

Grzegorz BUDZIK

Politechnika Rzeszowska, Rzeszów

Wiesław BUDZIK

WB-GRAF Rzeszów

Mariusz CYGNAR

Karina JANISZ

Instytut Techniczny Państwowa Wyższa Szkoła Zawodowa, Nowy Sącz

MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA W PROCESIE PROJEKTOWANIA I WYTWARZANIA ELEMENTÓW POJAZDÓW SAMOCHODOWYCH

Słowa kluczowe

Szybkie prototypowanie – RP, komputerowe wspomaganie projektowania – CAD, szybkie wytwarzanie narzędzi – RT.

Streszczenie

Artykuł przedstawia możliwości zastosowania szybkiego prototypowania w procesie projektowania i wytwarzania pojazdów samochodowych. Prototypy przedstawione w artykule zostały wykonane metodą trójwymiarowego druku (*Three Dimensional Printing* – 3DP). W pierwszej części artykułu zostały opisane zasady wytwarzania prototypów z wykorzystaniem przyrostowych metod szybkiego prototypowania (*Rapid Prototyping* – RP). Przedstawione zostały również możliwości metod RP oraz ich miejsce w procesie technologicznym wytwarzania elementów pojazdów samochodowych – elementów silnika, elementów układu napędowego i nadwozia. Opisany został proces przygotowania budowy prototypów techniką 3DP, począwszy od etapu projektowania poprzez obróbkę programową danych, skończywszy na budowie prototypu fizycznego. Przedstawiona została również możliwość wykorzystania metody 3DP jako

techniki szybkiego wytwarzania narzędzi (*Rapid Tooling* – RT). Przedstawiona w artykule analiza możliwości wykorzystania systemów RP w przemyśle samochodowym oraz dynamiczny rozwój tych systemów pokazuje, że obszar zastosowań szybkiego prototypowania w dziedzinie motoryzacji stale się powiększa. Techniki RP pozwalają również na skrócenie procesu projektowania i wytwarzania elementów pojazdów samochodowych.

1. Wprowadzenie

Prowadzenie prac projektowych oraz przygotowanie produkcji nowoczesnych pojazdów samochodowych jest w chwili obecnej w większości przypadków oparte na komputerowych narzędziach systemowych. Podstawowymi narzędziami wspomagającymi pracę inżyniera konstruktora są systemy komputerowego wspomaganie projektowania CAD, systemy komputerowo wspomaganie analizy CAE, systemy komputerowego wspomaganie wytwarzania CAM, jak również systemy szybkiego wytwarzania prototypów RP [8]. Systemy szybkiego wytwarzania prototypów pozwalają na wytworzenie trójwymiarowych modeli fizycznych na podstawie trójwymiarowego modelu 3D-CAD. Połączenie możliwości systemów CAD/CAM/CAE/RP pozwalają na znaczne przyspieszenie prac projektowych i wdrożeniowych. Analizując systemy RP, należy stwierdzić, że określenie szybkie prototypowanie (ang. *Rapid Prototyping* – RP) w ogólnym znaczeniu w polskiej terminologii oznacza szybkie wytwarzanie prototypów. W terminologii anglojęzycznej określenie *Rapid Prototyping* jest najczęściej używane w stosunku do przyrostowych metod wytwarzania prototypów. Systemy tego typu są coraz częściej wykorzystywane w procesie projektowania i wytwarzania elementów pojazdów samochodowych.

