adamczak S., Świdorski J., Wieczorowski M., Łętocha A., Gapiński B. "Influence of temperature gradient on surface texture measurements with the use of profilometry". *Bulletin of the Polish Academy of Sciences – Technical Sciences*. 65 (2017).
- [2] Wieczorowski M., Gapiński B., Grochalski K., Miller T. "Teoretyczne aspekty analizy wybranych źródeł błędów w profilowych pomiarach nierówności powierzchni". *Mechanik*. 4 (2017): 335–338.
- [3] Miller T. "Źródła niewiarygodności pomiarów topografii powierzchni". *Mechanik*. 11 (2016).
- [4] PN-EN ISO 25178-603:2013-12 Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 603. Charakterystyki nominalne przyrządów bezstykowych (mikroskopów interferometrycznych z korekcją fazy).
- [5] PN-EN ISO 25178-602:2010. Specyfikacje geometrii wyrobów. Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 602. Charakterystyki nominalne przyrządów bezstykowych (z czujnikiem chromatycznym konfokalnym).
- [6] Pawlus P., Wieczorowski M., Mathia T. „*The errors of stylus methods in surface topography measurements*”. Szczecin: ZAPOL Szczecin, Sobczyk Sp.J., 2014.
- [7] PN-EN ISO 25178-2:2012. Specyfikacje geometrii wyrobów (GPS). Struktura geometryczna powierzchni: Przestrzenna – Część 2. Terminy, definicje i parametry struktury geometrycznej powierzchni.
- [8] PN-EN ISO 25178-1:2016 (en). Geometrical product specifications (GPS). Surface texture: Areal – Part 1. Indication of surface texture.
- [9] Bachtia-Radka E., Dudzińska S., Grochała D., Berczyński S. "Susceptibility of SPG parameters to the environment conditions and the method of acquisition of cloud of points with optical measuring systems applied". *Mechanik*. 8–9 (2017).
- [10] Leach R.K., Giusca C.L., Haitjema H., Evans C., Jiang X. "Calibration and verification of areal surface texture measuring instruments". *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 64 (2015).
- [11] Leach R. "The measurement of surface texture using stylus instruments". *Measurement Good Practice Guide*. 37 (2014).
- [12] Whitehouse D.J. "A revised philosophy of surface measuring systems". *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers. Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*. 202 (1988).
- [13] Neubert N.K.P. "Instrument Transducers: An Introduction to Their Performance and Design". Oxford: Oxford University Press, 1963.
- [14] Dudzińska S., Szydłowski M., Grochała D., Bachtia-Radka E. "Application of correlation function for analysis of surface structure shaping by hybrid manufacturing technology". *Advances in Manufacturing*. 1 (2018).
- [15] Grochała D., Berczyński S., Grządziel Z. "Modeling of burnishing thermally toughened X42CrMo4 steel with a ceramic ZrO₂ ball". *Archives of Civil and Mechanical Engineering*. 9 (2017).