

Pomiary współrzędnościowe w weryfikacji kryterium doboru strategii obróbkowej powierzchni swobodnych

Coordinate measurement systems in verification selection criterion of machining free-form surfaces

GRZEGORZ SKORULSKI *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.494

W pracy pokazano, w jaki sposób strategia obróbki wykończeniowej może wpływać na jakość i dokładność wytwarzanych powierzchni swobodnych. Analizy dokonano na podstawie pomiarów na współrzędnościowej maszynie pomiarowej. Otrzymane w wyniku pomiaru mapy powierzchni ze zdefiniowanymi błędami były podstawą do weryfikacji kryterium doboru strategii obróbkowej, związanym z jakością wytwarzanych powierzchni. **SŁOWA KLUCZOWE:** powierzchnia swobodna, strategia obróbkowa, systemy pomiarów współrzędnościowych

The accuracy of some free-form samples with respect to strategy of the machining has been discussed in this paper. The three samples have been produced by CNC machine center. The accuracy analysis of produced free-form surfaces was made using coordinate measuring machine (CMM). The diagrams or maps of errors, received from measurement, are simply provided to conclusions, which strategy of the finishing operation will be acceptable.

KEYWORDS: free-form surface, machining strategy, coordinate measurement systems

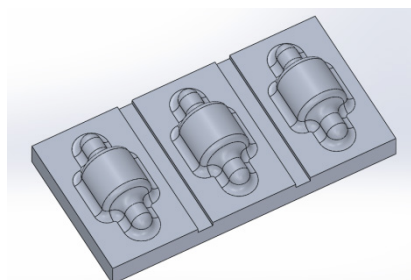
Projektowaniu powierzchni swobodnych towarzyszą liczne wymagania [1, 2]. Jednak obróbka powierzchni swobodnych (głównie form i matryc) nie napotyka żadnych problemów [3]. Pozostaje standardem wykonanie jej w trzech lub więcej zabiegach (tym ostatnim jest najczęściej polerowanie, jeśli zachodzi taka potrzeba). Liczba zabiegów może ulec skróceniu dzięki wykorzystaniu technologii HSM (*high speed machining*) [4]. Technologia ta zapewnia dobrą jakość i dokładność wytworzonej powierzchni oraz znacznie skraca czas samej obróbki poprzez zastosowanie dużych prędkości skrawania. Jest to z kolei możliwe dzięki niewielkim i równomiernym przekrojom warstwy skrawanej [5]. Projektując proces obróbki z wykorzystaniem maszyn CNC, technolog ma zazwyczaj do dyspozycji oprogramowanie CAD/CAM. W zależności od zastosowanego systemu ma on dostęp do kilku, a nawet kilkunastu różnych strategii obróbkowych, które może zastosować [6]. Najczęściej są to strategie: liniowa, kołowa, spiralna, ze stałym krokiem z, ołówkowa. Są też inne, ukierunkowane na bardziej specjalistyczną obróbkę. Decyzja o wyborze jest trudna, ponieważ dostępna wizualizacja (symulacja) obróbki nie zawsze jest w stanie jednoznacznie wskazać na pojawiające się błędy. Pomocą w tym przypadku może służyć współrzędnościowa technika pomiarowa.

Projekt powierzchni swobodnej i symulacja obróbki

W celu analizy dokładności wytwarzania powierzchni swobodnych, z wykorzystaniem różnych strategii obróbki

* Dr inż. Grzegorz Skorulski (g.skorulski@pb.edu.pl) – Politechnika Białostocka, Wydział Mechaniczny, Zakład Technologii Maszyn i Materiałów

wykończeniowej, zaprojektowano powierzchnię swobodną przedstawioną na rys. 1.



Rys. 1. Model bryłowy wytwarzanych powierzchni swobodnych

Wymiary gabarytowe materiału tzw. przygotówki wyniosły 120 × 60 mm. Wysokość przygotówki wyniosła 24 mm. Powierzchnia została wygenerowana w programie SolidWorks za pomocą narzędzia wyciągnięcie po profilach.

Następnym krokiem było zaplanowanie zabiegów obróbkowych oraz mocowania przedmiotu obrabianego. Jako przyrząd mocujący wybrano imadło maszynowe. Obróbka składała się z trzech zabiegów:

- obróbka zgrubna frezem walcowo-czołowym Ø12 mm,
- obróbka kształtująca – frezem kulistym Ø8 mm,
- obróbka wykończeniowa – frezem kulistym Ø6 mm.

