

Analiza wpływu grubości ścianki tulei wykonanych przyrostowo na odchyłki kształtu

Analysis of the influence of quill wall thickness made in additive technology on shape deviation incremental displacements

JAKUB KULPA
JERZY SŁADEK
URSZULA KMIECIK-SOŁTYSIAK *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.481

W artykule przedstawiono ocenę wpływu grubości ścianki tulei wykonanych w technologii przyrostowej na odchyłkę walcowości oraz prostoliniowości tworzącej walca z wykorzystaniem współrzędnościowej techniki pomiarowej. Wytwarzanie prototypów z cienkimi ściankami jest uzasadnione ekonomicznie, gdyż skraca znacznie czas wydruku jak i jego koszt.

SŁOWA KLUCZOWE: technologie przyrostowe, współrzędnościowa technika pomiarowa, wielosensorowość

The article presents an assessment of the impact of quill wall thickness made in the additive manufacturing for cylindricity deviation and the straightness of creating a cylinder with the use of coordinate measuring technique. Production of prototypes of the thin walls is economically justified because it reduces considerably the time output as well as its cost.

KEYWORDS: additive manufacturing, coordinate measuring technique, multisensory

Wytwarzanie przyrostowe ma coraz większe zastosowanie nie tylko do wykonywania modeli prototypowych ale również w produkcji małoseryjnej. Wykonywanym prototypom stawiane są coraz to większe wymagania odnośnie do ich dokładności, co prowadzi do konieczności zastosowania nowoczesnych metod pomiarowych umożliwiających ocenę geometrii modeli niemożliwych do zrealizowania tradycyjnymi metodami pomiarowymi.

Technologie przyrostowe znajdują zastosowanie w wielu dziedzinach techniki i przemysłu: lotnictwo, motoryzacja, jubilerstwo, wzornictwo, architektura, medycyna [1, 2]. Stosowane są nie tylko do produkcji prototypów, ale również gotowych produktów lub półfabrykatów. Aktualny stan oraz przewidywany rozwój technologii przyrostowych (*additive technology*) omówiono między innymi w pracy [4], przedstawiając możliwości aplikacji przemysłowych, rozwoju materiałów (*material development*) i zamierzenia projektowe. Istotnym problemem związanym z wytwarzaniem przyrostowym jest czas trwania wydruku. Na czas wytwarzania, a tym samym koszt wpływa objętość modelu oraz jego orientacja na stole roboczym. Zasadnym jest więc wykonywanie, tam gdzie to możliwe, modeli cienkościennych, a nie pełnych brył, co pozwala skrócić czas oraz koszt wydruku nawet do 80%. Istotne jest jednak określenie zakresu grubości ścianek, przy których uzyskuje się zadowalającą dokładność kształtową i wymiarową, nie gorszą niż określoną przez producenta.

Technologia PolyJet

Technologią przyrostową, którą autorzy tej pracy zastosowali do wykonania modeli pomiarowych, jest PolyJet. Proces budowania modelu w tej technologii oparty jest na natryskiwaniu cienkiej warstwy fotopolimeru o temperaturze 72°C z głowicy drukującej na platformę roboczą. Proces natryskiwania wykonywany jest za pomocą piezo krysztalów sterowanych elektronicznie. Żywica jest utwardzana światłem UV emitowanym z lampy połączonej z głowicą drukującą. W procesie budowania prototypu nakładane są na platformę roboczą dwa materiały: modelu (materiał budulcowy) i konstrukcji podpierającej model (materiał podporowy). Model budowany jest na platformie roboczej wzdłuż osi pionowej (z) przestrzeni roboczej. Kolejne warstwy modelu nakładane są w płaszczyźnie równoległej do platformy roboczej (x, y). Minimalna grubość nakładanej warstwy wynosi 16 µm. W technologii PolyJet stosowane są polimerowe żywice fotoutwardzalne, pozwalające na uzyskanie prototypów o różnych właściwościach. Modele na potrzeby tego artykułu zostały zaprojektowane w programie CAD Solidworks, a następnie przekształcono je w format STL, poddając je tym samym procesowi triangulacji. Jest to istotny etap procesu wykonywania prototypów przyrostowo, gdyż zbyt mała liczba faset może znacznie wpływać na geometrię modelu, a zbyt duża liczba faset wprowadza ryzyko wystąpienia luki w powierzchni modelu, co prowadzi do błędnego wykonania [3–6].



Rys. 1. Maszyna Connex-350 Objet wytwarzająca modele w technologii PolyJet

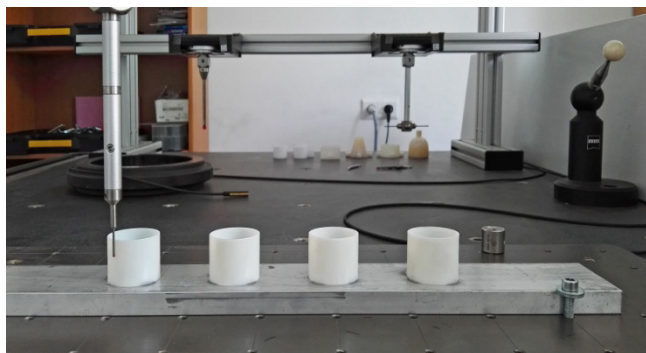
* Jakub Kulpa (jkulpa@tu.kielce.pl), Urszula Kmiecik-Soltysiak (usoltysiak@tu.kielce.pl) – Politechnika Świętokrzyska; Jerzy Sładek (sladek@mech.pk.edu.pl) – Politechnika Krakowska

Modele wytworzono na maszynie Connex 350 firmy Objet w Laboratorium Niekonwencjonalnych Technologii Wytwarzania (rys. 1). Próbki wykonano w trybie Glossy w celu uzyskania gładkiej powierzchni z materiału Verowhite-FullCure 830. Jest to materiał odpowiedni do sztywnych prototypów o dużej dokładności wykonania, pozwala zachować wysoką szczegółowość modelu i odznacza się niską higroskopijnością – około 1,15%.

