

Badanie dokładności drukarek 3D poprzez ocenę odchyłek okrągłości i walcowości nowego wyrobu wzorcowego

Testing of the 3D printers accuracy by evaluation of the circularity and cylindricity deviations of the new artefact

ŁUKASZ GZOWSKI
PRZEMYSŁAW SIEMIŃSKI
ROMAN GRYGORUK
ZBIGNIEW HUMIENNY *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.12.544

Zaproponowano nowy kształt wyrobu wzorcowego (wzorca) do analizy dokładności wytwarzania obiektów metodą przyrostową na drukarkach 3D. Kształt próbki zawiera w sobie podstawowe prymitywy geometryczne i pozwala na zbadanie wartości wybranych odchyłek kształtu, kierunku i położenia. W ramach badań wykonano analizy wydruków z trzech różnych drukarek 3D. **SŁOWA KLUCZOWE:** druk 3D, pomiary skanerem 3D, odchyłki kształtu, kierunku i położenia

New shape of the standard (artefact) is proposed to analyze the accuracy of the objects, which are received on 3D printers. The artefact shape contains the basic geometrical primitives and allows to identify the values of the selected form, orientation and location deviations. In this study the analysis of 3 different 3D printers output was performed.

KEYWORDS: 3D printing, 3D scanner measurement form, orientation and location deviations

Wraz z rozwojem przemysłowych technik wytwarzania wzrasta zapotrzebowanie na produkowanie za ich pomocą coraz dokładniejszych części. Jest to wymuszane przez coraz powszechniej stosowany system specyfikacji geometrii wyrobów ISO GPS [1]. Prace nad implementacją systemu ISO GPS są obecnie prowadzone m.in. w programie Erasmus+ w projekcie *Geometrical Product Specification & Verification as Toolbox to meet up-to-date technical requirements*.

Żądanie wytwarzania dokładnych wyrobów powoli zaczyna również dotyczyć technik przyrostowych. Niestety, w specyfikacji technicznej drukarek 3D producenci zwykle nie podają informacji o dokładności uzyskiwanych wydruków. Jeżeli już sprzedawca maszyny podaje parametry dotyczące precyzji maszyn prototypujących, to odnoszą się one do dokładności jej wybranych podzespołów, a nie budowanych obiektów. Jest tak dlatego, że dokładność geometryczna wydruków w znacznym zakresie zależy od użytkownika (kalibracji maszyny, ustawionych parametrów technologicznych czy zastosowanego materiału budulcowego). Jedynie za część wymienionych parametrów mogą odpowiadać producenci maszyn z własnymi, dedykowanymi

mi materiałami eksploatacyjnymi (często zabezpieczonymi chipem) oraz „zamkniętym oprogramowaniem”. Wtedy jest możliwość podania w specyfikacji, że wydruk na tej konkretnej maszynie zostanie wykonany z deklarowaną dokładnością (pod warunkiem przestrzegania przez użytkownika wytycznych producenta).

Producenci drukarek 3D z tzw. otwartym oprogramowaniem (umożliwiającym samodzielne ustawianie parametrów technologicznych oraz stosowanie materiałów budulcowych różnych producentów) raczej nie mogą sobie na to pozwolić. W specyfikacji technicznej podają oni zwykle enigmatyczne informacje np. o rozdzielczości w osi Z (czyli o możliwych do ustawienia grubościach warstw) lub precyzji pozycjonowania osi. Niestety, ta ostatnia wartość często jest wprost przeliczona z zależności wiążącej minimalny krok kątowy silnika sterującego i przełożenia przekładni śrubowej tej osi. Nie uwzględnia się sztywności, luzów, błędów wykonania podzespołów. Wtedy w specyfikacji widnieje wyjątkowo mała wartość. Przykładowo precyzja pozycjonowania drukarki 3D w osi Z jest podawana jako 0,5 μm. Gdyby była to rzeczywista wartość pozycjonowania końca dyszy maszyny, byłoby to na poziomie błędu granicznego dopuszczalnego współrzędnościowych maszyn pomiarowych.

Celem pracy było zaproponowanie kształtu wzorca dedykowanego do wytwarzania techniką przyrostową (drukem 3D) oraz metody badania jego dokładności. Zaprojektowany wzorzec (rys. 1, 2) pozwala na wyznaczanie wartości odchyłek, aby ocenić, czy są spełnione zadane wartości tolerancji geometrycznych. W artykule opisano wyniki badania odchyłek okrągłości i walcowości. Cała praca obejmowała również wyznaczanie odchyłek płaskości, prostopadłości, równoległości, nachylenia i pozycji. Wymiary wzorca 120 × 60 × 46 mm³ (dł. × szer. × wys.) dobrano tak, aby mieściły się w przestrzeni roboczej większości maszyn prototypujących dostępnych obecnie na rynku, a czas wydruku i zużycie materiału były nieduże oraz aby łatwo dało go się zmierzyć za pomocą skanera 3D światła białego [6].

