

Zastosowanie obróbki skrawaniem do poprawy dokładności wymiarowej i kształtowej elementów wytwarzanych technologiami addytywnymi

Apply machining to improve the accuracy of the dimensions and shapes of the elements produced by additive technology

JAKUB KULPA
ŁUKASZ NOWAKOWSKI
JERZY SŁADEK *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.10.401

W artykule zaprezentowano możliwości zastosowania obróbki ubytkowej do poprawy dokładności kształtowej i wymiarowej elementów wytwarzanych technologiami przyrostowymi. Technologie addytywne znajdują coraz szersze zastosowanie i stawiane są im coraz to wyższe wymagania związane z dokładnością wytwarzania. Niestety ograniczenia wynikające z istoty tych technologii nie pozwalają uzyskać dokładności wykonania w klasach niższych niż IT7. Dlatego zasadne jest zastosowanie dodatkowej obróbki do poprawy dokładności istotnych elementów wykonanych prototypów.

SŁOWA KLUCZOWE: frezowanie, technologie addytywne, współrzędnościowa technika pomiarowa

The article presents the possibility of using waste machining to improve the accuracy of the shaping and dimensional elements generated incremental technologies. Additive technologies are increasingly widely used and are placed them higher requirements for precision manufacturing. Unfortunately, limitations resulting from the essence of this technology does not allow you to get accuracy of the lower classes than IT7. Therefore, it is reasonable to use additional treatment to improve the accuracy of the essential elements of printed prototypes.

KEYWORDS: additive technology, coordinate measuring technology, multisensory

W ostatnich latach nastąpił znaczący rozwój technologii przyrostowych, który sprawił, że zaczynają one być stosowane do produkcji gotowych elementów, a nie tylko prototypów. Pomimo ogromnych możliwości tych technologii, są one obciążone znaczącym ograniczeniem, jakim jest dokładność wytworzonego modelu. Zależy ona przede wszystkim od rodzaju samej technologii, zastosowanego materiału, orientacji modelu względem platformy roboczej, materiału podporowego oraz precyzji samej „drukarki”. Dokładność wymiarowa deklarowana przez producentów w zależności od zastosowanej technologii mieści się w granicach od 0,5 do 0,05 mm. Istotnym obszarem do zbadania jest określenie odchyłek kształtu dla wykonywanych prototypów.

Technologie przyrostowe coraz częściej znajdują zastosowanie nie tylko do wykonywania modeli prototypowych, ale również w produkcji małoseryjnej. Takim modelom stawia się coraz większe wymagania co do ich dokładności

wymiarowej i kształtu. Autorzy tego artykułu zastosowali obróbkę ubytkową poprzez frezowanie w celu poprawy dokładności wymiarowej i kształtowej wybranych części wytworzonych prototypów. Założeniem było wykonanie modeli z nadładkiem na powierzchniach, które zostaną poddane obróbce w celu uzyskania większej dokładności, np.: powierzchnie współpracujące w złożeńiach, tak aby właściwy pożądanym wymiar uzyskać na drodze końcowej obróbki ubytkowej [1].

Addytywna technologia PolyJet

Na potrzeby tego artykułu zostały wykonane cztery tuleje o średnicy zewnętrznej 35 mm, które miały różne grubości ścianek, w przedziale od 1 do 2,5 mm, stopniowane co 0,5 mm. Do ich wytworzenia zastosowana została technologia PolyJet. Technologia ta pozwala na budowanie modelu w oparciu o natryskiwanie cienkiej warstwy fotopolimeru o temperaturze 72 °C z głowicy drukującej na platformę roboczą, a następnie utwardzeniu tej warstwy za pomocą światła UV.

Modele wykonano na maszynie Connex 350 firmy Objet w Laboratorium Niekonwencjonalnych Technologii Wytwarzania. W celu uzyskania gładkiej powierzchni prototypy wytworzono w trybie Glossy z materiału Verowhite-FullCure 830. Modele wykonano w trybie *high speed*, grubość warstwy dla tego trybu wynosi 30 μm [2÷4].

Aparatura pomiarowa

Prototypy zmierzono na 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 sekundy na punkt oraz 200 punktów na sekundę w trybie skanowania. MPE zgodny z ISO 10360-2: E0 (3D) 0.9 + L/350 μm.

Proces obróbki

Obróbkę mechaniczną przeprowadzono w Laboratorium Obrabiarek Sterowanych Numerycznie Politechniki Świętokrzyskiej i miała ona na celu nadanie powierzchni zewnętrznej próbek wydrukowanych z fotopolimeru kształtu walca o wymiarach Ø34,5 mm i wysokości 25 mm. Proces obróbki realizowany był z podawaniem cieczy chłodzą-

* Jakub Kulpa; dr inż. Łukasz Nowakowski (lukasn@tu.kielce.pl) – Politechnika Świętokrzyska; prof. dr hab. inż. Jerzy Sładek (sladek@mech.pk.edu.pl) – Politechnika Krakowska

co-smarującej na centrum frezarskim Hermle B300 (rys. 1) i polegał na frezowaniu walcowym powierzchni bocznych próbek. Narzędziem był frez walcowo-czołowy firmy Sandvik Coromant R216.32-10025-AK32AH10F o średnicy $\varnothing 10$ mm (rys. 1). Próby skrawania zostały przeprowadzone z następującymi parametrami: prędkość skrawania $v_c = 470$ m/min, posuw $v_f = 508$ mm/min, głębokość skrawania $a_p = 25$ mm, promieniowa głębokość skrawania $a_e = 0,1$ mm (rys. 1) [7].



