

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



Organizatorzy:



CENTRUM NAUKOWO TECHNICZNE

KLASTER SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA
RAPIDROM

Badania modelowe dźwigni układu sterowania śmigłowca

Model testing of the helicopter control system lever

JACEK BERNACZEK
 GRZEGORZ BUDZIK
 TOMASZ KUDASIK
 ROMANA ŚLIWA*

DOI:10.17814/mechanik.2015.12.547

Artykuł prezentuje badania dźwigni układu sterowania śmigłowca. Dokonano doboru techniki szybkiego prototypowania. Przygotowano dane dla procesu RP i wytworzono prototyp dźwigni. Prototyp JS wykorzystano do wykonania modelu do analizy rozkładu naprężeń. Opracowano technologię elastoptycznej analizy w oparciu o światło odbite. Przeprowadzone badania modelowe potwierdziły właściwą konstrukcję dźwigni.

SŁOWA KLUCZOWE: szybkie prototypowanie, badania modelowe, elastoptyka, analiza rozkładu naprężeń, dźwignia układu sterowania śmigłowca

This article presents research of the helicopter control system lever. Selection of the rapid prototyping technique was performed. Data for the process of RP had to be prepared and a prototype was manufactured. The JS prototype was then used to prepare the model for stress distribution analysis. Additionally, a technology for photoelastic analysis based on reflected light was developed. The study confirmed the correct lever construction.

KEYWORDS: rapid prototyping, model testing, photoelastic analysis, stress distribution analysis, helicopter control system lever

Wprowadzenie

Techniki szybkiego prototypowania (ang. Rapid Prototyping – RP) wspomagają procesy przemysłowe w ich początkowej fazie tj. projektowania i wdrażania do produkcji nowych elementów konstrukcji maszyn. Zastosowanie systemów RP jest szczególnie istotne w procesie wytwarzania części, dla których jest utrudnione lub wręcz

niemożliwe wykorzystanie tradycyjnych technologii, metod i narzędzi [1,7,9,10]. Wytwarzanie prototypów metodami RP związane jest z opracowaniem danych numerycznych CAD/STL/RP [9,10,14]. Poszczególne etapy obróbki danych realizowane są przez systemy CAD (ang. Computer Aided Design) oraz programy narzędziowe RP. Konstrukcja modelu przeprowadzona zostaje w oparciu o algorytmy programów CAD. Kolejnym etapem jest eksport do postaci STL [7,8] (ang. Standard Triangulation Language) oraz późniejsza analiza powierzchni po teselacji (podgląd wygenerowanej siatki trójkątów opisujących model).

Proces przygotowania danych w dedykowanym dla danej metody RP programie narzędziowym jest kluczowym etapem dla poprawnego wykonania prototypów np. dźwigni układu sterowania śmigłowca [3–6]. Właściwe położenie modeli na platformach roboczych, edycja wygenerowanych automatycznie podpór oraz weryfikacja plików wyjściowych (analiza symulacji nakładania kolejnych warstw) pozwala zminimalizować ryzyko uszkodzenia prototypów podczas samego procesu wytworzenia jak również późniejszej obróbki wykańczającej [3–6,11]. Dzięki modelom fizycznym RP można zweryfikować konstrukcje części pod kątem zastosowania materiału docelowego oraz określić technologię jego kształtowania i późniejszej obróbki [3–6,12,13,18].

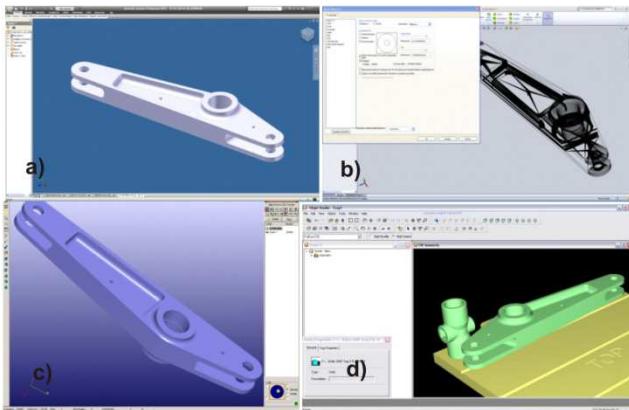
Na przykładzie dźwigni układu sterowania śmigłowca przedstawiono proces wydruku z wykorzystaniem fotopolimeru – JS (ang. Jetting Systems). Prototyp JS wykorzystano do przeprowadzenia badań modelowych. Na powierzchni modelu dźwigni wytworzono powłokę optycznie czynną, która umożliwiła rejestrację izochrom podczas badań stanowiskowych – przeprowadzono elastoptyczną analizę rozkładu naprężeń z wykorzystaniem metody światła odbitego. Wyniki badań modelowych umożliwiają modyfikację konstrukcji części oraz wspierają opracowanie technologii wytwarzania dźwigni z materiału docelowego – stopu magnezu w procesie kształtowania plastycznego - kucia matrycowego.