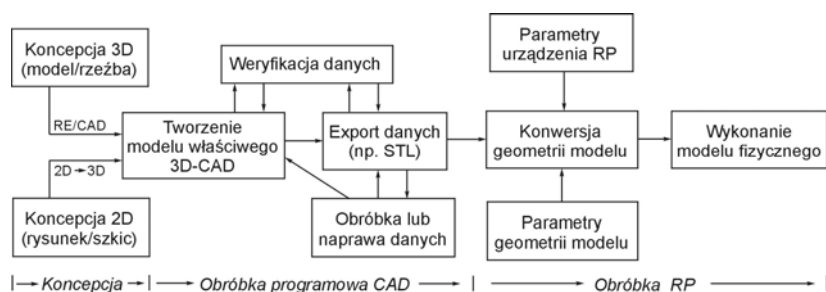
W artykule przedstawione są możliwości wykonywania elementów pojazdów takich, jak: części silników, elementy napędów oraz nadwozi – przekalowanych modeli koncepcyjnych pojazdów przeznaczonych do wizualizacji i badań na zasadzie podobieństwa modelowego [1]. Przykładowe modele CAD prototypowanych przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Modele CAD przeznaczone do wykonania prototypów fizycznych: a) model koncepcyjny samochodu sportowego, b) model koncepcyjny ciężarówki, c) model wirnika turbosprężarki, d) model koła zębatego

2. Przyrostowe systemy szybkiego prototypowania

Proces budowy prototypu fizycznego za pomocą przyrostowych technik szybkiego prototypowania polega na tworzeniu modeli fizycznych na podstawie geometrycznego modelu trójwymiarowego, zapisanego za pomocą systemów CAD. Wykorzystywane są głównie procesy kształtowania modelu przez przyrost materiału, polegające jego stopniowym dodawaniu aż do momentu uzyskania wymaganego kształtu. Pierwszym etapem w tym procesie jest zdefiniowanie elementu jako wygenerowanego przez komputer trójwymiarowego modelu CAD-3D. Uzyskany obraz jest następnie przetwarzany w specyficzną postać zbioru danych za pomocą różnych formatów wymiany danych między systemami CAD/RP. Schemat procesu szybkiego wytwarzania prototypów przedstawia rysunek 2.



Rys. 2. Schemat procesu szybkiego prototypowania

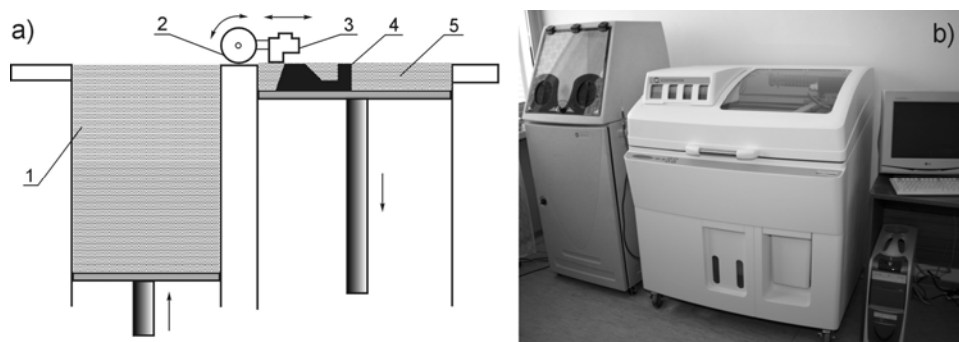
Większość dostępnych metod szybkiego prototypowania działa na zasadzie dzielenia modelu na warstwy poziome, z których w odpowiedniej kolejności budowany jest prototyp fizyczny. Przyrostowe kształtowanie przedmiotów w ten sposób staje się wysoce efektywne w przypadku produkcji jednostkowej czy realizowanej w niewielkich seriach [2, 11]. W ostatnich latach zostało opracowanych kilkadziesiąt przyrostowych metod szybkiego prototypowania, jednak ze względu na koszty urządzeń i materiałów eksploatacyjnych na szeroką skalę wykorzystywanych jest tylko kilka systemów RP takich, jak: stereolitografia (SLA), warstwowe nakładanie i utwardzanie fotopolimeru (PolyJet), modelowanie ciekłym tworzywem (FDM), selektywne spiekanie proszków laserem (SLS), trójwymiarowe drukowanie (3DP) [3].

