

I Krajowa Konferencja Naukowa
Szybkie prototypowanie
Modelowanie - Wytwarzanie - Pomiary
 Rzeszów - Pstrągowa, 16 - 18 września 2015



POLITECHNIKA
RZESZOWSKA
im. IGNACEGO ŁUKASIEWICZA



WYDZIAŁ
BUDOWY MASZYN
I LOTNICTWA
POLITECHNIKI RZESZOWSKIEJ



CENTRUM NAUKOWO TECHNICZNE

KLASTER SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA
RAPIDROM

Możliwości aplikacyjne technologii Rapid Manufacturing w przemyśle lotniczym

Possibility of Rapid Manufacturing technology application in aircraft industry

JAROSŁAW SĘP
GRZEGORZ BUDZIK*

DOI:10.17814/mechanik.2015.12.581

Tematyka artykułu związana jest z możliwością aplikacji technologii Rapid Manufacturing do wytwarzania prototypów stosowanych w przemyśle lotniczym. W pierwszej części artykułu przedstawiona jest analiza wybranych metod szybkiego prototypowania (Rapid Prototyping – RP) w kontekście ich zaszeregowania jako metod szybkiego wytwarzania wyrobów funkcjonalnych (Rapid Manufacturing – RM). Następnie opisane zostały możliwości zastosowania wybranych technologii RM do wytwarzania wyrobów gotowych i półwyrobów o zawansowanej strukturze przy użyciu przyrostowych systemów wytwórczych.

SŁOWA KLUCZOWE: szybkie wytwarzanie prototypów, przemysł lotniczy

This article is related to the possibility of application of Rapid Manufacturing technologies for the production of prototypes used the aviation industry. In the first part of the article presents the analysis of selected methods for rapid prototyping (RP) in the context of their classification as methods for Rapid Manufacturing of functional devices (RM). Then describes the possibility of using selected RM technologies to produce finished products and semi-finished of advanced structure products with incremental manufacturing systems using.

KEYWORDS: rapid manufacturing, aircraft industry

Dynamiczny rozwój transportu powietrznego związany jest z potrzebą przyspieszenia prac nad nowymi konstrukcjami w czym są pomocne i w zasadzie niezbędne systemy komputerowego wspomagania prac inżynierskich CAx oraz związane z nimi technologie szybkiego

wytwarzania prototypów w tym również technologie RM.

Metody szybkiego prototypowania pozwalają na relatywnie szybkie wykonanie prototypu na podstawie modelu numerycznego 3D-CAD (ang. CAD – Computer Aided Design). Prototypy wykonane metodami RP i RM [1-4] są często stosowane jako modele wzorcowe w badaniach procesów funkcjonalnych i technologicznych [2, 6] oraz również jako elementy w pełni funkcjonalne. Metody szybkiego wytwarzania mogą być technologiami stosowanymi zarówno w światowych wytwórniach komponentów lotniczych (Pratt&Whitney, General Electric, Rolls-Royce, Snecma) ale również w firmach będących producentami elementów dla samolotów małych czy również bezzałogowych dronów. Technologie RP stają się obecnie priorytetowymi technologiami dla rozwoju krajowego przemysłu lotniczego [6-9].

Charakterystyka wybranych metod RM

Technologie Rapid Manufacturing stanowią wyodrębnioną grupę z obszaru Rapid Technologii, w które znajdują się przyrostowe i hybrydowe metody wytwórcze pozwalające na wykonywanie gotowych, w pełni funkcjonalnych wyrobów możliwych do zastosowania jako elementy nośne czy konstrukcyjne maszyn i urządzeń stosowanych w różnych gałęziach przemysłu w tym również w przemyśle lotniczym.

