

Metodyka badań zespołów wytwarzanych technologiami addytywnymi

A methodology of testing elements prepared in additive technology

MACIEJ PARAFINIAK
PIOTR ŻACH *

DOI: 10.17814/mechanik.2016.12.551

W artykule omówiono zagadnienia weryfikacji doświadczalnej elementów konstrukcyjnych wytwarzanych w technologii addytywnej druku 3D metodą FDM (*Fused Deposition Modeling*). Odniesiono się do aktualnie stosowanych metod i procedur testowych pozwalających na weryfikację założeń i wymagań wytrzymałościowych.

SŁOWA KLUCZOWE: metodyka badań doświadczalnych, druk 3D, FDM, addytywne technologie wytwarzania

A article discusses the issues of experimental verification of structural elements produced in additive technology of 3D printing FDM (Fused Deposition Modeling). Reference was made to the currently used methods and test procedures allow for verification of assumptions and strength requirements.

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

Współczesna inżynieria materiałowa wsparta nowymi technologiami wytwarzania, w szczególności opartymi na technikach przyrostowych, udostępnia inżynierom do wykorzystania innowacyjne materiały polimerowe. Zagadnienia, o których mowa, są nowymi i w związku z tym niepoznanymi zarówno pod kątem cech mechanicznych i osobliwych surowców, jak również technik wykonania i aplikacji przemysłowych. Doświadczenia inżynierów bazują w szczególności na pracach własnych i studyjnych. Brak jest zaleceń i wytycznych oraz zapisów normatywnych porządkujących procesy poznawcze. Ograniczenia wpływają na pogłębianie się niejednoznaczności w zakresie oceny i opisu właściwości fizycznych, mechanicznych, addytywnych oraz uniemożliwiają wykonywanie porównań oraz zestawień, które mogą być podstawą wyboru polimeru do pożądanego rozwiązania oraz korelacji z dostępnymi i projektowanymi metodami wytwarzania. Wykazane nieścisłości i braki przekładają się również na ograniczenia w użyciu nowych, równolegle rozwijanych systemów projektowania i weryfikacji konstrukcji przy zastosowaniu metod numerycznych, np. metody elementów skończonych.

Badanie własności mechanicznych współczesnych materiałów konstrukcyjnych stawia nowe wyzwania, wynikające z konieczności przeprowadzenia procesu doświadczalnego uwzględniającego m.in. fizyko-chemię polimerów, strukturę i budowę. Mnogość czynników mogących wpływać na zachowanie i pracę tworzyw stosowanych do wytwarzania filamentów wykorzystywanych w technologii

FDM przedkłada się na niejednoznaczność odpowiedzi. Problematyka zagadnień obejmuje cały proces testowy, począwszy od wprowadzenia obciążeń w badany element poprzez stworzenie w materiale wymaganego stanu naprężeń, przeprowadzenie cyklu doświadczalnego do analizy i interpretacji wyników.

Jednym z istotnych elementów metodyki badawczej są odpowiednio dobrane i wykorzystane techniki pomiarowe pozwalające na nieinwazyjne i bezkontaktowe, precyzyjne i w czasie rzeczywistym określenie lokalnych odkształceń, identyfikację pęknięć i obserwację propagacji zniszczenia, jak również wizualizację. Zagadnieniami pozostają implementacja technik poznawczych na stanowiskach badawczych w celu zestawienia i porównania uzyskanych wyników z danymi z maszyn wytrzymałościowych.