Procesy przyrostowe mają przewagę nad konwencjonalnymi procesami formowania, jak też pewną przewagę w stosunku do konwencjonalnych procesów ubytkowego kształtowania przedmiotów wymagających narzędzi skrawających. Kolejną przesłanką rozwoju systemów RP jest łatwość automatyzacji procesu przyrostowego kształtowania przedmiotów. Są one tworzone pod kątem bezpośredniej integracji z komputerowo wspomaganym konstruowaniem CAD,

co nie zachodzi w odniesieniu do konwencjonalnych sposobów wytwarzania, które zostały opracowane przed pojawieniem się komputerów. W przypadku niekonwencjonalnych sposobów ubytkowego kształtowania przedmiotów także można korzystać z techniki komputerowej (CAD/CAM), jednak skala uzyskiwanych korzyści z integracji nie jest na ogół tej miary, co przy sposobach przyrostowego kształtowania przedmiotów [7].

3. Trójwymiarowy druk jako uniwersalna metoda szybkiego prototypowania

Technika druku trójwymiarowego (ang. *Three Dimensional Printing* – 3DP) polega na warstwowym łączeniu sproszkowanego materiału za pomocą spoiwa, nanoszonego przez głowicę drukującą [5]. Proces drukowania rozpoczyna się naniesieniem warstwy proszku ze zbiornika uzupełniającego. Zmierzona ilość proszku jest dozowana za pomocą układu przesuwającego tłok w cylindrze urządzenia, a następnie rozprowadzana za pomocą walca na powierzchni platformy roboczej. Na przygotowaną warstwę proszku jest наносzone spoiwo, zgodnie z założonym przekrojem poprzecznym bryły. Spoiwo wiąże sproszkowany materiał i w ten sposób powstaje warstwa modelu, po czym platforma robocza obniża się o grubość warstwy i cykl zostaje powtórzony. Niezwiązany proszek służy do podpierania tworzonego modelu. Po wykonaniu wszystkich warstw następuje podniesienie platformy z modelem i usunięcie niezwiązanego proszku. Schemat metody 3DP oraz widok drukarki Z510 Spectrum przedstawia rysunek 3.



Rys. 3. Drukarka 3D: a) schemat działania: 1 – zasobnik z proszkiem, 2 – walec wyrównujący proszek, 3 – głowica drukująca, 4 – wykonywany model, 5 – przestrzeń robocza, b) drukarka Z510 Spectrum

Otrzymane modele są nasączone substancjami, powodującymi zwiększenie ich wytrzymałości mechanicznej lub elastyczności. Materiałami stosowanymi

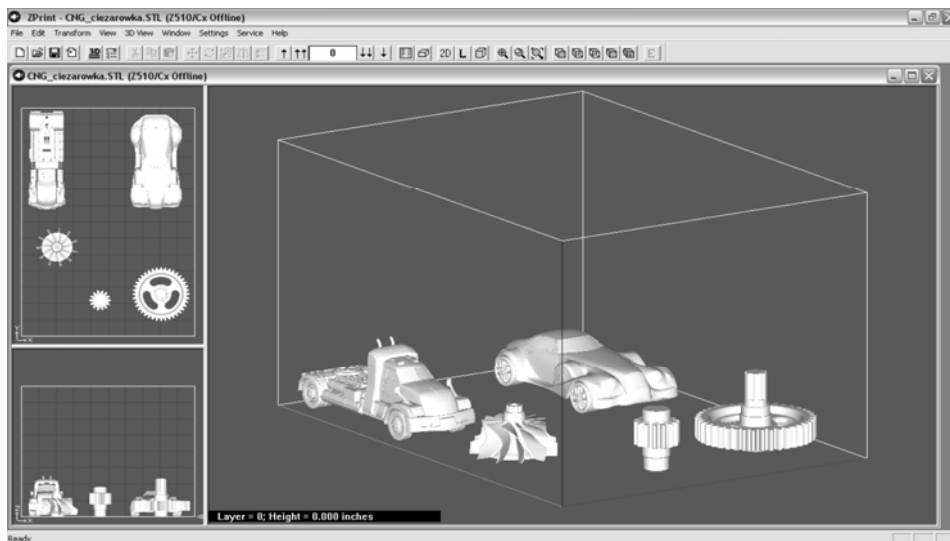
do drukowania przestrzennego mogą być proszki metali i proszki ceramiczne oraz kompozytowe (metalowo-ceramiczne) zawierające krzemionkę koloidalną lub spoiwo polimerowe [6]. Wykorzystanie drukowania przestrzennego do tworzenia prototypów elementów maszyn jest coraz większe z uwagi na niski koszt materiału oraz krótki czas realizacji procesu. Grubość układanych warstw np. dla drukarki Z510 Spectrum można ustawić na wartość 0,0875 lub 0,1 mm. Szybkość nakładania warstw dla drukarki 3D jest zależna od kształtu warstwy i zawiera się w granicach 2÷4 warstw na minutę. Niektóre urządzenia umożliwiają drukowanie przestrzenne w 24-bitowej palecie kolorów (np. Z510). Dzięki temu możliwe jest odwzorowanie pokryć malarskich lub odtworzenie wyglądu obiektów, wykonanych z kilku różnych materiałów [10, 14].