Techniki RP/RM wykorzystują głównie procesy budowy modelu przez przyrost materiału. Opierają się na jego stopniowym dodawaniu materiału aż do momentu uzyskania wymaganej geometrii. Wykonanie modelu zakłada przekształcenie numerycznego odwzorowania obiektu na jego postać fizyczną przy minimalnej interwencji ręcznej i minimalnych czasach realizacji. Wśród technologii RM można również wyróżnić metody pośrednie np. odlewanie w formach silikonowych pod obniżonym ciśnieniem elementów maszyn z żywic epoksydowych, poliestrowych i poliuretanowych.

prof. dr hab. inż. Jarosław Sęp, (jszmiop@prz.edu.pl@prz.edu.pl),
prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik (gbudzik@prz.edu.pl)

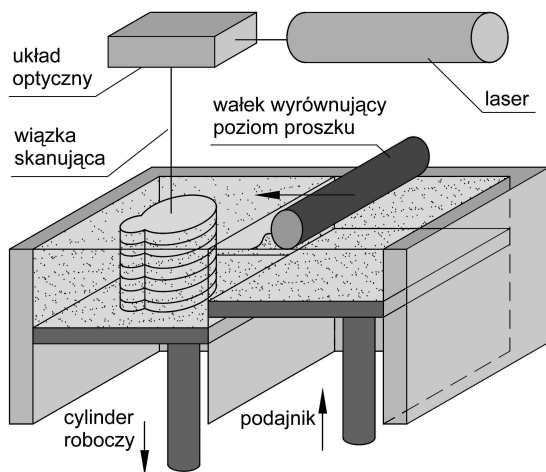
W przypadku wytwarzania obiektu za pomocą kształtowania przyrostowego eliminuje się w dużej mierze konieczności stosowania specjalnego oprzyrządowania. W tym aspekcie procesy przyrostowe mają pewną przewagę nad konwencjonalnymi ubytkowymi czy hybrydowymi procesami formowania wyrobu.

W dalszej części artykułu przedstawiono wybrane metody przyrostowe, które w kontekście przedstawionej wcześniej definicji technologii Rapid Manufacturing spełniają kryterium możliwości wytwarzania prototypu jako gotowej, pełnowartościowej części maszyny czy urządzenia.

■ Metoda SLS/DMLS

W metodzie SLS (*SLS – Selective Laser Sintering*) wykorzystuje się sproszkowany materiał, rozprowadzany warstwami na platformie roboczej za pomocą zgarniacza. Promień lasera powoduje spieknięcie warstwy zgodnie z zadanymi granicami i wypełnieniem przekroju bryły. Po utwardzeniu następuje obniżenie platformy roboczej o grubość warstwy i ponowne rozprowadzenie proszku. Przy utwardzaniu kolejnej warstwy następuje nadtopienie warstwy poprzedniej, dzięki czemu powstaje jednolita bryła modelu. W metodzie SLS można stosować różne materiały w tym materiały polimerowe, ceramiczne i metalowe. W przypadku przetwarzania sproszkowanych stopów metali stosuje się urządzenia pracujące w systemie DMLS – Direct Metal Laser Sintering. Schemat procesu SLS/DMLS przedstawia rysunek 1.

Po wykonaniu całego prototypu należy usunąć z platformy roboczej proszek, który nie został poddany spiekaniu i następnie oczyścić modele z niespieczonego proszku.



Rys. 1. Schemat procesu SLS/DMLS

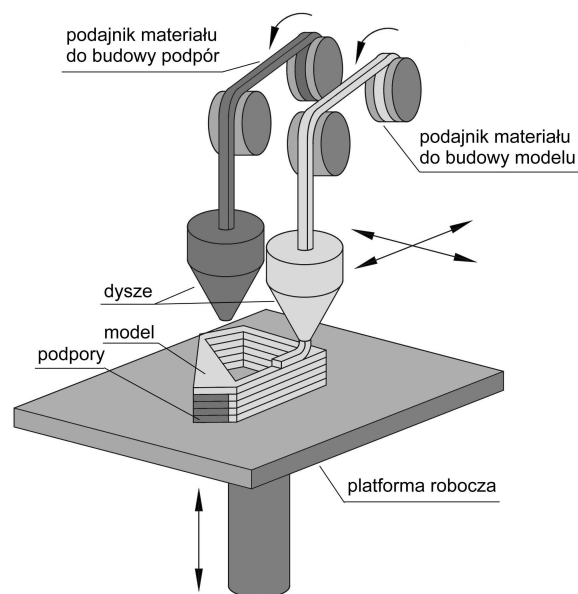
W metodzie SLS dla proszków polimerowych, tworzony model jest wspierany przez proszek wypełniający przestrzeń roboczą, dlatego nie są wymagane oddzielne struktury wspierające. Dla proszków metalu niezbędna jest konstrukcja wspierająca model podczas procesu wytwarzania. Po zakończeniu procesu prototyp należy odciąć od platformy roboczej i usunąć z modelu podpory, najczęściej przez obróbkę skrawaniem. Przed przystąpieniem do następnego procesu platformę roboczą należy przeszlifować lub przefrezować w celu zapewnienia jej żądanej płaskości powierzchni roboczej.

