

Źródła niewiarygodności pomiarów topografii powierzchni

Sources of surface topography measurements' unreliability

TATIANA MILLER *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.509

Przedstawiono zakłócenia, jakie mogą wystąpić w pomiarach topografii powierzchni, w szczególności w układzie pomiarów 3D oraz w przetwarzaniu danych z pomiarów w programach do analizy. Przedstawiono strukturę źródeł błędów w podziale na kategorie związane z różnymi elementami procesu pomiarowego.

SŁOWA KLUCZOWE: pomiary topografii powierzchni, profilometry, źródła błędów, wiarygodność pomiarów

The paper presents threats that may occur in the surface topography measurements, in particular in the 3D measurement and processing of the measured data in analysis applications. The structure of the sources of errors by categories related to the different elements of the measurement process was presented.

KEYWORDS: surface topography measurements, profilometers, error sources, credibility of measurements

Struktura źródeł błędów w pomiarach topografii powierzchni

Struktura źródeł błędów występujących w pomiarach topografii powierzchni składa się z kilku podstawowych kategorii związanych z różnymi elementami procesu pomiarowego. Są to między innymi:

- błędy instrumentalne,
- błędy metody,
- błędy pomiaru,
- czynnik ludzki,
- błędy próbki,
- błędy środowiskowe,
- błędy w przetwarzaniu danych.

Błędy instrumentalne

Błędy instrumentalne związane są ze sprzętem pomiarowym i wynikają z niedokładności wykonania, montażu i współpracy elementów składowych złożonych systemów pomiarowych, zarówno mechanicznych, jak i elektrycznych. Są częściowo inne w przyrządach stykowych niż w optycznych. Należą do nich między innymi:

- stan zespołu napędowego, prostoliniowość prowadzenia zespołu napędowego lub stolika w osi X oraz stolika w osi Y, powtarzalność prowadzenia, luzy, histereza,
- nieliniowość czujników pomiarowych,
- geometria ostrza odwzorowującego: wartość promienia, odchyłka od promienia, stan ostrza – uszkodzone, zużyte ostrze lub jego niewłaściwa geometria,
- niewłaściwy nacisk ostrza pomiarowego na mierzoną powierzchnię,
- szумы, punkty niezmierzone, odbicia,
- wzorcowania, kalibracje, sprawdzanie okresowe: jakość lub ich brak, niepewność wzorca odniesienia, błędne kalibracje przyrządu; operacje te są obowiązkowe jedynie w laboratoriach akredytowanych.

Błędy metody

Spowodowane są niewłaściwym doбором sprzętu, przyjętą złą metodą pomiaru, złym doбором wyposażenia:

- gdy stosowana metoda nie pozwala na wiarygodne odwzorowanie powierzchni (za duży promień ostrza, wpływ ślizgacza, za mała rozdzielczość systemu pomiarowego),
- gdy metoda nie umożliwia zmierzenia dokładnie tej wartości, która miała być zmierzona,
- niewłaściwy dobór przyrządu do rodzaju materiału, z uwagi na metodę pomiaru, zwłaszcza w metodach bezstykowych – odbicia, szумы, duży procent gubionych punktów, ograniczenia możliwości poprawnego odwzorowania powierzchni – ograniczenia kątów pochylenia zbocza nierówności,
- odstępstwa od zaleceń norm i potrzeb metrologicznych z uwagi na parametry przyrządów.

Błędy pomiaru

Związane są z przebiegiem pomiaru:

- niewłaściwy dobór reprezentatywnego obszaru, wielkości i liczby obszarów lub przekrojów, dyskretyzacji w każdej z osi X-Y-Z, szczególnie na powierzchniach niejednorodnych, może dać niewiarygodne wyniki,
- odstępstwa od zaleceń norm dotyczących doboru odcinków i obszarów, które mogą wpływać na wyniki pomiarów i obliczeń,
- w wyjątkowych przypadkach wskazane są odstępstwa od zaleceń norm – aby uniknąć zniekształceń wynikających z zastosowania filtracji o zbyt krótkiej fali,
- dobór prędkości i zakresów pomiarowych,
- niewłaściwy dobór głowicy lub końcówki pomiarowej,
- zamocowanie próbki – możliwość drgań i przemieszczeń, niepewność związania z ustawieniem wzorca podczas pomiaru,
- ustawienie powierzchni w czasie pomiaru: prostopadłość śladów obróbki do kierunku pomiaru, wypoziomowanie powierzchni,
- odkształcenia sprężyste, odkształcenia plastyczne,
- brak powtarzalności wyników, warunków i odtwarzalności pomiarów,
- temperatura wzorców i próbek podczas pomiaru i ich gradient w czasie pomiaru,
- nieznanne błędy systematyczne,
- błędy przypadkowe w pomiarach,
- nieścisłość w definicji wielkości mierzonej – przy planowaniu pomiaru należy precyzyjnie określić wielkość mierzoną.