3.1. Przygotowanie danych dla procesu 3DP

Przygotowania danych ma duży wpływ na dokładność modelu otrzymanego w procesie szybkiego prototypowania. Parametry eksportowanych danych z systemów CAD powinny umożliwiać wykonanie modelu fizycznego z najwyższą dokładnością, jaką dysponuje urządzenie RP. W większości przypadków konstruktor może określić parametry możliwości programu CAD eksportu pliku STL (np. tolerancję powierzchniową, kątową, współczynnik proporcji, odstęp między wierzchołkami trójkątów). Niektóre programy pozwalają na założenie długości boku trójkąta dla formatu STL lub odchyłkę cięciwy [4, 13]. W przypadku danych z procesu skanowania 3D to obróbka programowa jest zależna od ich formatu zapisu i dokładności [11]. Dokładne pliki zapisane po skanowaniu w formacie STL mogą być bezpośrednio użyte do wykonania modelu fizycznego. Czas otrzymania danych wyjściowych z procesu RE jest zależny od stopnia złożoności elementu, przeznaczenia elementu, zakładanych dokładności wyjściowych i parametrów pliku zeskanowanego obiektu (dokładność, szumy, format zapisu).

W początkowej fazie procesu RP do uzyskania modelu wirtualnego stosowane są różne metody akwizycji i obróbki danych. Dane z różnych źródeł spotykają się w momencie ich przetwarzania na język urządzeń RP. Na końcowym etapie budowa modelu jest już zależna tylko od zastosowanej metody szybkiego prototypowania [9].

Trójwymiarowe drukarki firmy ZCorporation w końcowej fazie wytwarzania wykorzystują oprogramowanie typu ZEdit i ZPrint [12, 15]. Program ZEdit służy do edycji i drobnych modyfikacji plików STL oraz do nadawania kolorów i tekstur drukowanych prototypów. Program służy do przygotowania danych bezpośrednio przed wydrukiem. Po uruchomieniu programu pojawia się okno, w którym przedstawione są główne wymiary otwieranego modelu. Następnie należy wprowadzić jednostki i rodzaj proszku, z którego będzie budowany model. Po zakończeniu tych czynności pojawia się wirtualna przestrzeń robocza aktualnie używanej drukarki 3D (rys. 4).



Rys. 4. Okno widokowe programu ZPrint z otwartymi modelami kół zębatach, wirnika turbosprężarki, samochodu ciężarowego i osobowego

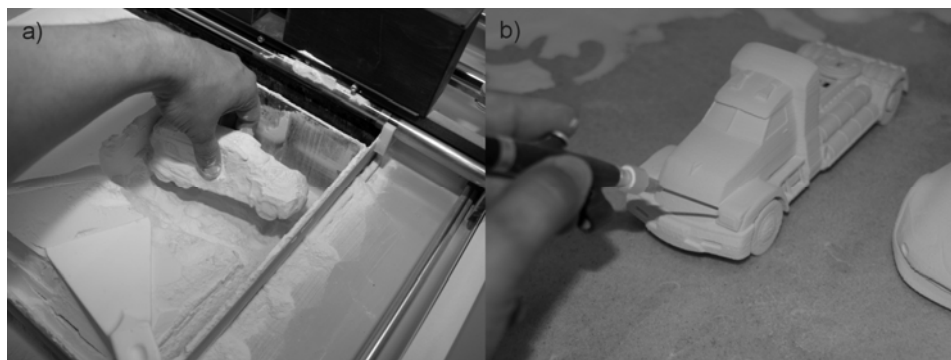
Technologia druku trójwymiarowego umożliwia również wykonywanie prototypów znajdujących się jeden nad drugim, co pozwala na optymalne wykorzystanie przestrzeni roboczej urządzenia bez utraty jakości wykonywanych modeli [4].