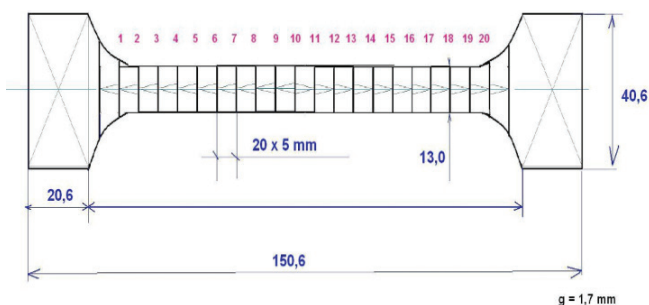
Założenia do analiz

Sposób wykonania próbki lub detalu do badań metodą druku 3D nakłada szereg ograniczeń wynikających z możliwości realizacji trajektorii przejścia głowicy i sposobu ułożenia warstw przez maszynę drukującą oraz sposobu wypełnienia obszarów i powierzchni drukowanych. Warstwy materiału nakładane są zgodnie z geometrią budowanego modelu, przy czym droga głowicy zależy od sposobu zaprojektowania i możliwości oprogramowania projektowos-sterującego. Następstwem są zarówno odstępstwa od założonego kształtu próbki, jak i zmieniający się układ nitek polimeru w pojedynczej warstwie, zmieniające się ilości warstw, różne wymiary kolejnych warstw itd. W zależności od zdefiniowanych parametrów druku, połączenie kolejnych sekwencji materiału może być niejednorodne i wykazywać różnicowane własności. Jeśli na powierzchni próbki lub wyrobu na potrzeby prób powinny zostać naniesione znaczniki, należy przed badaniami określić ich dokładne położenie przez pomiar z użyciem mikroskopu pomiarowego lub inną metodą o wystarczającej – z punktu widzenia użytej podczas badań metody pomiarowej odkształceń – dokładności. Istotne jest też posiadanie wyjściowych danych surowcowych materiału, z którego wykonywana jest próbka lub element konstrukcyjny, oraz charakterystyka metody lub norma, według której te własności zostały określone.

Właściwym jest oznaczenie i opisanie próbki z uwzględnieniem:

- geometrii i wymiarów próbki oraz położenia np. znaczników. Na rys. 1 zamieszczono przykład proponowanych oznaczeń próbki wykonanej w formie wiośelka, w oparciu o wytyczne norm [5–7], dedykowanej badaniom fotogrametrycznym.

* 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



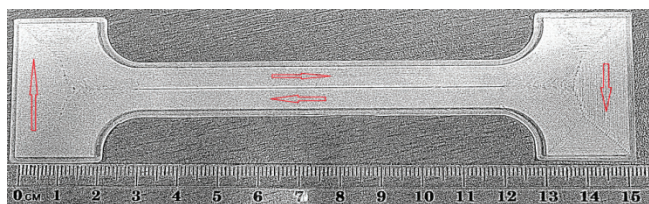
Rys. 1. Przykładowy szkic geometrii próbki do badań z naniesionymi znacznikami do analizy optycznej (fotogrammetria)

- zestawienia własności i parametrów materiału wyjściowego surowca próbki (tablica),

TABLICA. Właściwości fizyczne filamentu PLA

Właściwość	Metoda testowa	Wartość typowa
Średnica filamentu	-	1,75 mm \pm 0,05
Okrągłość	-	\geq 95%
Ciężar właściwy	ASTM D1505	1,24 g/cm ³
Wytrzymałość na rozciąganie	ASTM D882	110 MPa + 145 MPa
Wydłużenie przy zerwaniu	ASTM D882	160% (MD) 100% (TD)
Moduł Younga	ASTM D882	3310 MPa (MD) 3860 MPa (TD)
Temperatura drukowania	-	180°C – 210°C
Temperatura topnienia	ISO 294	210°C \pm 10°C
Strefa topnienia	ASTM D3418	145°C – 160°C
Temperatura mięknięcia wg Vicata	ISO 306	\pm 60°C

- zestawienia danych i parametrów maszyny i realizacji procesu wykonania próbki (w tym dane o programie sterującym realizacją wydruku, dokładności maszyny, sposób wypełniania płaszczyzn i powierzchni, temperatura procesu, sposób podparcia próbki itp.),
- oznaczenia kierunków wykonania, kierunków preferowanych: pracy i obciążeń, stref łączenia materiału w próbce (rys. 2).