* dr inż. Jacek Bernaczek (jacek.bernaczek@prz.edu.pl), prof. dr hab. inż. Grzegorz Budzik (gbudzik@prz.edu.pl), dr inż. Tomasz Kudasik (tkudasik@prz.edu.pl), prof. dr hab. inż. Romana Śliwa (rsliva@prz.edu.pl)

Szybkie prototypowanie dźwigni

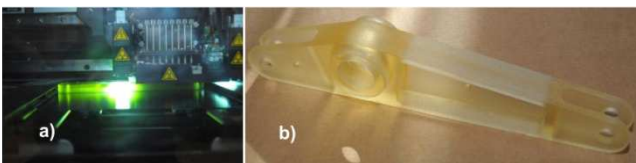
Dane numeryczne CAD/STL/RP dla procesu JS dźwigni układu sterowania śmigłowca zostały opracowane z wykorzystaniem oprogramowania Solid Works (dane CAD/STL) oraz Objet Studio – dane RP (właściwe ustawienie modelu w obszarze roboczym aparatury, określenie trybu pracy, rodzajów materiału modelowego i podporowego, podział na poszczególne warstwy). Przygotowanie danych przedstawiono na Rys. 1.

Technika JS wybrana do wytworzenia prototypu dźwigni polega na warstwowym druku ciekłym fotopolimerem. Kolejne warstwy żywicy (fotopolimeru) o grubości 16 μm nakładane są przez zespół ośmiu głowic piezoelektrycznych a następnie utwardzane za pomocą światła UV (właściwa polimeryzacja następuje pod wpływem fali o długości 370 nm) emitowanego z lampy zintegrowanej z blokiem drukującym. Żywica modelowa i podporowa nakładane są równocześnie przez niezależne głowice (po cztery na każdy materiał).



Rys. 1. Opracowanie danych do procesu RP: a) model bryłowy CAD dźwigni, b) eksport do formatu STL, c) weryfikacja pliku *.stl, d) przygotowanie danych dla maszyny - oprogramowanie Objet Studio

Proces JS dla dźwigni układu sterowania śmigłowca został zakończony po upływie 4 godz. 40 min. Przebieg procesu oraz gotowy model dźwigni przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Proces JS dla dźwigni: a) nakładanie i polimeryzacja kolejnych warstw, b) prototyp JS dźwigni układu sterowania śmigłowca

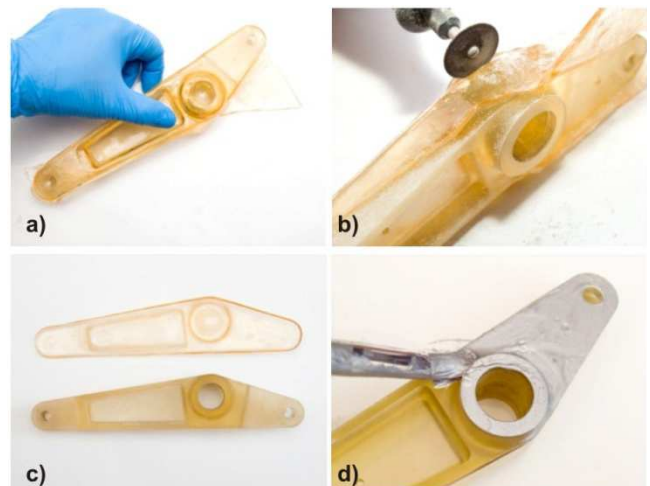
Po zakończeniu procesu model dźwigni wraz ze strukturą podporującą zostaje usunięty z platformy, a następnie podpory są wyplukiwane podgrzaną wodą o wysokim ciśnieniu.