3.2. Wykonywanie prototypów fizycznych

Kolejnym etapem procesu technologicznego tworzenia wydruków trójwymiarowych jest przesłanie danych do drukarki i wydruk prototypu. Po zakończeniu procesu wydruku wykonany model należy wyjąć z komory roboczej urządzenia drukującego i wstępnie oczyścić z proszku (rys. 5a).

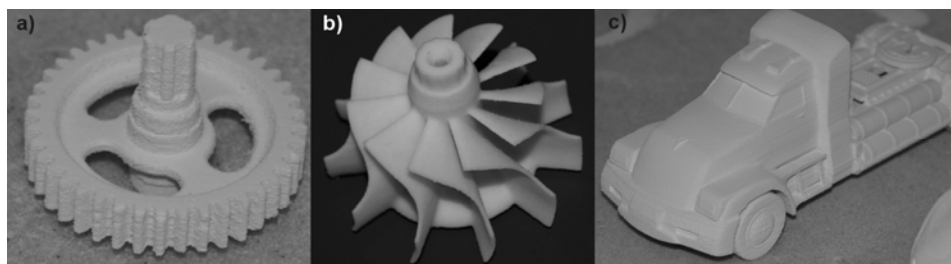
Wstępnie wyczyszczony model należy wyciągnąć z przestrzeni roboczej drukarki i poddać dokładnemu oczyszczeniu sprężonym powietrzem w zamkniętej komorze czyszczącej (rys. 5b). Komora połączona jest z odkurzaczem. Proszek wciągnięty przez odkurzacza po przesianiu przez sito może być ponownie wykorzystany do budowy modelu.

Wydrukowany model jest kruchy i posiada niską wytrzymałość mechaniczną, dlatego kolejną operacją jest impregnacja modelu materiałem infiltrowalnym. Do tego celu wykorzystywane są takie materiały jak wosk, żywice akrylowe i żywice epoksydowe. Nasycenie modelu wykonywane jest poprzez zanurzenie, malowanie pędzlem lub pokrycie natryskowe pistoletem.



Rys. 5. Czyszczenie modelu: a) wstępne – podczas wyciągania z komory maszyny, b) ostateczne – sprężonym powietrzem w komorze czyszczącej

Modele kół zębatach, wirnika turbosprężarki i samochodu (rys. 6) wykonane zostały z proszku ZP131 i w zależności od dalszego przeznaczenia infiltrowane woskiem lub żywicą.



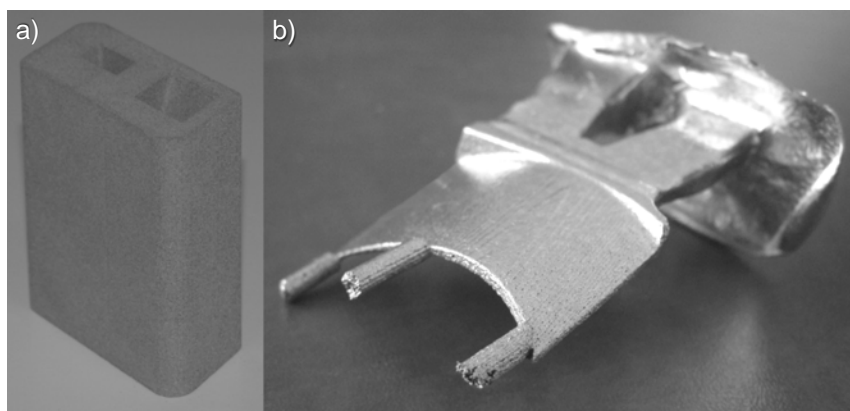
Rys. 6. Modele 3DP: a) koła zębatego, b) wirnika turbosprężarki, c) koncepcyjnej ciężarówki