Czynnik ludzki

Zależny od człowieka:

- kwalifikacje, szkolenia i wiedza w zakresie pomiarów topografii,
- niedoskonałość zmysłów, stan psychofizyczny pomiarowca, rzetelność, rutyna, złe przyzwyczajenia,
- subiektywizm w doborze metodyki, parametrów pomiaru i interpretacji wyników, odstępstwa od zaleceń.

* Mgr inż. Tatiana Miller (tatiana.miller@ios.krakow.pl) – Instytut Zaawansowanych Technologii Wytwarzania

Błędy próbki

Wynikają z właściwości i stanu mierzonej próbki:

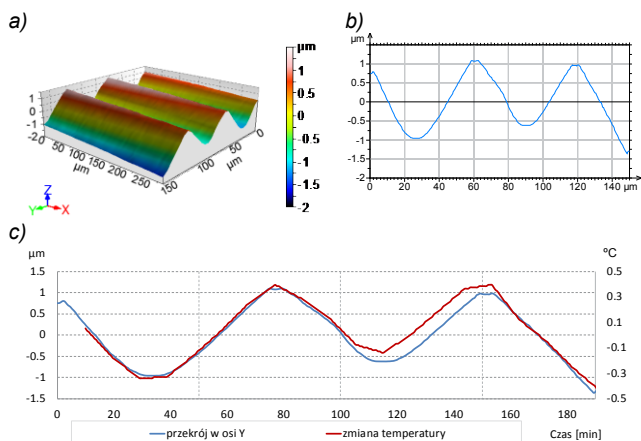
- zbyt mała wielkość próbki lub zły dostęp do badanej powierzchni,
- zanieczyszczenia powierzchni, magnetyzm szczątkowy, uszkodzenia powierzchni między procesem obróbki a pomiarem.

Błędy środowiskowe

Związane są z warunkami otoczenia w czasie wykonywania pomiaru, które mają wpływ na system pomiarowy, a tym samym na wynik pomiaru:

- temperatura – wartość i gradient w czasie trwania cyklu pomiarowego,
- ograniczona skuteczność stosowanych osłon,
- drgania – nie zawsze są tłumione przez systemy zabezpieczeń w układach pomiarowych,
- zakłócenia zewnętrzne o częstotliwości, której nie można filtrować z uwagi na zbieżność z pasmem analizowanych sygnałów.

Przy długim czasie cyklu pomiarowego może pojawić się znaczący wpływ małych zmian temperatury o gradientie mniejszym niż $\pm 0,5^\circ\text{C}/\text{godz.}$ (rysunek).



Rys. Przykład wpływu temperatury na pomiar 3D wykonany profilometrem z głowicą konfokalną: a) widok 3D, b) przekrój w kierunku osi Y, c) wykres korelacji zmian temperatury z przekrojem w osi Y

Błędy w przetwarzaniu danych

Wynikają z błędów operatora programu oraz z algorytmów stosowanych w programach, zaokrągleń i uproszczeń:

- niewłaściwy dobór filtracji I_s i I_c ,
- możliwość przeprowadzenia filtracji I_s dwa razy – w programie pomiarowym i w programie analizy,
- niektóre programy (np. z serii Mountain Maps) nie mają ograniczeń stosowania filtracji wielokrotnie, np. filtracja I_c jest realizowana za każdym razem przy obliczaniu parametrów 2D, również dla danych otrzymanych z już wcześniej przefiltrowanej powierzchni,
- wpływ algorytmów oprogramowania, w tym wybór typu stosowanych filtrów, dowolność w doborze parametrów filtracji, subiektywny dobór filtracji szumów,
- obliczeniowe: zaokrąglenia obliczeń, stosowanie przybliżonych metod przetwarzania, uproszczone formuły,
- i wiele innych.

