

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



Organizatorzy:



CENTRUM NAUKOWO TECHNICZNE

KLASTER SZYBKIEGO PROTOTYPOWANIA
RAPIDROM

Klejenie w technologii szybkiego prototypowania

Gluing in rapid prototyping technology

JÓZEF KUCZMASZEWSKI
 MARIUSZ KŁONICA
 PAWEŁ PIEŚKO
 IRENEUSZ ZAGÓRSKI*

DOI:10.17814/mechanik.2015.12.569

Klejenie może być interesującym uzupełnieniem dla technologii przyrostowych w wytwarzaniu prototypów. W pracy przedstawiono przykłady możliwości wykorzystania klejenia w technologii prototypów, niektóre charakterystyki klejów określone w badaniach oraz wskazano na zalety i ograniczenia w stosowaniu tej technologii.

SŁOWA KLUCZOWE: prototyp, kleje, adhezja, technologia

Gluing can be an interesting supplement for of incremental technology in the manufacture of prototypes. The paper presents examples of the possibilities of using gluing in prototypes technology, some of the characteristics of the glues specified in the research and pointed out the advantages and limitations in the application of this technology.

KEYWORDS: *prototype, adhesives, adhesion, technology*

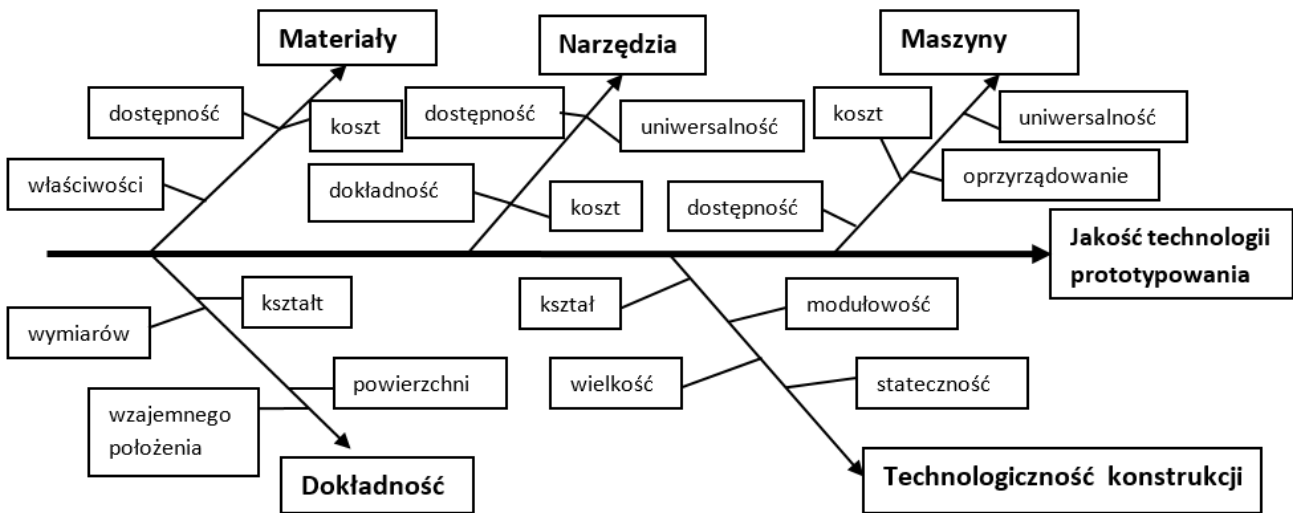
Klejenie jest sposobem łączenia znanym już w starożytności, jednak dopiero w XX wieku, wraz z rozwojem lotnictwa i kosmonautyki, nastąpił bardzo szybki rozwój inżynierii materiałów adhezyjnych, technologii przygotowywania powierzchni materiałów [3, 5-7,9, 12], także istotny postęp w zrozumieniu natury zjawisk na granicy faz [4, 8, 12], a wraz z tym rozwój narzędzi obliczeniowych do projektowania takich połączeń. Obecnie możemy projektować kleje pod konkretne potrzeby. W technologii wytwarzania prototypów często spotykamy się z konstrukcjami o złożonych kształtach i nietypowych cechach fizycznych. Bardzo często na etapie budowy prototypu należy dokonać korekty kształtów lub wymiarów. W niektórych przypadkach wykonanie prototypu, w efekcie wcześniejszego modelowania i defi-