Obróbkę kształtującą zaplanowano tak, aby na powierzchni obrabianej pozostał równomierny naddatek. Umożliwia to stabilną pracę narzędzia podczas obróbki wykończeniowej. Do wygenerowania programu obróbkowego wykorzystano oprogramowanie SolidCam. Wykorzystane do testów strategie obróbkowe poddane późniejszej analizie to: obróbka liniowa, obróbka spiralna oraz tzw. stałe z. Parametry pracy narzędzi zestawiono w tablicy.

TABLICA. Parametry pracy narzędzi

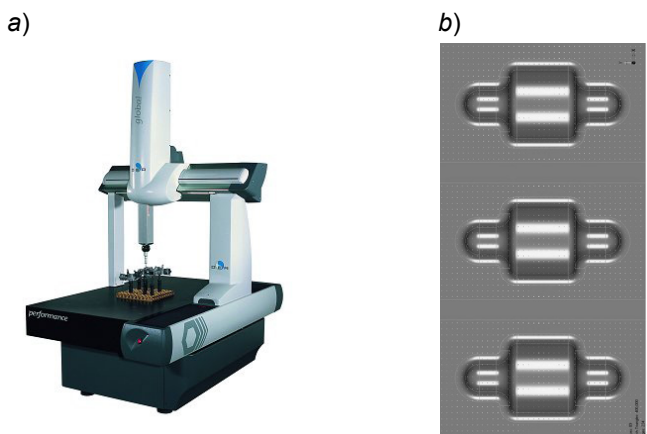
Nazwa zabiegu	Narzędzie	Parametry pracy
obróbka zgrubna	frez walcowo-czołowy Ø12 mm	$n = 3500$ obr/min $f = 500$ mm/min
obróbka kształtująca	frez kulisty Ø8 mm	$n = 4000$ obr/min $f = 350$ mm/min
obróbka wykończeniowa	frez kulisty Ø6 mm	$n = 7000$ obr/min $f = 300$ mm/min

Ocena dokładności wykonania obiektów powierzchniowych

Wytworzone obiekty poddane zostały pomiarom kontrolnym na współrzędnościowej maszynie pomiarowej Global Performance 07 07 05 (rys. 2a) z wykorzystaniem oprogramowania PC DMIS CAD++4.3. Pomiary wykonane zostały z wykorzystaniem stykowej sondy pomiarowej SP25M Renishaw wyposażonej w trzpień pomiarowy z końcówką

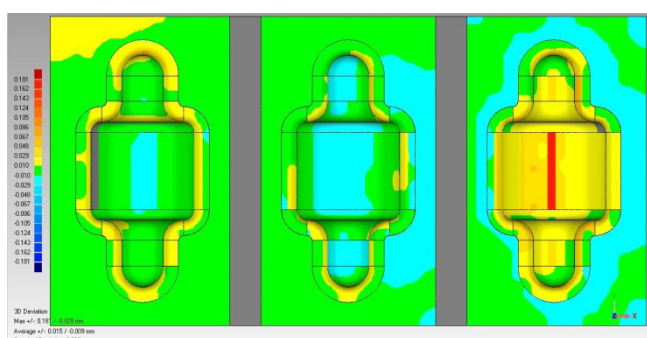
o średnicy 4 mm. Przed pomiarami głowica pomiarowa została zmontowana i poddana procedurze kalibracji.

W dalszej kolejności zdefiniowane zostało położenie mierzonego elementu w przestrzeni pomiarowej maszyny. W trybie sterowania ręcznego wskazane zostały punkty charakterystyczne obiektu. Na tej podstawie utworzone zostały odpowiednie skojarzone elementy geometryczne i zdefiniowany został układ współrzędnych mierzonego przedmiotu. W pomiarach wykorzystano technikę skanowania powierzchni zwaną *grid scan*. Efektem zastosowania była równomierna siatka punktów pomiarowych, przedstawiona na rys. 2b.



Rys. 2. Maszyna pomiarowa DEA Global Performance (a) i siatka punktów pomiarowych (b)

W efekcie przeprowadzonych pomiarów określone zostały odchyłki obróbkowe dla poszczególnych obiektów, wykonanych przy zastosowaniu różnych strategii obróbkowych. Odchyłki określone zostały jako odległość punktu teoretycznego, leżącego na modelu geometrycznym wytworzonej powierzchni (wartości nominalne), od korespondującego z nim punktu zaobserwowanego w trakcie pomiarów. Rozkłady odchyłek obróbkowych dla poszczególnych strategii obróbkowych przedstawione zostały na rys. 3.