Modele wykonano w trybie *high speed*, gdzie grubość warstwy dla tego trybu wynosi 30 μ m. Komora robocza maszyny ma wymiary 350 × 350 × 200 mm i deklarowana dokładność wykonania zależna od rozmiaru oraz geometrii modelu wynosi od 0,1 do 0,3 mm.

Przyrządy pomiarowe

Wykonane modele zostały pomierzone na wielosensorowej współrzędnościowej maszynie pomiarowej Prismo Navigator firmy Zeiss wyposażonej w aktywną głowicę skanującą VAST Gold S-ASS. Długość trzpienia pomiarowego w osi z do 600 mm; maksymalna waga trzpienia pomiarowego do 600 g, maksymalna prędkość trzpienia 5 mm/s. Maksymalna prędkość pomiarowa do 2 s na punkt oraz 200 punktów na sekundę w trybie skanowania. MPE zgodny z ISO 10360-2: E0 (3D) 0,9 + L/350 μ m.



Rys. 2. Modele pomiarowe zamocowane w przestrzeni roboczej maszyny pomiarowej Prismo Navigator

Wyniki pomiarów

Pomiarom zostały poddane wybrane charakterystyki wykonanych tulei przedstawionych na rys. 2. Zmierzono średnice zewnętrzne i wewnętrzne tulei, odchyłkę walcowości i okrągłości oraz grubość ścianki tulei. Do pomiarów wykorzystano trzpień pomiarowy z kulką o średnicy 2 mm. Odchyłkę walcowości zmierzono w trybie skanowania z prędkością 5 mm/s, wykorzystując strategię przekrojów poprzecznych (trzy okręgi), rejestrując po 2048 punktów w każdym z przekrojów. Przekroje wyznaczono na takich samych wysokościach dla każdej tulei: 15 mm, 20 mm, 25 mm. Odchyłkę okrągłości zmierzono również w trybie skanowania dla przekroju poprzecznego na wysokości 15 mm w odniesieniu do okręgu średniego. Do oceny wyników zastosowano filtr dolno przepustowy Gaussa z progiem 15 fal na obrót. Grubość tulei została zmierzona w czterech punktach co 90° [7, 8].

TABLICA I. Wyniki pomiarów mierzonych tulei w mm

Wielkość	Mierzony element (Ø35 mm nominal zew.)			
	Model 1	Model 2	Model 3	Model 4
Grubość nominalna	2,500	2,000	1,500	1,000
Grubość średnia	2,512	2,041	1,537	1,029
Średnica wew.	29,988	30,978	31,983	32,985
Średnica zew.	35,045	35,052	35,065	35,067
Odchyłka walcowości powierzchni walcowej wew.	0,042	0,058	0,066	0,118
Odchyłka walcowości powierzchni walcowej zewnętrznej	0,077	0,086	0,088	0,135
Odchyłka okrągłości otworu	0,039	0,051	0,056	0,094
Odchyłka okrągłości powierzchni zewnętrznej	0,061	0,070	0,077	0,113

Podsumowanie

Z uzyskanych wyników jednoznacznie widać istotny wpływ grubości ścianki tulei na dokładność wymiarową oraz na odchyłkę kształtu. Przy ściance o grubości 1 mm odchyłka walcowości wynosi 0,118 mm, gdzie dla ścianki o grubości 2,5 mm już tylko 0,042 mm, a więc spada ponad dwukrotnie.

Odwrotna jest sytuacja dla dokładności wymiarowej. Tutaj wyniki nie są już jednoznaczne, gdyż wraz ze wzrostem grubości ścianki wzrastała odchyłka wymiaru.

Informacje uzyskane z przeprowadzonych badań mogą posłużyć do zaplanowanego wykonania modelu o określonej grubości ścianki w zależności od postawionego prototypowi zadania.

LITERATURA

- Ocoś K.E. „Rosnące znaczenie Rapid Manufacturing w przyrostowym kształtowaniu wyrobów”. *Mechanik*. Nr 4 (2008): s. 241–257.
- Campbell I., Bourell D., Gibson I. „Additive manufacturing: rapid prototyping comes of age”. *Rapid Prototyping Journal*. Vol. 18, Iss. 4 (2012): pp. 255–258.
- www.engatech.com/Objet-3D-Printing-Technology.asp.
- Bubicz M. „Raport: Szybkie Prototypowanie cz. 1”. *Projektowanie i konstrukcyjne inżynierskie* – 4/2008
- Adamczak St., Bochnia J., Kaczmarek B. „Estimating the uncertainty of tensile strength measurement for a photocured material produced by additive manufacturing”. *Metrology and Measurements Systems*. Vol. XXI, No. 3 (2014): pp. 553–560.
- Adamczak St., Bochnia J., Kaczmarek B. „An analysis of tensile test results to assess the innovation risk for an additive manufacturing technology”. *Metrology and Measurements Systems*. Vol. XXII, No. 1 (2015): pp. 127–138.
- Śladek J., Kulpa J. „Multisensory coordinate measuring technology”. *Proc. XIth International Scientific Conference on Coordinate Measuring Technique CMT* (2014): pp. 95–100.
- Śladek J. „Coordinate Metrology: Accuracy of Systems and Measurements”. Springer-Verlag Berlin Heidelberg – ISSN 2195-9862 (2016): pp. 478.