

Wykorzystanie mikroskopii różnicowania ogniskowego do pomiaru nierówności i kształtu powierzchni

Wykorzystanie mikroskopii różnicowania ogniskowego do pomiaru nierówności i kształtu powierzchni
prof. dr hab. inż. Michał Wieczorowski, PROF. PP

Analiza nierówności powierzchni, często powiązana z analizą kształtu w skali mikro należy do najbardziej dynamicznie rozwijających się dziedzin metrologii długości i kąta. Istnieje szereg metod zbierania współrzędnych punktów z powierzchni w skali nano i mikro, a mimo to ciągle pojawiają się nowe. Jest to spowodowane faktem, że z jednej strony powierzchnie, z którymi mamy do czynienia w technice, są w większości skomplikowane i występują na nich nierówności o bardzo szerokim zakresie wysokości, rozłożone w różny sposób, a z drugiej w naturze człowieka jest ciągle poszukiwanie coraz szybszych sposobów uzyskiwania informacji, również pomiarowych. Przyrządy do analizy nierówności powierzchni pracują w oparciu o dwie zasadnicze grupy metod: skaningowe i powierzchniowe. Metody skaningowe są wykorzystywane znacznie częściej. Do tej grupy należą dwa rodzaje przyrządów: profilowe – zbierające dane na podstawie punktów rozmieszczonych według linii oraz obrazowe – na podstawie obrazów zbieranych z różnych położeń. Wśród tej drugiej rodziny znajduje się mikroskopia różnicowania ogniskowego, której poświęcony jest niniejszy artykuł.

Mikroskopia różnicowania ogniskowego

(z j. ang. *focus variation microscopy*) polega na wykorzystaniu ostrości obrazu powierzchni (lub innej właściwości światła odbitego przy najlepszym zogniskowaniu) w mikroskopie optycznym do oceny wysokości nierówności powierzchni. Metoda uzyskiwania obrazu za pomocą różnicowania ogniskowego bywa nazywana metodą uzyskiwania kształtu z ogniska (z j. ang. *shape from focus*) i oznaczana skrótem SFF. Przedmiot mierzony oświetlany jest światłem o odpowiedniej modulacji, transmitowanym przez optykę i ogniskowanym na powierzchni. Światło odbite przez nią wraca przez układ optyczny i dociera do detektora cyfrowego wyszukującego wiązkę zogniskowaną. Obraz powierzchni kształtowany jest przez system optyczny pozwalający uzyskać zarówno informacje fotometryczne (jasność, kolor itp.) jak i geometryczne (odległości, kształt). Integralną cechą metody jest występowanie powierzchni ogniskowania obrazu (z j. ang. *focused image surface*) czyli FIS, określanej jako powierzchnia utworzona przez zbiór punktów, dla których obiektyw kamery pozwala uzyskać skupienie wiązki świetlnej. Zgodnie z zasadami i teorią optyki geometrycznej występuje bezpośredni związek pomiędzy kształtem obiektu rzeczywistego i kształtem jego powierzchni ogniskowania obrazu, co umożliwi uzyskanie kształtu powierzchni przedmiotu (lub jego nierówności) z kształtu FIS (rys. 1).

Rys. 1. Akwizycja obrazu w technice różnicowania ogniskowego

Głównym elementem systemu pomiarowego opartego o mikroskopię różnicowania ogniskowego jest układ

optyczny zaczerpnięty z mikroskopu, który można wyposażyć w różne obiektywy, pozwalające na pomiary z różną rozdzielczością. Światło ze źródła przechodzi przez drogę optyczną i pada na powierzchnię mierzonego przedmiotu. Zależnie od jego topografii wiązka odbita rozprasza się na różne kierunki. Wszystkie promienie wracające od powierzchni i docierające do obiektywu są zbierane w układzie optycznym przez detektor. Ze względu na bardzo małą głębokość ogniskowania układu optycznego tylko mały fragment obiektu ma obraz ostry (w ognisku) i tylko ta część obrazu wykorzystywana jest do dalszego przetwarzania. Całość kształtu uzyskuje się przez skanowanie pionowe powierzchni (zmiana odległości pomiędzy obiektywem a detektorem) i sukcesywne uzupełnienie obszarów, w których poprzednio nie uzyskano ogniskowania. Każdy region obiektu ma obraz w ognisku w jednym położeniu pionowym skanera. Zebrane dane z obrazów przetwarzane są na widok trójwymiarowy. Mikroskop różnicowania ogniskowego umożliwia zatem rekonstrukcję topografii powierzchni z obrazów 2D zarejestrowanych pomiędzy najniższym i najwyższym punktem ogniskowania. System pomiarowy jest przy tym mikroskopem optycznym, a więc wszystkie obrazy mierzonego przedmiotu są kolorowe. Schemat takiej analizy pokazano na rysunku 2.