Rys. 3. Rozkład odchyłek obróbkowych dla wybranych strategii (od lewej: strategia liniowa, spiralna, ze stałym krokiem z)

Należy zwrócić uwagę, że uzyskane rozkłady różnią się w zależności od przyjętej strategii obróbki powierzchni. Zakresy odchyłek obróbkowych dla poszczególnych przypadków kształtowały się następująco:

- odchyłka maksymalna: $-0,028 \pm 0,181$ mm,
- odchyłka średnia: $-0,009 \pm 0,015$ mm,
- odchylenie standardowe: 0,018 mm.

Najbardziej zbliżone do siebie są strategie liniowa i spiralna, zarówno pod względem wartości, jak i rozkładu odchyłek (wartości odchyłek maksymalnych kształtują się od $-0,028$ do $+0,067$ mm). Dla strategii ze stałym krokiem

z maksymalną odchyłką wzrasta do $+0,181$ mm. Różnice te wynikają przede wszystkim z faktu, że w przypadku obrabianych powierzchni zastosowano obróbkę sterowaną w 3 osiach. Podstawowym ograniczeniem tego rodzaju obróbki jest stałe położenie osi narzędzia w przestrzeni roboczej obrabiarki. W efekcie, z uwagi na różne kierunki przemieszczeń narzędzia, różne było również położenie punktu skrawającego na zarysie freza kulistego. Konsekwencją tego były różne chwilowe wartości promienia narzędzia. Miało to wpływ na zmianę prędkości skrawania w zależności od kształtu powierzchni obrabianej oraz kierunku przemieszczenia narzędzia. Różne strategie obróbkowe skutkowały również tym, że zmienny był przekrój warstwy skrawanej. Fakt ten w połączeniu z wspomnianymi różnymi kierunkami przemieszczeń narzędzia miał niewątpliwie wpływ na wartości i kierunki sił skrawania, występujące podczas frezowania powierzchni swobodnych. W konsekwencji przy obróbce tej samej powierzchni różnymi strategiami uzyskano różne rozkłady odchyłek obróbkowych.

Podsumowanie

Na podstawie przedstawionych wyników obróbki oraz przeprowadzonych pomiarów dokładności wytworzenia powierzchni swobodnej można stwierdzić, że wybór strategii obróbkowej, zwłaszcza dla obróbki wykańczającej, ma zasadniczy wpływ na uzyskiwaną dokładność wytworzenia. W przypadku gdy najważniejszym kryterium jest dokładność obróbki należy dobrać strategię, które gwarantują zachowanie właściwej stabilności procesu skrawania (równomierne naddatki obróbkowe, stała wartość posuwu) i uzyskania możliwie małych odchyłek obróbkowych. W prezentowanych przypadkach są to strategię: liniowa i spiralna. Są to strategię, które gwarantują wysoką dokładność niezależnie od cech geometrycznych powierzchni obrabianej. W sytuacjach, gdy dokładność nie jest najważniejszym kryterium, można uwzględnić wygląd powierzchni po obróbce. Niekiedy ze względów estetycznych wskazane jest zastosowanie strategii obróbkowych, które nie gwarantują uzyskania wysokiej dokładności wytwarzania (np. wytwarzanie pewnej odmiany form do produkcji wyrobów szklanych). W przypadkach tych ważniejszy jest wygląd powierzchni oraz tekstura, jaką tworzą ślady po przejściach narzędzia. Sytuacja taka występuje często w przypadku obróbki z zastosowaniem strategii po tworzących, gdzie ręcznie wskazuje się elementy uwzględniane jako kierunki trajektorii ruchu narzędzia. W celu poprawy jakości, a tym samym niwelacji błędów obróbki, należy stosować takie strategię, które umożliwią pracę z możliwie stałym posuwem narzędzia skrawającego.

LITERATURA

1. Piegl L., Tiller W. "The NURBS Book". New York, USA: 2nd ed. Springer-Verlag.
2. Surazhsky T., Elber G. "Matching free-form surfaces". *Computers and Graphics*. Vol. 25, Iss. 1 (2001): pp. 3–12.
3. Choi Young-Keun, Banerjee A. "Tool path generation and tolerance analysis for free-form surfaces". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 47, Iss. 3–4 (2007): pp. 689–696.
4. Schmitz T., Davies M., Dutterer B., Ziegert J. "The application of high-speed CNC machining to prototype production". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. Vol. 41 (2001): pp. 1209–1228.
5. Toh C.K. "Design, evaluation and optimisation of cutter path strategies when high speed machining hardened mould and die materials". *Materials & Design*. Vol. 26, Iss. 6 (2005): pp. 517–533.
6. Tao Chen, Peiqing Ye. "A tool path generation strategy for sculptured surfaces machining". *Journal of Materials Processing Technology*. Vol. 127, Iss. 3 (2002): pp. 369–373.