Metoda SLS należy do jednej z najbardziej uniwersalnych wśród systemów szybkiego prototypowania. Może mieć zastosowanie do bezpośredniego wytworzenia goto-

wych prototypów i części maszyn jako metoda RM, oczywiście po zastosowaniu dodatkowej obróbki. Może być również stosowana jako metoda Rapid Tooling do wytwarzania narzędzi przetwórczych wykorzystywanych w kolejnych etapach procesu produkcyjnego określonego wyrobu np. wkładek formujących do form wtryskowych.

■ Metoda FDM/MEM

Metoda FDM/MEM polega na budowaniu modelu warstwami przez przetłaczanie polimerowego termoplastycznego materiału za pomocą dyszy, która jest nagrzewana w celu jego uplastycznienia. Dysza jest umieszczona w korpusie głowicy, posiadającym możliwość przemieszczeń poziomych i pionowych w celu ułożenia warstwy materiału w przestrzeni roboczej, zgodnie z zadaną geometrią przekroju. Nakładana warstwa zastyga natychmiast po wypłynięciu z dyszy, wiążąc się z warstwą ułożoną wcześniej. Schemat procesu FDM przedstawia rysunek 2. W przypadku metody MEM możliwe jest zastosowanie tylko jednej dyszy dla jednego materiału, którego wykonywany jest prototyp i konstrukcje podpierające.

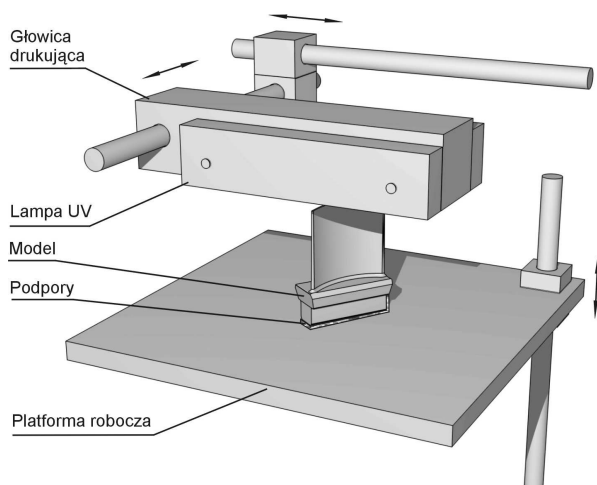


Rys. 2. Schemat procesu FDM/MEM

Struktury podpierające są tworzone razem z modelem, a następnie usuwane po wykonaniu całego obiektu. Możliwe jest wykonanie podpór z materiału rozpuszczalnego w wodzie, co ułatwia ich usunięcie. W metodzie FDM/MEM można wykorzystać kilka rodzajów materiału, jak wosk, ABS i poliwęglan.

■ Metoda JS

Metoda JS – Jetting Systems czyli warstwowy druk ciekłym fotorpolimerem polega na nakładaniu warstwy polimeru z głowicy drukującej, która jest następnie utwardzana światłem UV emitowanym z lampy zintegrowanej z głowicą drukującą (rys. 3). W trakcie budowy modelu nakładane są na platformę roboczą dwa materiały: modelowy i konstrukcji podpierającej model. Prototypy budowane są na platformie roboczej (x, y) wzdłuż osi pionowej (z) w przestrzeni roboczej maszyny. Technologia JS stosowana jest do wytwarzania prototypów znajdujących zastosowanie m.in. w przemyśle elektromaszynowym, samochodowym i lotniczym.



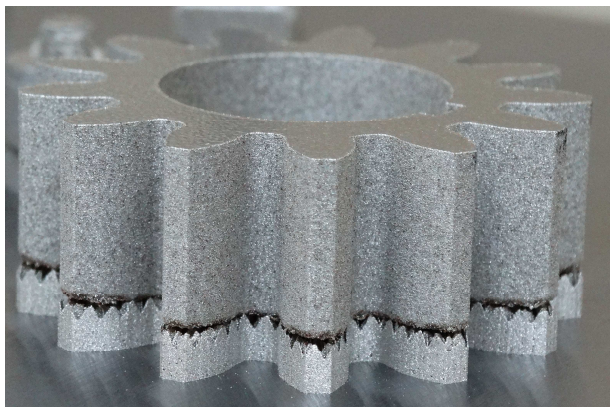
Rys. 3. Schemat procesu JS - PolyJet

W metodzie JS - PolyJet stosowane są polimerowe żywice fotoutwardzalne pozwalające na uzyskanie prototypów o różnych właściwościach materiału np.: Full Cure 720, Vero, Tango, DurusWhite. W zależności od planowanych właściwości prototypów stosujemy następujące żywice do wykonania modeli:

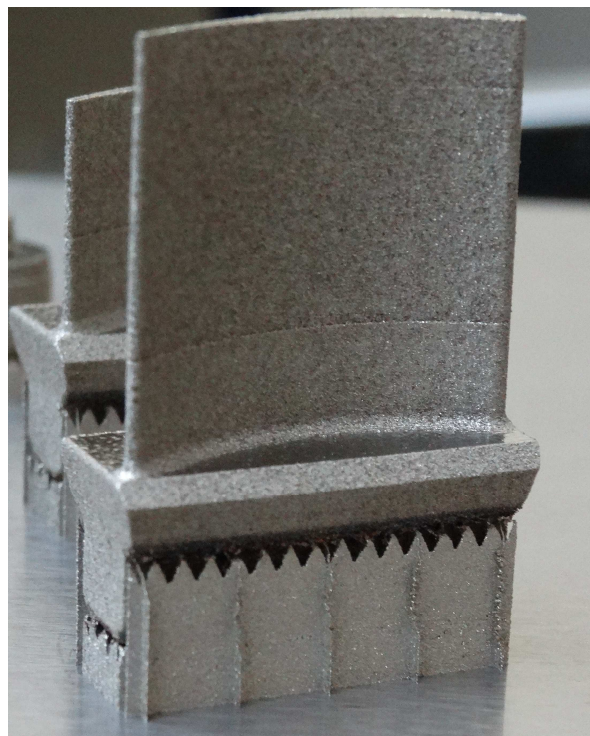
- FullCure 720 – do wykonywania modeli o dużej dokładności i sztywności,
- Vero – do wykonywania precyzyjnych i wytrzymałych modeli odpornych na działanie wilgoci,
- Tango – do wykonywania elastycznych modeli o właściwościach elastycznych zbliżonych do gumy,
- DurusWhite – do wykonywania elastycznych i wytrzymałych modeli o właściwościach zbliżonych do polipropylenu.

Przykłady aplikacji metod RM w przemyśle lotniczym

Można zaobserwować coraz większe zastosowanie metod Rapid Manufacturing w obszarze przemysłu lotniczego do wytwarzania różnych elementów samolotów i lotniczych układów napędowych. Rysunek 4 przedstawia koło zębate wykonane ze stali GP1 metodą DMLS z zastosowaniem urządzenia EOSINT M270. Szczególnym zainteresowaniem spośród metod Rapid Prototyping cieszą się technologie SLS/DMLS i SML, które pozwalają na wytwarzania wyrobów w procesie przyrostowym z proszków metali. Dla przykładu wytwarza się elementy konstrukcyjne samolotu z tytanu, np. zawiasy drzwi jak również łopatki części gorącej silników lotniczych ze stopów żarowytrzymałych (rys. 5).