Rys. 2. Rekonstrukcja obrazu 3D w systemie różnicowania ogniskowego

Istnieją różne metody przeprowadzania skanowania pionowego. Można przemieszczać głowicę, część optyki albo stół z mierzonym przedmiotem. Współczesny system pomiarowy wykorzystujący różnicowanie ogniskowania jest układem skanującym często wyposażonym w cały zestaw obiektywów do różnych zadań pomiarowych. Zastosowanie uchwyty rewolwerowego umożliwia wygodną zmianę powiększeń. Wygląd pokazano na rysunku 3.



Rys. 3. Mikroskop różnicowania ogniskowego

Pozwala on na zebrania nawet kilkudziesięciu milionów punktów pomiarowych w bardzo krótkim czasie,

mierzonym w sekundach. W zależności od zastosowanego obiektywu zakres pomiarowy może wynosić od około 3 mm przy rozdzielczości pionowej 10 nm, do ponad 20 mm przy rozdzielczości rzędu 400 nm. Przedmioty mierzone mogą być wykonane z różnych materiałów, o bardzo różnej chropowatości i refleksyjności. Przyrząd daje również informację cechach geometrycznych mieszczących się w jego zakresie pomiarowym, w tym również na powierzchniach nachylonych o kącie do 87° . Dzięki dobrej rozdzielczości pionowej i dużemu zakresowi pomiarowemu w osi Z możliwy staje się jednoczesny pomiar nierówności i cech związanych z kształtem. Przykładem tego jest obraz fragmentu gwintownika pokazany na rysunku 4.

Rys. 4. Pomiar nierówności i geometrii gwintownika

Pokazano na nim profile nierówności powierzchni z wartością parametru Ra na powierzchni bocznej i na dnie wrębu. Z drugiej natomiast strony odwzorowanie cech geometrycznych umożliwia wyznaczenie wartości kątów i wymiarów liniowych. Rozwinięciem tego zagadnienia jest porównanie danych uzyskanych z pomiaru z założeniami konstrukcyjnymi zawartymi w pliku CAD. Taką analizę pokazano na rysunku 5. Zmierzoną powierzchnię narzędzia skrawającego nałożono na dane nominalne, w wyniku czego uzyskano kolorową mapę odchyłek, będącą porównaniem tych dwóch zbiorów danych.

Rys. 5. Porównanie danych nominalnych i zmierzonych w skali mikro

Z uzyskanej różnicy porównywanych danych widać wyraźnie, które fragmenty narzędzia nie zostały wykonane z należytą precyzją. Podobną aplikacją jest analiza zużycia narzędzia skrawającego, pokazana na rysunku 6.

Rys. 6. Analiza zużycia narzędzia skrawającego

W pierwszym etapie zebrano dane współrzędne punktów pomiarowych z powierzchni fabrycznie nowej płytki skrawającej. Następnie narzędzie wykorzystane zostało w procesie obróbki przedmiotów, a po jego zakończeniu dokonano ponownego skanowania powierzchni płytki. W efekcie uzyskano dwa zbiory danych: pierwotny i końcowy, pokazane odpowiednio po lewej stronie i na środkowej części rysunku. Po prawej stronie pokazano różnicę pomiędzy tymi dwoma zbiorami jako plik wynikowy. Jest on obrazem zużycia narzędzia, czyli ubytku materiału z płytki skrawającej.

Jak zatem pokazano mikroskopia różnicowania ogniskowego jest jedną z ciekawszych i wszechstronnych technik zbierania danych z powierzchni w skali nano i mikro. Do zalet tej metody należy zaliczyć fakt, że w przeciwieństwie do wielu innych technik optycznych w mikroskopie różnicowania ogniskowego lokalne pochylenie nie zależy od apertury numerycznej, co pozwala mierzyć nawet bardzo strome zbocza. Ponadto opisaną technikę można realizować przy różnych źródłach światła, na przykład przechodzącym przez obiektyw lub pierścieniowym, z całości lub tylko pewnych fragmentów. Można również używać polaryzatorów światła poprawiających odbłaski, co jest czasem przydatne przy niektórych gładkich powierzchniach metalicznych.

Autor:

Słowa kluczowe: