

Ocena cech osobliwych materiałów stosowanych w technologii FDM

A methodology of testing elements prepared in additive technology

MACIEJ PARAFINIAK
PIOTR ŻACH *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.12.552

W artykule scharakteryzowano dedykowane technologii FDM materiały polimerowe, opierając się na badaniach testowych elementów wykonanych z tworzywa PLA. Celem pracy było przygotowanie metody badań pozwalającej zarówno na porównanie danych materiałowych dostarczanych przez producentów materiału użytego do wytworzenia elementu konstrukcyjnego, jak i ocena własności elementu oraz sposobu wykorzystania materiału w zastosowanej technologii wykonania. **SŁOWA KLUCZOWE:** badania doświadczalne, druk 3D, FDM, addytywne technologie wytwarzania

A paper presets dedicated FDM technology polymeric materials based on studies of test components made of PLA polymer. The aim of the study was to verify the test methods allowing both to compare material data supplied by the manufacturers of the material used to manufacture the component and evaluation of ownership of an item and how to use the material using FDM technology.

KEYWORDS: 3D printing, FDM, material testing, tension testing

Niezależnie od zastosowanej addytywnej technologii wykonania prototypu charakteryzującej się zakresem opisu geometrii elementu, wyborem urządzenia do wytworzenia elementu wraz z dedykowanym oprogramowaniem oraz materiału do produkcji prototypu – efekt końcowy nie jest w pełni przewidywalny.

Niezbędna jest weryfikacja wytworzonego elementu konstrukcyjnego poprzez szereg badań, których celem jest ocena zgodności geometrii, budowy i właściwości uzyskanego wyrobu oraz weryfikacja w zakresie wytrzymałości, trwałości, jednorodności budowy. Niezbędne jest również wielokrotne dokonanie oceny alternatywnego wykorzystania własności materiału i technologii użytych do wytwarzania elementu, w tym wskazanie niezbędnych zmian w technologii wykonania.

W opracowaniu omówiono elementy metodyki badań elementów konstrukcyjnych wytwarzanych w technologii addytywnej w kontekście spełnienia wymagań konstrukcyjnych i wytrzymałościowych oraz oceny prawidłowości zastosowanej technologii wytwarzania.

Jednym z istotnych elementów metodyki badawczej są odpowiednio dobrane i wykorzystane techniki pomiarowe, szczególnie bezkontaktowe, np. optyczne, umożliwiające identyfikację i wizualizację w czasie rzeczywistym obsza-

rów deformacji i odkształceń, odtworzenie naprężeń w elemencie konstrukcji i inne.

Współczesne prace konstrukcyjne coraz częściej przebiegają według następującego podziału:

- etap 1 – prototypowanie wirtualne (*Virtual Prototyping*) – polegające na tworzeniu oraz badaniu wirtualnego prototypu, obejmujące komputerowe projektowanie elementu, ocenę procesu wytwarzania, badania symulacyjne elementu (np. MES) oraz prowadzone równolegle realizowane metodą symulacji testy funkcjonalne, ergonomiczne i inne. Ocenie podlega również podatność na recykling;
- etap 2 – wytwarzanie prototypów (*Rapid Prototyping*) – z wykorzystaniem szeregu technik addytywnych, np. stereolitografii (SLA), *Fused Deposition Modeling* (FDM), *Selective Laser Sintering* (SLS), *Electron Beam Melting* (EBM), *Laminated Object Manufacturing* (LOM), *Single Jet Inkjet* (InkJet), *Three Dimensional Printing* (3DP) i inne.

Wielokrotnie stadium wstępnym jest etap nazwany inżynierią odwrotną (*Reverse Engineering*) obejmujący tworzenie modelu komputerowego elementu konstrukcyjnego lub uszkodzonej części maszyny na podstawie istniejącego przedmiotu z zastosowaniem skanerów 3D.