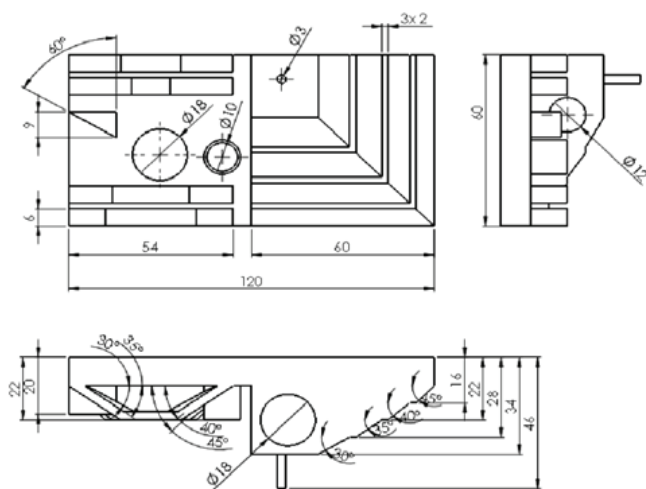
Kształt nowego wzorca zawiera podstawowe prymitywy geometryczne, w tym dwa trzpienie walcowe (pełny o małej średnicy i cienkościenny o dużej średnicy) oraz otwory o osiach w trzech głównych kierunkach. Elementy walcowe opisane w tym artykule oznaczono na rys. 2.

W literaturze proponowane są inne kształty wzorców [2, 3]. Jednak mają one pewne wady, np. trudne lub niemożliwe do pomiaru skanerem 3D ściany [2, 3] oraz brak powierzchni walcowych na bocznych ścianach [4, 6]. Powoduje to problemy z oszacowaniem podstawowych odchyłek

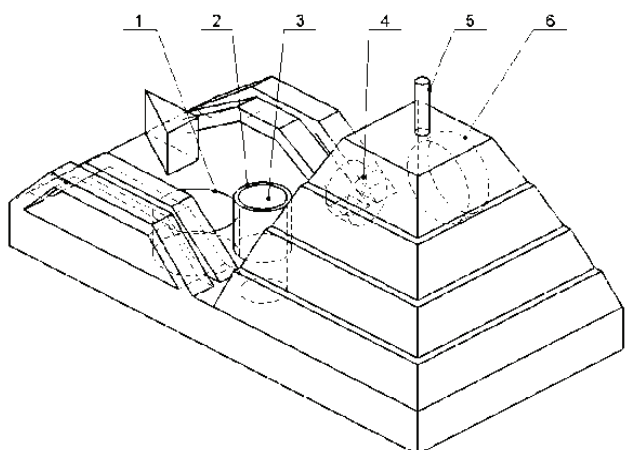
* Inż. Łukasz Gzowski (lgzowski@gmail.com) – Politechnika Warszawska, Wydział Samochodów i Maszyn Roboczych; dr inż. Roman Grygoruk (r.grygoruk@wip.pw.edu.pl) – Politechnika Warszawska, Instytut Mechaniki i Poligrafii; dr inż. Przemysław Siemiński (psieminski@simr.pw.edu.pl), dr inż. Zbigniew Humienny (zhu@simr.pw.edu.pl) – Politechnika Warszawska, Instytut Podstaw Budowy Maszyn

kształtu, kierunku i położenia wytworzonych ścian. Ponadto różne ośrodki prowadzą badania dokładności obiektów wykonanych technikami przyrostowymi, ale zwykle są tam mierzone powierzchnie swobodne [2, 5, 7].

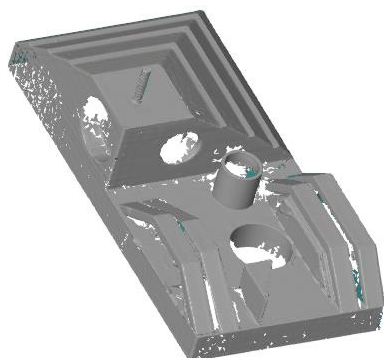
W ramach opisanych tu badań wykonano wydruki z polimerów ABS i PLA na trzech różnych maszynach prototypujących stosujących metodę FDM (oznaczaną też jako FFF lub PJP) [8], za każdym razem w dwóch ustawieniach (dłuższy bok wzdłuż osi X lub Y). Analiza dokładności polegała na pomiarze ścian za pomocą skanera 3D GOM Atos Compact Scan. Powstałą podczas pomiaru siatkę trójkątów (rys. 3) nałożono na model 3D CAD metodą „best-fit” w oprogramowaniu GOM Inspect [7]. Następnie dla każdego wydruku zmierzono wartości odchyłek okrągłości i walcowości dla wybranych sześciu walcowych powierzchni wzorca (tablica).



