

Podwyższenie dokładności wytworzenia profilu krzywoliniowego na podstawie wyników pomiarów współrzędnościowych

Increasing the accuracy of a curvilinear profile machining on the basis of coordinate measurements results

ANDRZEJ WERNER
MAŁGORZATA PONIATOWSKA *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.468

W artykule przedstawiono metodykę, w której korekcję błędów frezowania zarysu krzywoliniowego przeprowadza się na podstawie wyników pomiarów współrzędnościowych. Wykorzystując otrzymane dane pomiarowe, wyznacza się model CAD odchyłek systematycznych reprezentujący złożoną odchyłkę kształtu. Model ten jest bazą do wyznaczenia poprawek kompensujących wpływy błędów obróbki.

SŁOWA KLUCZOWE: profil krzywoliniowy, pomiary współrzędnościowe, model CAD, błędy obróbki, podwyższenie dokładności

The article presents a methodology, in which an error correction of the curvilinear profile milling is carried out on the basis of coordinate measurements. Applying measurement data the CAD model of systematic deviations representing complex form deviation is determined. This model is the basis to determine the corrections compensating for the effects of the machining errors.

KEYWORDS: curvilinear profile, coordinate measurements, CAD model, machining errors, increasing of the accuracy

Obróbka przedmiotów zawierających geometrie krzywoliniowe stosowana jest obecnie w przemyśle do wytwarzania różnego rodzaju krzywek, wykrojników, elektrod do obróbki elektroerozyjnej. Przy wytwarzaniu tych elementów konieczne jest zachowanie dużej dokładności. Stosuje się różne podejścia mające na celu poprawę dokładności wytwarzania. Pierwszym z nich jest wyznaczenie błędów geometrycznych obrabiarki CNC i wykorzystanie ich do korekcji programów obróbkowych [1]. Drugą równie istotną metodą jest korekcja odchyłek wynikająca z odkształceń cieplnych elementów obrabiarek [2]. Kolejnym podejściem jest uwzględnienie źródła błędów, jakim jest sam proces obróbki i towarzyszące mu zjawiska. W głównej mierze są to siły skrawania oraz siły bezwładności [3]. Inną, uniwersalną metodą podwyższenia dokładności wytwarzanych elementów jest metoda wykorzystująca pomiary współrzędnościowe. Korekcja procesu obróbkowego odbywa się na podstawie pomiarów współrzędnościowych wykonanych na obrabiarce [4] lub na współrzędnościowej maszynie pomiarowej [5]. W prezentowanym artykule proponowana jest metodyka bazująca na pomiarach przeprowadzonych na WMP.

Opis metodyki

W celu zebrania danych do korekcji programu obróbkowego profil powierzchni mierzy się na współrzędnościowej

maszynie pomiarowej według regularnej siatki punktów na bazie modelu CAD. Uzyskane dane pomiarowe poddaje się obróbce, stosując procedurę iteracyjną, modelowanie NURBS oraz analizę regresji. Z danych pomiarowych usuwa się niepożądaną składową losową i następnie przeprowadza korekcję na podstawie oczyszczonych danych, reprezentujących wpływy systematyczne obróbki. W przeciwnym przypadku wyznaczone na podstawie surowych danych pomiarowych poprawki kompensujące wprowadzają do modyfikowanego programu obróbkowego niepożądane efekty losowe z pierwszego etapu obróbki, jak również szum pomiarowy. W zaproponowanym modelu odchyłek, mając na uwadze charakter obróbki, uwzględniono losowość reszt od modelu zarówno w wymiarze liniowym jak i przestrzennym.

W pracy przyjęto, że odchyłki profilu opisuje model:

$$Z = X_{\text{NURBS}} + \gamma W r + \varepsilon \quad (1)$$

gdzie: Z – model odchyłek, X_{NURBS} – model odchyłek systematycznych, γ – parametr autokorelacji przestrzennej, W – macierz wag przestrzennych, r – wektor reszt od modelu, ε – wektor niezależnych reszt od modelu.

Do badań zależności przestrzennych danych wykorzystuje się metody statystyki przestrzennej, mierzące autokorelację przestrzenną [6]. Stwierdzenie autokorelacji w danych pomiarowych dowodzi występowania odchyłek zdeterminowanych na profilu. Wówczas stosuje się modelowanie NURBS [7] oraz procedurę iteracyjną do dopasowania modelu regresji reprezentującego odchyłki systematyczne, co opisano szczegółowo w [8]. Zgodnie z zasadami analizy regresji bada się adekwatność modelu, testując reszty pod względem rozkładu prawdopodobieństwa i autokorelacji przestrzennej. Wartość parametru $\gamma = 0$ oznacza brak autokorelacji w resztach od modelu. Opracowany model jest podstawą do wyznaczenia poprawek kompensujących wpływy systematyczne obróbki. Następnie modyfikuje się nominalny model CAD i na tej podstawie generuje skorygowany program obróbkowy.

Badania doświadczalne

Metodę weryfikowano na profilu opisanym przy pomocy krzywej NURBS (rys. 1). Krzywa zbudowana została na wieloboku kontrolnym składającym się z 11 wierzchołków. Stopień funkcji bazowych B-sklejanych $n = 3$. Obróbkę przeprowadzono na frezarskim centrum obróbkowym VM-C-1020S/A OMNIS. W obróbce wykończeniowej zastosowano: frez palcowy, walcowo-czołowy o średnicy 12 mm, prędkość obrotową 6500 obr/min, posuw 300 mm/min, frezowanie współbieżne. Pomiary przeprowadzono na WMP

* Dr inż. Andrzej Werner (a.werner@pb.edu.pl), dr hab. inż. Małgorzata Poniatowska (m.poniatowska@pb.edu.pl) – Zakład Technologii Maszyn i Materiałów, Wydział Mechaniczny, Politechnika Białostocka