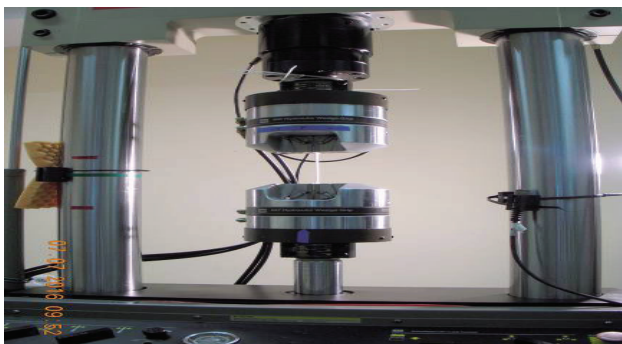
Badania testowe

Cel: określenie charakterystyki materiału PLA w zakresie: odpowiedzi naprężenie–odkształcenie, naprężenia granicznego, wydłużenia, modułu Younga, sposobu zniszczenia itd. w temperaturze otoczenia i atmosferze ekwiwalentnej.

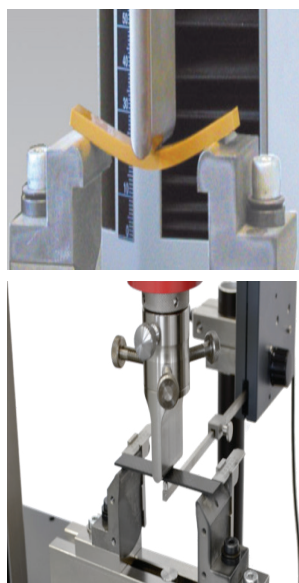
Przed przystąpieniem do badań wdrożono procedury badawcze, które obejmowały: przygotowanie próbek do badań oraz kondycjonowanie i oczyszczenie, określenie stanu powierzchni próbek wraz z oceną wad materiałowych, pomiar geometrii próbki, zbadanie orientacji próbki, opis stanu próbek obejmujący stwierdzone odstępstwa i wady.

Stanowisko badawcze: do badań wykorzystano standardowe maszyny wytrzymałościowe, realizujące jednokierunkowe rozciąganie, wraz z oprogramowaniem do zapisu i wizualizacji wyników, dostarczające informacje o zależności pomiędzy siłą a odkształceniem mierzonym na uchwytach, uzupełnione o wyposażenie pomiarowe do określenia odkształceń próbki w postaci ekstensometrów o dobranej bazie pomiarowej lub wideoekstensometrów. Widok stanowisk przedstawiono na rys. 1: próba jednoosiowego rozciągania i rys. 2: próba trzypunktowego zginania. Badania przeprowadzono na stanowisku wyposażonym w komorę klimatyczną.

* Dr inż. Maciej Parafiniak (maciej.parafiniak@simr.pw.edu.pl), dr hab. inż. Piotr Żach (maciej.pzach@simr.pw.edu.pl) – Politechnika Warszawska, Instytut Podstaw Budowy Maszyn



Rys. 1. Stanowisko badawcze wykonane w oparciu o MTS 809

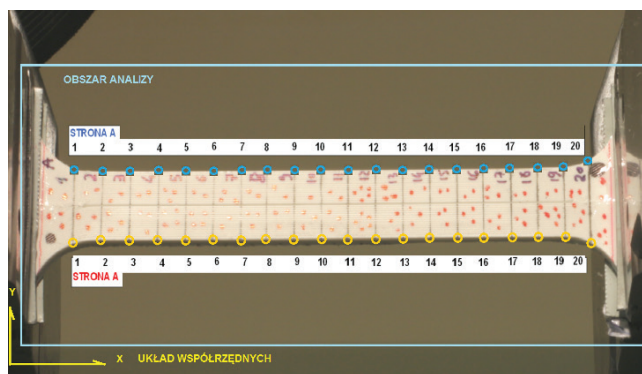


Rys. 2. Stanowisko do prób trzypunktowego zginania ZWICK [6]

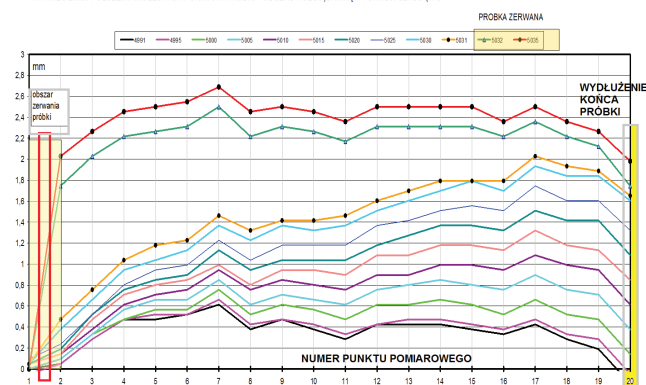
Przygotowanie pomiarów: ze względu na subtelności i niejednorodność budowy próbki zrezygnowano z pomiarów uśrednionych. Rozważono realizację testów metodami bezkontaktowymi – optycznymi: fotogrametryczną, *Digital Image Correlation* (DIC), znacznikową. Przeprowadzone doświadczenia umożliwiają wykreślenie map odkształceń oraz analizę naprężeń w oparciu o opis pracy materiału pod wpływem złożonych obciążeń wewnętrznych.