W metodzie 3DP można stosować proszki imitujące różne materiały. Jednokolorowe modele wytworzone techniką 3DP mogą być poddane dalszej obróbce i docelowo malowane, przez co uzyskuje się zamierzony efekt wizualny przy jednoczesnym dokładnym odzwierciedleniu geometrii przestrzennej modelu. Modele obrobione i pomalowane (np. koncepcyjne modele pojazdów) mogą być wykorzystywane do prezentacji nowych rozwiązań nadwozi pojazdów lub do badań nadwozi w tunelu aerodynamicznym przy zachowaniu odpowiednich wskaźników podobieństwa modelowego.

3.3. Trójwymiarowy druk jako metoda Rapid Tooling

Trójwymiarowy druk może być wykorzystywany jako technika Rapid Tooling, tzn. technika szybkiego wytwarzania narzędzi. W przypadku technologii ZCast metod 3DP może służyć do wykonywania form odlewniczych. W zależno-

ści od metody model ten zostaje odbity w masie formierskiej lub usunięty z formy skorupowej [2]. System druku trójwymiarowego pozwala na wytworzenie form odlewniczych jako całości lub z dowolną płaszczyzną podziału. W celu zmniejszenia ilości materiału proszkowego użytego w druku 3D formę można wykonać jako skorupową. W takim przypadku grubość ścianki powinna wynosić ok. 12 mm. Formę skorupową w razie potrzeby przed odlewaniem można uzupełnić na zewnątrz tradycyjnym materiałem formierskim. Technologię ZCast można stosować również do wykonywania rdzeni odlewniczych [3]. Podstawowym materiałem do druku form odlewniczych jest proszek ZCast 501. Proszek ten jest mieszanką tradycyjnej masy formierskiej i gipsu oraz składników uzupełniających. Forma wykonana w technologii ZCast umożliwia odlewanie stopów cynku, magnezu, aluminium o maksymalnej temperaturze zalewania 1100°C [3, 6]. Formę oraz wykonany w niej odlew łopatki przedstawia rysunek 7.



Rys. 7. Forma odlewnicza wykonana techniką ZCast (a) oraz odlany prototyp łopatki (b)

W omawianym przypadku forma została zalana stopem aluminium. Rysunek 7b przedstawia odlewy wykonane ze stopów aluminium. Odlew został wykonany w odlewni AMET Gorlice [3].

4. Podsumowanie

Trójwymiarowy druk jest uniwersalnym systemem szybkiego prototypowania, który może być z powodzeniem wykorzystywany do wytwarzania prototypów różnych elementów pojazdów samochodowych, a także całych modeli pojazdów w odpowiedniej skali. Za pomocą tej technologii możliwe jest wykonanie prototypów wizualnych i funkcjonalnych w kolorze materiału wyjściowego, w dowolnym kolorze uzyskanym w wyniku mieszania podstawowych barwników (np. różnobarwne tekstury). Dzięki temu bardzo szybko powstaje gotowy

model z nałożoną kolorową teksturą. Możliwość wykonania dowolnej kolorystyki jest szczególnie istotna w przypadku prac projektowych nad koncepcjami nowych pojazdów. Dokładność metody trójwymiarowego druku pozwala z powodzeniem stosować ją do wykonywania prototypów kół zębatach przekładni układów napędowych pojazdów samochodowych oraz przekładni stosowanych do przeniesienia napędu w wybranych podzespołach pojazdu. Możliwe jest również zastosowanie techniki 3DP do wytwarzania prototypów bazowych do wykonywania odlewów elementów silnika, np. wirników turbosprężarek.

