

Ocena dokładności modelowych połączeń ślizgowych wykonanych w technologii przyrostowej – natrysku fotopolimeru

Accuracy assessment in a model of sliding connecting elements manufactured by photo-polymer additive technology

CZESŁAW KUNDERA
TOMASZ KOZIOR *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.11.488

W pracy opisano badania wstępne dwóch prostych połączeń ślizgowych przenoszących ruch obrotowy i posuwisto-zwrotny. Modele fizyczne próbek wykonano w technologii przyrostowej PJM, a następnie poddano dokładnym pomiarom metrologicznym. Celem tych badań była ocena wpływu parametrów procesu technologicznego na stan powierzchni oraz luzu konstrukcyjnego.

SŁOWA KLUCZOWE: PJM, Technologie Przyrostowe, Connex 350

This paper describes a preliminary study two types of sliding connections transmitting rotation or reciprocating motion. Physical models of samples were manufactured by additive technology PJM and then subjected to metrological research. The purpose of these research was to assess the influence of process parameters on the surface condition and constructional clearances.

KEYWORDS: PJM, Additive Technologies, Connex 350

Niekonwencjonalne technologie wytwarzania polegające na warstwowej budowie modelu fizycznego wprost z trójwymiarowego modelu cyfrowego 3D znane są od początku lat 80. ubiegłego wieku. Jest to zaawansowany proces technologiczny pozwalający na budowanie zarówno prototypów, jak i w pełni funkcjonalnych modeli. Materiały wykorzystywane do budowy mogą być zarówno w postaci tworzyw sztucznych, ceramiki, jak i proszków metali. Struktura geometryczna technologicznej warstwy wierzchniej modeli otrzymanych technologiami przyrostowymi znacznie różni się struktury otrzymanej konwencjonalnymi metodami wytwarzania. Ze względu na warstwową budowę modeli dokładność technologii przyrostowych jest ograniczona i nie w pełni zdefiniowana [1–3]. W pracy poddano analizie błędy wymiarów liniowych oraz cylindrycznych zadanych modeli fizycznych wykonanych w technologii natrysku fotopolimerów (PJM). Głównym celem przedstawionych badań wstępnych jest określenie wpływu parametrów technologicznych, tj. kierunku wydruku oraz grubości budowanej warstwy, na dokładność wykonania elementów dwóch klasycznych połączeń mechanicznych.

Technologia

Technologia PolyJet Matrix (PJM) [4] polega na foto-utwardzaniu ciekłych żywic polimerowych przy użyciu pro-

mieniowania UV. W procesie budowy piezokrystaliczne głowice natryskują ciekłą warstwę ciekłej żywicy polimerowej w miejsce określone przekrojem poprzecznym budowanego modelu. Następnie specjalna lampa naświetla nowo utworzoną warstwę żywicy promieniami UV, inicjując proces polimeryzacji i tworzenia utwardzonej warstwy polimeru. Minimalna grubość nakładanej warstwy dla materiału pojedynczego wynosi 0,016 mm oraz 0,03 mm dla mieszanek materiałowych, tzw. cyfrowych [4]. Ten drugi tryb budowy umożliwia otrzymanie modeli z kilku materiałów o różnych właściwościach fizyko-mechanicznych. W przedstawionych badaniach do budowy modeli próbek wykorzystano dwa materiały: FullCure 720 oraz VeroWhite o zbliżonych właściwościach (tabl. I) [4].

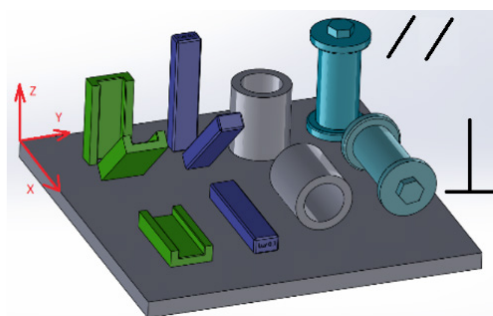
TABLICA I. Właściwości mechaniczne FullCure 720 oraz Vero White [4]

Właściwości mechaniczne	Wartość	Jednostka	Norma
Moduł Younga	2870/2495	MPa	ASTM D-638
Wytrzymałość – rozciąganie	60/50	MPa	ASTM D-638
Wytrzymałość – zginanie	76/75	MPa	ASTM D-790
Udarność (23°C)	24	kJ/m ²	ASTM D-256
Twardość Shorea	83	Scala D	Scala D
Twardość Rockwella	81	Scala M	Scala M

Próbki do badań

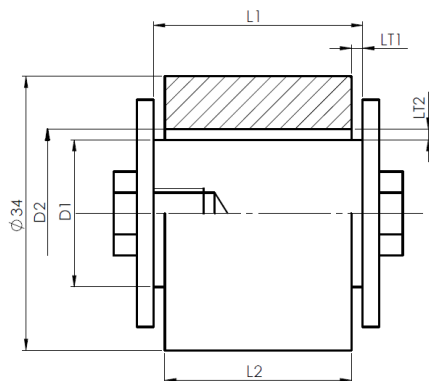
Do badań wybrano dwa typy połączeń rozłącznych, przenoszących ruch obrotowy (wałek–tuleja) oraz ruch posuwisto-zwrotny (suwak–prowadnica). Bryłowe modele próbek wykonano przy użyciu oprogramowania SolidWorks i zapisano jako pliki STL odwzorowujące model za pomocą siatki trójkątów. Wydruk modeli fizycznych przeprowadzono na maszynie Connex 350 z zadaną wielkością luzu konstrukcyjnego. Luz liniowy LT1 oraz promieniowy LT2 (rys. 2) zadany w modelu CAD wynosił 0,2 mm dla próbek 1, 2, 5, 6, 9, 11, 13 i 0,1 mm dla pozostałych modeli (tabl. II). Próbki 1–4, 13, 14 wydrukowane zostały w kierunku równoległym do osi Z, próbki 5–10 w kierunku prostopadłym oraz próbki 11, 12 pod kątem 45°. Walcowe próbki 1, 3, 5, 7 oraz 2, 4, 6, 8 wykonane zostały w trybie pojedynczego materiału z zadaną grubością warstwy wynoszącą odpowiednio 0,032 mm dla trybu High Speed oraz 0,016 mm w trybie High Quality. Próbki 9–14 wykonane zostały w trybie Digital Material z zadaną grubością warstwy 0,030 mm. Wszystkie próbki do badań wykonane zostały w trybie wydruku tzw. Glossy. Wymiary zaprojektowanych próbek oraz ich rozmieszczenie na wirtualnej platformie maszyny przedstawiono na rys. 1 i 2 oraz w tabl. II. Wszystkie wymiary podane są w milimetrach.

* Prof. dr hab. inż. Czesław Kundera (kundera@tu.kielce.pl), mgr inż. Tomasz Kozior (tkozior@tu.kielce.pl) – Politechnika Świętokrzyska

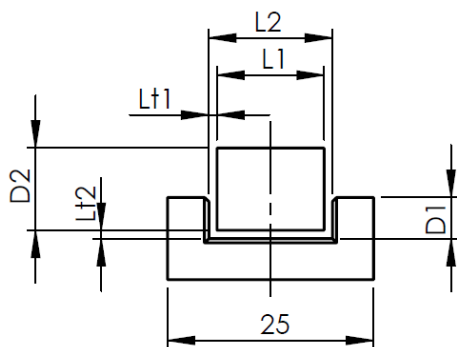


Rys. 1. Rozmieszczenie próbek na platformie maszyny

a)



b)



Rys. 2. Wymiary próbek do badań: a) 1–8, b) 9–14

Na podstawie pomiarów metrologicznych wyznaczono odchyłki wymiarów liniowych oraz cylindrycznych wewnętrznych i zewnętrznych wykonanych próbek. Następnie, wykorzystując znaną zależność metrologiczną (1) [5], określono klasę dokładności technologii PJM.

$$T = 10^{0,2(ITG-1)}(0,45\sqrt[3]{D} + 0,001D) \quad (1)$$

gdzie: T – odchyłka wymiaru D , ITG – klasa dokładności.

Wyniki badań

Pomiary wymiarów cylindrycznych wykonane zostały na współrzędnościowej maszynie pomiarowej O-INSPECT 442 firmy Zeiss. W przypadku pomiarów odchyłek okrągłości, prostoliniowości oraz walcowości do badań wykorzystano maszynę Talyrond 365. Badania połączeń suwak–prowadnica wykonano na współrzędnościowej maszynie Prismo Navigator firmy Zeiss. Wymienione pomiary wykonane zostały w Laboratorium Komputerowych Pomiarów Wielkości Geometrycznych w Katedrze Technologii Mechanicznej i Metrologii.

Na podstawie wyników przeprowadzonych pomiarów (tabl. II) można stwierdzić, że średni błąd względny odwzorowania dla wymiarów cylindrycznych D1 i D2 wy-

TABLICA II. Wyniki pomiarów geometrycznych

Lp.	L1 CAD	L1 model	D1 CAD	D1 model	L2 CAD	L2 model	D2 CAD	D2 Model
1	40	39,857	24	24,258	39,8	39,703	24,2	23,978
2	40	39,910	24	24,203	39,8	39,67	24,2	23,974
3	40	39,871	24	24,272	39,9	39,801	24,1	23,868
4	40	39,909	24	24,204	39,9	39,799	24,1	23,842
5	40	40,104	24	24,100	39,8	40,187	24,2	23,963
6	40	40,028	24	24,073	39,8	39,955	24,2	24,082
7	40	40,096	24	24,133	39,9	40,295	24,1	23,879
8	40	40,046	24	24,053	39,9	40,029	24,1	23,979
9	14,9	14,95	5	4,97	15	15,049	9,9	9,852
10	14,8	14,865	5	4,97	15	15,049	9,8	9,830
11	14,9	14,962	5	4,995	15	15,025	9,9	10,081
12	14,8	14,877	5	4,995	15	15,025	9,8	10,003
13	14,9	14,976	5	4,969	15	15,062	9,9	9,888
14	14,8	14,889	5	4,969	15	15,062	9,8	9,833

niósł odpowiednio +0,675% i –0,846%. Dla połączenia suwak–prowadnica średni błąd wymiarów L1 i L2 wyniósł odpowiednio +0,47% i +0,3%. Dla połączenia wałek–tuleja błędy L1 i L2 uzależnione były od kierunku wydruku. W przypadku wymiaru L1 średni błąd próbek równoległych wyniósł –0,28% oraz dla próbek prostopadłych +0,17%. Średni błąd wymiaru L2 w tym samym typie połączenia dla próbek równoległych wyniósł –0,26% oraz +0,67% dla próbek prostopadłych. Maksymalny błąd względny odwzorowania dla próbek cylindrycznych wyniósł 1,13%, a dla próbek połączenia suwak–prowadnica 2,07%. Obliczona na podstawie zależności (1) średnia klasa dokładności dla wymiarów liniowych wynosi 10, a dla wymiarów cylindrycznych – 12.

Wnioski

Analizując wyniki badań metrologicznych połączeń ruchomych wykonanych w technologii PJM, można sformułować następujące wnioski ogólne:

- dla połączenia wałek–tuleja, wydruk prostopadły do osi elementów składowych zadaną grubością warstwy 0,016 mm pozwala uzyskać zadany luz konstrukcyjny;
- w przypadku wymiarów liniowych połączenia wałek–tuleja, wydruk równoległy do osi jest znacznie dokładniejszy i pozwala osiągnąć założone pasowanie luzne połączenia;
- dla połączenia suwak–prowadnica każdy rodzaj wydruku umożliwiał wykonanie modeli z zadaniem luzem;
- odwzorowanie wymiarów liniowych w przypadku technologii PJM jest znacznie dokładniejsze (o dwie klasy) w porównaniu z odwzorowaniem wymiarów cylindrycznych.

LITERATURA

1. Bartkowiak J., Lehner J., Hyde Z., Wang D., Pedersen H., Hansen Brown C. „Multi-scale-areal curvature analysis of fused deposition surfaces”. *Proceedings – Achieving Precision Tolerances in Additive Manufacturing* (2015): pp. 77–82.
2. Kundera Cz., Bochnia J. „Investigating the stress relaxation of photopolymer O-ring seal models”. *Rapid Prototyping Journal*. Vol. 20, No. 6 (2014): pp. 533–540.
3. Chen Y., Zhezhen C. „Joint analysis in rapid fabrication of non-assembly mechanisms”. *Rapid Prototyping Journal*. Vol. 17, No. 6 (2011): pp. 408–417.
4. www.stratasys.com (dostęp: 22.01.2016 r.).
5. DeGarmo P.E., Black J.T., Kohser R.A. „Materials & Processes in Manufacturing 10th Edition”. USA: Wiley, 2007.