Rys. 4. Koła zębate wykonane metodą DMLS – EOSINTM270

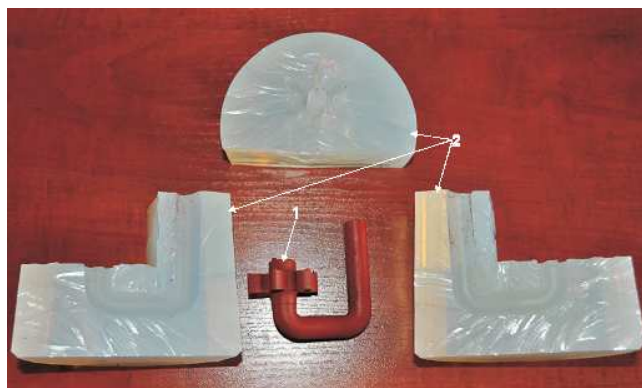


Rys. 5. Łopatkę silnika lotniczego wykonaną metodą DMLS

W obszarze systemów Rapid Manufacturing pozwalających na wytwarzanie wyrobów z materiałów polimerowych można znaleźć wiele zastosowań w przemyśle lotniczym. Dla przykładu w budowie samolotu stosuje się coraz więcej materiałów polimerowych o zmniejszonej palności lub materiałów samogasnących. Przykładem mogą tu być materiały stosowane w technologiach przyrostowych np. ULTEM 9085 dla technologii FDM (rys. 6) oraz materiały do przetwarzania w silikonowych formach odlewniczych, nanokompozyty oparte na żywicach epoksydowych (rys. 7).



Rys. 6. Modele kół przekładni lotniczej wykonane metodą FDM



Rys. 7. Koło zębate z nanokompozytu (1) z formą silikonową (2)

Podsumowanie

Technologie Rapid Manufacturing mogą być z powodzeniem stosowane do wytwarzania prototypów stosowanych w przemyśle lotniczym zarówno na etapie badawczym jak też jako pełnowartościowe wyroby do bezpośredniego montażu. Prototypy tego typu w zależności właściwości materiałów mogą stanowić elementy kadłubów czy wyposażenia wnętrza ale również mogą być używane do wytwarzania elementów lotniczych układów napędowych w tym części gorącej silników lotniczych.

Analizując systemy i procesy Rapid Manufacturing należy stwierdzić, że wytwarzanie gotowych wyrobów wymaga zastosowania dodatkowych procesów technologicznych opartych o procesy ubytkowe w tym obróbkę skrawaniem. Procesy te używane są nie tylko jako element postprocesingu dla szybkiego prototypowania ale również jako sposób do uzyskania zakładanych przez konstruktora parametrów struktury geometrycznej powierzchni.

LITERATURA

1. Budzik G. „*Dokładność geometryczna łopatek turbin silników lotniczych*”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2013.
2. Budzik G. „*Odzworowanie powierzchni krzywoliniowej łopatek części gorącej silników lotniczych w procesie szybkiego prototypowania*”. Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2009
3. Budzik G. „*Prototype tools for machining the elements of the instrumental optics*”. *Archives of Mechanical Technology and Automation*, 27, 2, (2007)
4. Budzik G. „Szybkie wytwarzanie prototypów z tytanu”. *Stal Metale & Nowe Technologie*, nr 7-8 (2011).
5. Budzik G., Kozik B., Pacana J., Żmuda B. „Modelling and prototyping of aeronautical planetary gear demonstrator”. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, Vol. 17, No 3 (2010).
6. Ceder M., Budzik G., Zboński M. „Technologie wytwarzania przyrostowego w praktyce”. *MECHANIK*, z. 8-9 (2013).
7. Liou W. „*Rapid Prototyping and engineering applications – a toolbox for prototype development*”. Taylor & Francis Group, 2008.
8. Sobolak M., Budzik G. „*Prototypowanie kół zębatych z wykorzystaniem stereolitografii i odlewania próżniowego*”. Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, 217, Koła Zębate 2004, Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2004.