Wykonanie modelu do analizy elastooptycznej

Metodą pozwalającą na weryfikację rozkładów naprężeń w konstrukcjach przestrzennych jest elastooptyka [2,15–17]. Metoda ta opiera się na zjawisku dwójłomności wymuszonej, które występuje w niektórych materiałach przezroczystych pod działaniem obciążeń. Zjawisko to polega na tym, że promień padający na powierzchnię obciążonej żywicy elastooptycznej ulega rozszczepieniu na dwa różnie załamujące się promienie. Promienie te po opuszczeniu materiału są względem siebie przesunięte

w fazie z powodu występowania różnicy prędkości obu promieni w obszarze ośrodka dwójłomnego. To przesunięcie względne jest proporcjonalne do różnicy naprężeń głównych.

Istotnym zagadnieniem w procesie wytworzenia modelu do badań jest właściwe przygotowanie i nałożenie powłoki optycznie czynnej. W pierwszej kolejności należy poddać analizie model, na który nakładane będą powłoki. Decydujące znaczenie ma zarówno kształt modelu, jak i jego wymiary. Od tych elementów zależy bowiem z ilu części będzie składać się powłoka elastooptyczna i jak będą przebiegać linie podziału między nimi. Ważnym elementem jest określenie grubości powłoki elastooptycznej - zbyt gruba powoduje usztywnienie modelu a zbyt cienka utrudni zaobserwowanie efektu elastooptycznego. Czyste i odpowiednio przygotowane powłoki osadza się na powierzchni modelu JS z użyciem kleju odbłaskowego PC-1 z dodatkiem pyłu aluminiowego. Klej zapewnia uzyskanie pod powłoką warstwy odbłaskowej, umożliwiającej odbicie padającego światła spolaryzowanego. Proces wytworzenia powłoki na powierzchni badanej dźwigni przedstawiono na rys. 3.

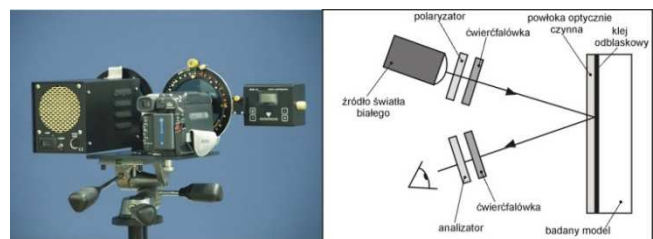


Rys. 3. Wykonanie powłoki elastooptycznej: a) formowanie powłoki na modelu dźwigni, b) obróbka powłoki, c) powłoka po zdjęciu z modelu JS, d) nakładanie kleju

Po utwardzeniu kleju model można poddać badaniom stanowiskowym.