Technologia trójwymiarowego druku może być wykorzystana jako technika Rapid Tooling do wykonania form odlewniczych, co pozwala na znaczne przyspieszenie prac nad prototypowymi odlewami. W tym przypadku stosowany jest wydruk ze specjalnego formierskiego proszku w technologii ZCast. W celu obniżenia kosztów wydruku można wykonać formę skorupową i uzupełnić ją tańszym materiałem formierskim. Trójwymiarowy druk umożliwia symulację różnych materiałów konstrukcyjnych, w tym tworzyw sztucznych (m.in. o właściwościach elastycznych). Metoda ta podlega ciągłemu rozwojowi zarówno pod względem zastosowania nowych materiałów na proszki, jak również innowacyjnych tworzyw do infiltracji wydrukowanych modeli.

5. Bibliografia

1. Budzik G.: Possibilities of utilizing 3DP technology for foundry mould making, Archives of Foundry Engineering, Volume 7, Issue 2/2007, Gliwice 2007.
2. Budzik G.: Properties of made by different methods of RP impeller foundry patterns, Archives of Foundry Engineering, Volume 7, Issue 2/2007, Gliwice 2007.
3. Budzik G., Patrzalek M., Pysz S., Karwiński A.: Konstrukcja prototypowych form odlewniczych w systemie ZPrint, XXIII Sympozjon Podstaw Konstrukcji Maszyn, Politechnika Rzeszowska, Rzeszów 2007.
4. Budzik G., Sobolak M., Generating Stereolithographic (STL) files from CAD systems. Acta Mechanica Slovaca, 2B/2006 PRO-TECH-MA, Košice 2006, s. 73–78.
5. Cabaj P.: Zastosowanie techniki wydruku 3D w odlewaniu precyzyjnym, Design News VII/VIII 2006.
6. Car Technology: Tworzenie form dla prototypowych odlewów za pomocą metody ZCast, Przegląd Odlewnictwa 7–8/2006.
7. Choi H., Samavedam S.: Modeling and optimization of Rapid Prototyping. Computers in industry No 47/2002, Elsevier.
8. Gebhardt A.: Rapid Prototyping, Carl Hanser Verlag, Munich 2003.
9. Jun C., Kim D., Kim D., Lee H., Hwang J., Chang T.: Surface slicing algorithm based on topology transition, Computer Aided Design 33 (2001), Elsevier, s. 825–838.

10. Jee H.J., Sachs E.: A visual simulation technique for 3D printing, *Advances in Engineering Software* 31 (2000), Elsevier, s. 97–106.
11. Lee K., Woo H.: Direct integration of reverse engineering and rapid prototyping, *Computers & Industrial Engineering* 38 (2000), Elsevier, s. 21–38.
12. Spectrum Z510/Designmate™ CX 3D Printer, User Manual Rev X, Z Corporation 2006.
13. Stroud I., Xirouchakis P.C.: STL and extensions, *Advances in Engineering Software* 31 (2000), Elsevier, s. 83–95.
14. ZEdit™ User Manual Version 2.32, Z Corporation 2007.
15. ZPrint Software Manual Version 7.5.27, Z Corporation 2007.

Recenzent:
Mariusz SOBOLAK

The possibilities of application of rapid prototyping in process of designing and manufacturing of elements of car vehicles

Keywords

rapid prototyping, aircraft engines, blade of impellers, mono- crystallization.

Summary

The article presents the possibilities of application of rapid prototyping (RP) in process of designing and manufacturing of car vehicles. The presented prototypes in article were created by method of three-dimensional printing (Three Dimensional Printing – 3DP). The principles of manufacturing of prototypes with application of additive methods of rapid prototyping (Rapid Prototyping – RP) were described in the first part of article. Possibilities of methods RP and also their place in technological process of manufacturing of elements of car vehicles i.e. elements of engine, elements of the driving system and car body also were presented. Process of preparation of building of prototypes by means of technique 3DP was described to begin with stage of designing and across the program processing of data and to finish on building of physical prototype. Possibility of application of method 3DP as technique of rapid manufacturing of tools (Rapid Tooling – RT) also was presented.

Presented in article analysis of possibilities of application systems RP in car industry and dynamic development of these systems shows, that the area of applications of rapid prototyping in the range of the motorization still increases. Techniques RP also enable on shortening of process of designing and manufacturing of elements of car vehicles.