Rys. 2. Znaczniki kierunków ułożenia nitek polimeru w pojedynczej warstwie oraz stref łączenia

Normy i procedury badawcze

Normy omawiające testy poznawcze określają zarówno kształt próbki do badań – zazwyczaj uwzględniając wymagania odnoszące się zarówno do długości próbki i kształtu uchwytów, długości pomiarowej, jak i przekroju próbki. Procedury określają wymagania niezbędne w zakresie wyposażenia badawczego, pomiarowego i uzupełniającego, jak również wskazują prawidłowe parametry realizacji próby, tj. prędkości posuwów lub narastania obciążeń, sposób wyboru długości pomiarowej, sposób analizy wyników,

sposób obliczania wielkości charakterystycznych, wydłużenie próbki, wartość umownej granicy plastyczności itd. Bardzo ważne jest, a z reguły w wytycznych normatywnych nieopisane, właściwe wprowadzenie obciążeń do układu. Zagadnienie jest istotne m.in. z punktu widzenia oceny warunków brzegowych, uzyskiwanych wyników czy powtarzalności testów. Przekłada się na ostateczną ocenę materiałów i jednoznaczność przeprowadzenia próby, np. w przypadku elementów mocujących – uchwytów i badanego materiału: kruchego – następuje wprowadzenie karbu i zerwanie próbki po zaciśnięciu na krawędzi uchwytu, hipersprężystego – wysuwanie (wyciskanie) się materiału ze szczęk.

Aktualne normy odnoszące się do materiałów konstrukcyjnych, np. ASTM, dokonują podziału na: tworzywa i ich pochodne (polimery), materiały gumowe (w tym elastomery), stalowe, metalowe, tekstylne, drewniane, kompozyty, szklane i ceramiczne itd. Zamieszczany jest opis i definicja, powoływane są właściwości fizyczne, mechaniczne i chemiczne oraz sposoby badań. Opis normatywny materiałów addytywnych znajdziemy w [9]. Raport obejmuje definicje i terminologię, pomiary i ocenę jakości różnych procesów wytwarzania oraz wskazania kalibracji maszyn stosowanych w produkcji. Regulacje ASTM nie zawierają specyfikacji rodzajów badań i ich metodyki w zakresie materiałów i wyrobów otrzymanych w technologii addytywnej. Wskazywane są jedynie zalecenia, a nie wytyczne, w zakresie prowadzenia prac w oparciu o metodykę i zasady badań tworzyw sztucznych i kompozytów zbrojonych włóknem szklanym (FRP).

Podsumowanie

W artykule podjęto zagadnienia identyfikacji właściwości fizyko-mechanicznych materiałów drukowanych. Stwierdzono, że pomimo dynamicznego rozwoju technik przyrostowych aktualnie brak jest wytycznych normatywnych i procedur badawczych odnoszących się do omawianego rodzaju tworzyw. Kontynuacja prac doświadczalnych oraz zbudowanie zaplecza doświadczalno-porównawczego będą podstawą do opracowania procedur testowych i metodyki pomiarowej nowych polimerów o pożądanym cechach osobliwych.

LITERATURA

- Hambali R.H., Celik H.K., Smith P.C., Rennie A.E.W., Ucar M. "Effect of Build Orientation on FDM Parts: A Case Study for Validation of Deformation Behaviour by FEA". *140 Proceedings of iDECEN 2010 – International Conference on Design and Concurrent Engineering*. Universiti Teknikal Malaysia Melaka, Melaka, Malezja, 2010.
- Górski F. „Ocena wytrzymałości wyrobów kształtowanych przyrostowo-uplastycznionym tworzywem sztucznym”. Poznań: Politechnika Poznańska, Wydział Budowy Maszyn i Zarządzania, 2013.
- 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, pt. Tworzywa sztuczne. Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu.
- PN-EN ISO 527-4:2000, Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwości mechanicznych przy statycznym rozciąganiu – Warunki badań kompozytów tworzywowych izotropowych i ortotropowych wzmocnionych włóknami.
- PN-82/C-89051 Tworzywa sztuczne. Oznaczanie modułu sprężystości przy rozciąganiu, ściskaniu i zginaniu.
- <https://www.astm.org/Standards/additive-manufacturing-technology-standards.html>.