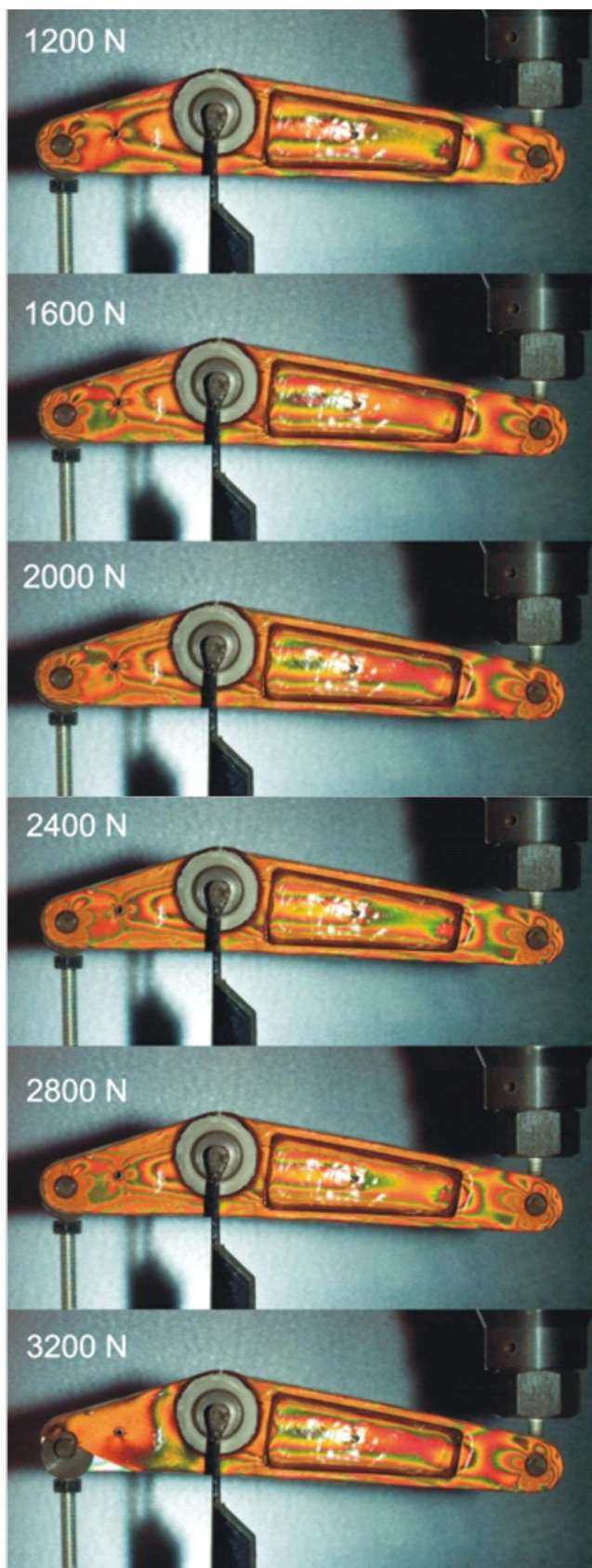
Analiza rozkładu naprężeń w dźwigni

Elastooptyczną analizę naprężeń w badanych częściach lotniczych przeprowadzono z wykorzystaniem polaryskopu Vishay – Rys. 4.



Rys. 4. Polaryskop firmy Vishay na światło odbite oraz schemat badania modelu

Wyniki analizy rozkładu naprężeń w dźwigni układu sterowania śmigłowca przedstawiono na Rys. 5.



Rys. 5. Rozkład naprężeń w dźwigni układu sterowania śmigłowca (model JS) – obciążenie siłą pionową w zakresie 1200 – 3200 N na krótkim ramieniu dźwigni

Obciążenie przyłożone było na długim ramieniu dźwigni. Pomiar wartości przyłożonej siły był równocześnie wykonywany na krótkim ramieniu z wykorzystaniem tensometru. Stosunek długości ramion dźwigni wynosi 2:1. W wyniku przyłożonego obciążenia (3200 N) dźwignia uległa uszko-

dzeniu w obszarze sworznia na jej krótkim ramieniu. Miejsce uszkodzenia przedstawia Rys. 6.



Rys. 6. Obszar zniszczenia modelu JS dźwigni układu sterowania śmigłowca

Podsumowanie

Prototyp JS dźwigni układu sterowania śmigłowca umożliwia przeprowadzenie badań modelowych – elastooptycznej analizy rozkładu naprężeń metodą światła odbitego wykorzystując podobieństwo modelowe (współczynnik określany na podstawie stosunku modułów Younga) między obiektem rzeczywistym (ze stopu magnezu) a badanym (z fotopolimeru – żywicy optycznie czynnej wykorzystywanej w procesie JS).

Badania modelowe – oparte na analizie rozkładu naprężeń w prototypach JS części lotniczych – pozwalają na adekwatne opracowanie procesu kucia oraz poprawę właściwości odkówek. Znajomość właściwości materiału docelowego oraz rozkładu naprężeń w modelu JS pozwala m.in. na optymalne przygotowanie matrycy tj. określenie grubości ścianek w danej części, rozmieszczenia żeber i otworów technologicznych, jak również określenie parametrów procesu – temperatury wsadu, prędkości odkształcania.

Przeprowadzona elastooptyczna analiza rozkładu naprężeń w dźwigni układu sterowania śmigłowca wykonanej techniką JS pozwala na wyciągnięcie następujących wniosków:

- największy rozkład wyężenia w dźwigni układu sterowania śmigłowca wystąpił w okolicy trzpienia na krótszym ramieniu dźwigni - zaobserwowany rząd izochrom $m=8$.
- zniszczenie nastąpiło w obszarze największego wyężenia przy obciążeniu siłą równą 3200 N.
- poddając analizie porównawczej z modelem JS dźwigni można stwierdzić, że odkuwka ze stopu Mg ulegnie zniszczeniu pod wpływem obciążenia siłą około 50000N.