Rys. 1. Widok narzędzia i próbek zamocowanych na centrum frezarskim HERMLE B300

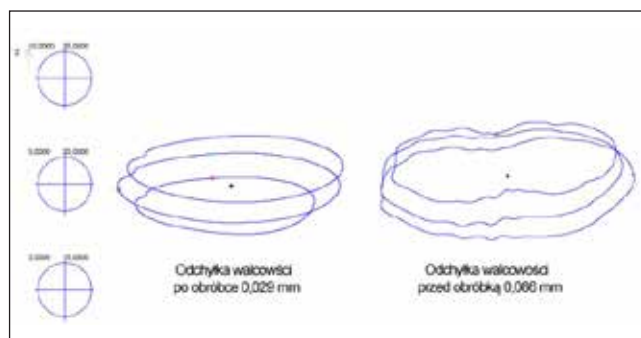
Wyniki pomiarów

W celu oceny poprawy dokładności wymiarowej oraz kształtowej wytworzone prototypy zostały pomierzone przed obróbką i po niej. Wyznaczono podstawowe cechy, takie jak średnica zewnętrzna, odchyłka walcowości zewnętrznej powierzchni walcowej oraz odchyłka okrągłości powierzchni zewnętrznej. 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. W celu analizy wyników zastosowano filtr dolnoprzepustowy Gaussa z progami 15 fal na obrót. Wyniki pomiarów zestawiono w tablicy [5, 6].

TABLICA. Wyniki pomiarów mierzonych tulei przed i po obróbce

Wielkość, mm	Mierzony element ($\varnothing 35,000$ 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
Grubość Średnia (po obróbce)	2,296	1,825	1,357	0,916
Odchyłka walcowości pow. walcowej zew.	0,077	0,086	0,088	0,135
Odchyłka walcowości pow. zew. (po obróbce)	0,029	0,080	0,082	0,075
Odchyłka walcowości pow. wew.	0,428	0,058	0,066	0,118
Odchyłka walcowości pow. wew. (po obróbce)	0,053	0,060	0,650	0,153

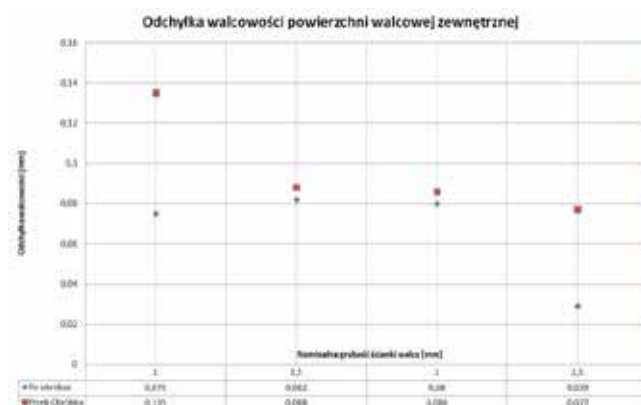
Na rys. 2 przedstawiono graficzną interpretację odchyłki walcowości zmierzonej na powierzchni walcowej zewnętrznej.



Rys. 2. Graficzna interpretacja odchyłki walcowości elementu o grubości ścianki 2,5 mm

Podsumowanie

Na rys. 3 przedstawiono porównanie odchyłek walcowości przed obróbką i po obróbce. Wyniki pomiarów nie dają jednoznacznej odpowiedzi odnośnie do zasadności stosowania obróbki ubytkowej do poprawy dokładności kształtowej badanych elementów, pomimo znacznego zmniejszenia odchyłki walcowości powierzchni zewnętrznej. Wyraźnie widoczna jest duża zależność poprawy dokładności kształtowej od grubości ścianki obrabianego elementu. Ze względu na charakter materiału na skutek obróbki powierzchni zewnętrznej odkształceni uległa również powierzchnia wewnętrzna walca, w wyniku czego w sposób nieregularny zmieniła się odchyłka walcowości.



Rys. 3. Wykres odchyłek walcowości przed obróbką i po obróbce w zależności od grubości ścianki obrabianego elementu

LITERATURA

- Oczko K.E. „Rosnące znaczenie Rapid Manufacturing w przyrostowym kształtowaniu wyrobów”. *Mechanik*. Nr 4 (2008): s. 241÷257.
- www.engatech.com/Objet-3D-Printing Technology.asp (dostęp: 16.04.2015 r.).
- 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.
- Śladek J., Kulpa J. „Multisensory coordinate measuring technology”. *Proc. XIth International Scientific Conference on Coordinate Measuring Technique CMT*. 2014: pp. 95÷100.
- Śladek J. „Metrology Accuracy of Systems and Measurements”. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. ISSN 2195-9862. 2016: pp. 478
- Miko E., Nowakowski Ł. „Analysis and Verification of Surface Roughness Constitution Model After Machining Process”. *XIIIth International Scientific and Engineering Conference hermetic sealing, vibration reliability and ecological safety of pump and compressor machinery-hervecion*. 2011.