Realizacja badań: warunki i metodykę przeprowadzenia prób rozciągania oparto na normach badawczych tworzyw sztucznych [5]. Próbkę zamocowano w maszynie za pomocą przekładek. Wymuszenie zrealizowano, dokonując sterowania przemieszczeniem głowicy ruchomej z posuwem 0,01 mm/s. Zapis realizacji prób zrealizowano jako ciągły z krokiem czasowym 0,01 s. W trakcie próby, w przypadku zastosowania fotogrametrii, okresowo (np. co 5 s) dokonywano rejestracji cyfrowego obrazu próbki, przy stałym położeniu aparatu fotograficznego. Dobrano rozdzielczość aparatu i obszar obserwacji tak, aby znaczniki pomiarowe na obrazie były co najmniej wielkości 3–5 pikseli, a szybkość migawki nie ograniczała czytelności zdjęcia podczas odkształcania próbki. Plik stanowiący dokumentację cyfrową obrazu zawiera informację o czasie wykonania z dokładnością do 0,01 s, będącą podstawą połączenia danych z maszyny i metody optycznej. W przypadku wykorzystania metody DIC przyjęto parametry obrazu zgodnie z wytycznymi oprogramowania do analizy. W każdym z omawianych przypadków przeprowadzono wstępną kalibrację obrazu lub zdjęcia próbki.

Analiza wyników: uzyskano wykresy przemieszczeń punktów pomiarowych. Wykreślono mapy pól odkształceń



WYKRES zmian POŁOŻENIA KOLEJNYCH PUNKTÓW PRÓBKII PODCZAS ROZCIĄGANIA (W FUNKCJI CZASU I WG).



Rys. 3. Przykładowy wykres zmian przemieszczenia punktów charakterystycznych (metoda fotogrametryczna)

i naprężeń analizowanych punktów próbki oraz wyliczono wielkości stałych materiałowych (rys. 3).

Podsumowanie

Zweryfikowano opracowaną metodykę badań dedykowaną wyrobom wykonanym przy użyciu tworzyw sztucznych w technologii druku 3D. System wymaga unifikacji i rozbudowy, nie mniej uzyskane wyniki są miarodajne i mogą być traktowane jako wzorcowe.

Użyta technika pomiarowa pozwala na wyznaczenie przemieszczeń wybranych do analizy punktów w zakresie umożliwiającym zobrazowanie rozkładów odkształceń (naprężeń). Uzyskane opisaną metodą informacje dają podstawę do bardziej szczegółowego poznania pracy materiału. Niezbędna jest automatyzacja analizy obrazów ze względu na pomiar przemieszczeń punktów pomiarowych przy użyciu oprogramowania.

Odształcenia próbek oszacowane na podstawie wyników z układu mechanicznego i metody optycznej pozwalają na stwierdzenie, że uzyskane wartości wydłużenia próbki określone w podobnych warunkach są zbliżone.

LITERATURA

- Górski F. „Ocena wytrzymałości wyrobów kształtowanych przystawo uplastycznionym tworzywem sztucznym”. Politechnika Poznańska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, Poznań, 2013.
- Doyle J.F., Phillips J.W. „Manual on Experimental Stress Analysis”. Fifth Edition, SEM, 2008.
- Ramesh K. „Digital Photoelasticity – Advanced Techniques and Application”. Springer, New York, 2000.
- Leszek W. „Badania empiryczne. Wybrane zagadnienia metodologiczne”. Wyd. ITE, 1997.
- PN-EN ISO 527:1998 – Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu.
- <http://www.zwick.pl/pl/zastosowania/tworzywa-sztuczne/materialy-termoplastyczne-i-termoutwardzalne/badanie-wytrzymalosci-na-zginanie.html>.