Rys. 1. Geometria nominalna 2D zaproponowanego wzorca



Rys. 2. Oznaczenia ścian wzorca wybranych do pomiaru



Rys. 3. Wynik skanowania 3D jednego z wydruków

TABLICA. Odchyłki okrągłości i walcowości powierzchni walcowych zewnętrznych i wewnętrznych

Próbka	Odchyłki	Otwór 1 [mm]	Trzpień 2 [mm]	Otwór 3 [mm]	Otwór 4 [mm]	Trzpień 5 [mm]	Walec 6 [mm]
Drukarka A (dłuższy bok w osi X)	Okrągłości	0,28	0,31	0,25	0,17	0,21	0,29
	Walcowości	0,32	0,35	0,31	0,26	0,31	0,23
Drukarka A (dłuższy bok w osi Y)	Okrągłości	0,24	0,33	0,21	0,23	-**	0,17
	Walcowości	0,25	0,39	0,27	0,24	-**	0,21
Drukarka B (dłuższy bok w osi X)	Okrągłości	0,25	0,43	0,19	0,14	0,16	0,13
	Walcowości	0,27	0,45	0,20	0,19	0,31	0,17
Drukarka B (dłuższy bok w osi Y)	Okrągłości	0,28	0,65	0,46	-*	0,18	-*
	Walcowości	0,42	0,77	0,55	0,13	0,32	-*
Drukarka C (dłuższy bok w osi X)	Okrągłości	0,11	0,17	0,11	-*	0,13	0,15
	Walcowości	0,11	0,23	0,18	0,05	0,23	0,23
Drukarka C (dłuższy bok w osi Y)	Okrągłości	0,09	0,19	0,16	0,16	-**	0,19
	Walcowości	0,16	0,22	0,25	0,18	-**	0,23

Legenda: (*) zbyt mała liczba zeskanowanych punktów, (**) odłamany element wydruku

Podsumowując wyniki wykonanych badań, należy stwierdzić, że zaproponowany kształt wzorca był łatwy do skanowania światłem białym ze stolikiem obrotowym (brak zasłaniania istotnych ścian – poza mostkami), umożliwił szybką obróbkę wyników siatek trójkątów, nałożenie ich na model 3D CAD i wygenerowanie map odchyłek oraz wykresów pokazujących liczbę punktów z określonymi wartościami odchyłek kształtu, kierunku i położenia. Czas druku zaproponowanych wzorców metodą FDM/FFF wynosił ok. 3 godzin przy grubości warstwy 0,25 mm.

Zaproponowana metoda dobrze sprawdziła się do analizy odchyłek okrągłości i walcowości obiektów wytwarzanych techniką przyrostową. Dokładność uzyskanych przez autorów wydruków 3D na trzech analizowanych drukarkach 3D działających według metody FDM/FFF była w zakresie $\pm 0,25$ mm, przy czym odchyłki 40–50% całkowitej liczby zmierzonych punktów były w zakresie $\pm 0,08$ mm względem modelu nominalnego wyrobu wzorcowego. Ponieważ były to typowe wydruki (grubość warstw 0,25 mm, średnica dyszy ok. 0,4 mm), należy te dokładności uznać za satysfakcjonujące.

LITERATURA

- Białas S., Humienny Z., Kiszka K. „Metrologia z podstawami specyfikacji geometrii wyrobów (GPS)”. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2014.
- Grimm T.A. & Associates: 3D Printer Benchmark EE, Edgewood, Kentucky USA, June 2010, www.tagrimm.com/benchmark-2010/
- “CtrlV Test”: www.whoote.com lub www.thingiverse.com/ctrlV
- Harmatys W., Gruza M., Gaśka P., Gaśka A. „Model parametryczny wzorca do sprawdzania drukarek 3D metodą badania pracą”. *Mechanik* 5–6 (2016).
- Budzik G., Dziubek T., Markowska O., Turek P. „Wpływ zmiany grubości warstwy na dokładność odwzorowania geometrii żuchwy wykonanej metodą FDM”. *Mechanik* nr 12 (2015).
- Derejczyk K., Siemiński P. „Analiza dokładności optycznego skanowania 3D”. *Mechanik* nr 4 (2016).
- Piękoś J., Siemiński P., Dominiak K. „Zastosowanie bezpłatnych wersji programów do drukowania modeli kości”. *Mechanik* nr 4 (2016).
- Budzik G., Siemiński P. „Techniki przyrostowe. Druk 3D. Drukarki 3D”. Warszawa: Oficyna Wyd. Politechniki Warszawskiej, 2015. ■