Badania realizowane w ramach Projektu "Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym", Nr POIG.01.01.02-00-015/08-00 w Programie Operacyjnym Innowacyjna Gospodarka (PO IG). Projekt współfinansowany przez Unię Europejską ze środków Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego.

LITERATURA

1. Ambroziak M. "Technologie szybkiego prototypowania i wytwarzania narzędzi", Poznań 2005.
2. Bąk R., Burczyński T. "Wytrzymałość materiałów z elementami ujęcia komputerowego". WNT, Warszawa 2001.
3. Bernaczek J., Śliwa R. "Rapid prototyping methods in evaluation of properties of plastically deformed magnesium alloy aircraft wheel hub", 4th International Lower Silesia – Saxony Conference on Advanced Metal Forming Processes in Automotive Industry AutoMet-Form, November 3rd – 5th 2014, p-p 191 – 195, Freiberg, Germany.

4. Bernaczek J., Budzik G., Śliwa R., Oleksy M. "Analysis of the properties of photopolymers used in RP processes for aircraft wheel hub", *7th International Conference Supply on the wings*, 6 – 9 November 2012 Frankfurt / Main – Germany.
5. Bernaczek J., Budzik G., Śliwa R. "Analysis of the properties of resins used in the processes – JS and SLA", *8th European Solid Mechanics Conference – ESMC 2012*, 9 – 13 July 2012, Graz, Austria.
6. Bernaczek J., Śliwa R. "Computational methods in the SLA and FDM techniques in the process of production of an aircraft wheel hub prototype", *Computer Methods in Materials Science Journal - Informatyka w Technologii Materiałów*, (2011) Vol. 1, No. 2, Wydawnictwo Naukowe Akapit, Kraków 2011.
7. Bubicz M. "Prototypowanie – wyzwanie XXI wieku. Cyfrowe czy jednak fizyczne", *Projektowanie i konstrukcje inżynierskie* (2007) nr 1(10).
8. Budzik G., Sobolak M. "Generating stereolithographic (STL) files from CAD systems", *Acta Mechanica Slovaca*, (2006) 2B/2006 PRO-TECHMA, p-p 73-78, Košice 2006.
9. Chlebus E. "*Techniki komputerowe CAx w inżynierii produkcji*", WNT, Warszawa 2000.
10. Chlebus E., Boratyński T., Dybala B., Frankiewicz M., Kolinka P. "*Innowacyjne technologie Rapid Prototyping – Rapid Tooling w rozwoju produktu*", OWPW, Wrocław 2005.
11. Fuh J.Y.H. et al. "Processing and characterising photo-sensitive polymer in the rapid prototyping process", *Journal of Materials Processing Technology*, (1999) 89-90, p-p. 211-217, Elsevier.
12. Gontarz A., Pater Z., Dziubińska A., Winiarski G., Drozdowski K. "Badania teoretyczno – doświadczalne procesu kucia matrycowego stopów magnezu", *Mechanik*, (2013) nr 8-9, str.646-657.
13. Hadasik E, Kuc D. "Obróbka plastyczna stopów magnezu", *Obróbka plastyczna metali – Metal Forming*, (2013) Vol 2. XXIV, s. 131-147.
14. Haraburda M. "*Techniki szybkiego prototypowania w zastosowaniach przemysłowych*", KIP, Warszawa 2005.
15. Kopecki H., Witek L. "Wpływ rodzaju oraz liczby elementów na błąd i zbieżność rozwiązania MES na przykładzie analizy stateczności pręta ściskanego", *V Konferencja Naukowo-Techniczna*, WAT, IPPT, PAN, Warszawa - Rynia 2000.
16. Kopecki H. "Problemy analizy stanów naprężenia ustrojów w świetle badań eksperymentalnych metodami mechaniki modelowej". *Zeszyty Naukowe Politechniki Rzeszowskiej, Mechanika*, (1992) nr 78, z. 26, Rzeszów 1992.
17. Kopkowicz M. "*Metody doświadczalne badań konstrukcji*", Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej, Rzeszów 2003.
18. Kubiak K., Pietruszka I., Śliwa R., Zawadzki M. "Problemy materiałowe związane z wytwarzaniem i eksploatacją elementów konstrukcji lotniczych", *VII Seminarium Naukowe Zintegrowane Studia Podstaw Deformacji Plastycznej Metali, PLASTMET 2010*, 30.11 - 3.12.2010 Łańcut, 2010.