Podsumowanie

Wszystkie wymienione źródła błędów [1–4], które mogą się pojawić w procesie pomiarowym topografii powierzchni, są istotne i należy zawsze zwracać na nie uwagę, zwłaszcza podczas szkoleń prowadzonych dla nowych użytkow-

ników przyrządów. Zazwyczaj zakładamy, że osoby mierzące od lat nie popełniają błędów, jednak nie zawsze to się sprawdza.

Część błędów nie ma znaczenia, jeżeli pomiary są wykonywane jako pojedyncze przekroje 2D lub jako seria statystyczna. Ale nabierają istotnego znaczenia, gdy przedmiotem pomiaru i analizy jest powierzchnia 3D. Zwłaszcza gdy obszar pomiaru jest większy, czasy pomiaru są długie (powyżej kilkunastu minut do wielu godzin), lub gdy z uwagi na ograniczenia sprzętu pomiaru wymagają stosowania stichingu.

Przeprowadzone badania eksperymentalne [5] wykazały, że zmiany temperatury otoczenia mają znaczący wpływ na pomiary stereometrii powierzchni wykonywane metodami profilometrycznymi, zarówno w pomiarach z wykorzystaniem profilometru stykowego, jak i profilometru optycznego, z głowicą konfokalną, ze względu na długi czas realizacji tego typu pomiarów. Wpływ zmian temperatury objawia się występowaniem falistości powierzchni w osi Y prostopadłej do kierunku pomiaru. Obie te wielkości są ze sobą ściśle skorelowane (rysunek). Już niewielkie zmiany temperatury (w zakresie $\pm 0,5^\circ\text{C}$) powodują powstawanie falistości o znaczącej amplitudzie. Uwzględnianie wpływu temperatury otoczenia ma szczególnie duże znaczenie przy wykonywaniu pomiarów topografii powierzchni gładkich.

W przypadku wykonania takiego pomiaru w stałych warunkach temperatury amplituda zmian przekroju w osi Y jest niewielka [5].

Stosowanie stichingu (sklejania obszarów) również nie zawsze daje dobre rezultaty, mogą wystąpić zniekształcenia odwzorowania powierzchni, podczas łączenia obszarów może pojawić się zjawisko powstania szachownicy. Następuje to zwłaszcza przy pomiarach powierzchni niepłaskich oraz z uwagi na kształt próbki mierzonych pod zbyt dużym kątem pochylenia.

Podsumowując problem, można stwierdzić, że nawet, mając przyrząd bardzo dobrej firmy, z rozbudowanym programem analizy, nie ma gwarancji, że wynik pomiaru jest zbliżony do faktycznego stanu powierzchni. Aby wyniki pomiarów były prawdziwe i wiarygodne, należy unikać wszystkich omówionych wyżej możliwości popełnienia błędu. Badania analizy zagrożeń, jakie mogą wystąpić w pomiarach topografii powierzchni, realizowane są w ramach programu przedstawionego w [6].

Przedstawiona analiza została zrealizowana w ramach projektu nr PBS2 / A6 / 20/2013 / NCBiR / 24/10/2013 „Badania i ocena niezawodności nowoczesnych metod pomiarów topografii powierzchni w skali mikro i nano”, finansowanego przez Narodowe Centrum Badań i Rozwoju.

LITERATURA

1. Arendarski J. „Niepewność pomiarów”. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2013.
2. Arendarski J., Gliwa-Gliwiński J., Jabłoński Z., Ratajczyk E., Tomasik J., Żebrowska-Lucyk S. „Sprawdzenie przyrządów do pomiaru długości i kąta”. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2003.
3. Pawlus P., Wieczorowski M., Mathia T. „The errors of stylus methods in Surface topography measurements”. Szczecin, Poland: Zapol, 2014.
4. Wieczorowski M. „Analiza wpływu drgań na pomiary chropowatości powierzchni”. *Arch. Technol. Masz. i Autom.* T. 18, nr 2 (1998): s. 77–91.
5. 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”. *Bull Pol Acad SCI-TE*. Poznań (zgłoszenie do publikacji 2016), ICSM-2016 Book of Abstracts, s. 89.
6. Adamczak S., Miller T., Świdorski J., Wieczorowski M., Majchrowski R., Łętocha A. „Założenia do oceny wiarygodności pomiarów topografii powierzchni w różnych skalach”. *Mechanik*. R. 88, nr 3 (2015): Abstrakt s. 191 [dysk CD, ref. nr 11] (DOI:http://dx.doi.org/10.17814/mechanik.2015.3.120).