niowania podobieństwa dynamicznego modelu i obiektu rzeczywistego, wymaga stosowania kilku materiałów o różniących się cechach. Prototyp składa się wówczas z łączonych elementów, trudno w takiej sytuacji wykorzystać technologie takie jak odlewanie, czy drukowanie 3D [1, 2, 10, 11]. W takich przypadkach technologia klejenia może być bardzo skuteczna i konkurencyjna w stosunku do innych metod łączenia.

Wytwarzanie prototypów – ważniejsze cechy technologii

Wytwarzanie prototypów to specyficzne wyzwanie dla technologów. Z samej istoty pojęcia prototyp wynika, że mamy do czynienia z czymś nowym, brak jest więc z reguły kapitału wiedzy i doświadczenia z historii technologicznej elementu. Dokumentacja jest z konieczności uproszczona, często z alternatywnymi rozwiązaniami. Nie zawsze są jasno zdefiniowane właściwości fizyczne materiałów z których będzie w przyszłości produkowany element, urządzenie lub maszyna. Najczęściej pracujemy pod presją czasu, w symultanicznej strategii przygotowania produkcji. Technolog lub technologowie przygotowujący technologię wykonania prototypu muszą mieć odpowiednią wyobraźnię i intuicję, dobrze znać możliwości zakładu i kompetencje pracowników, zwłaszcza wówczas, jeżeli prototyp jest złożonym urządzeniem lub maszyną. Ważną rolę odgrywa również koszt wytworzenia prototypu, jest to oczywiste, ale niełatwe na etapie projektowania prototypu. Dotyczy to materiałów, maszyn, narzędzi, oprzyrządowania, pomiarów, kosztów logistyki i innych. W tym kontekście technologię determinuje wiele czynników, ważniejsze z nich przedstawiono na rys. 1.

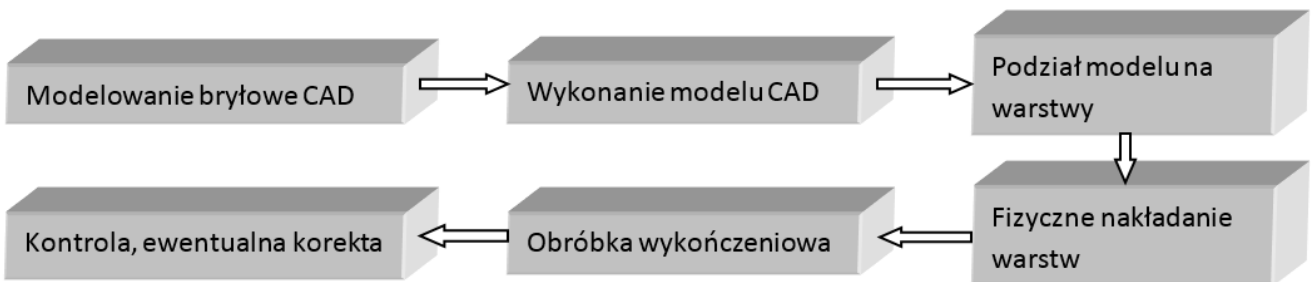
Prof. dr hab. inż. Józef Kuczmaszewski (j.kuczmaszewski@pollub.pl),
 Dr inż. Mariusz Kłonica (m.klonica@pollub.pl),
 Dr inż. Paweł Pieśko (p.piesko@pollub.pl),
 Dr inż. Ireneusz Zagórski (i.zagorski@pollub.pl)



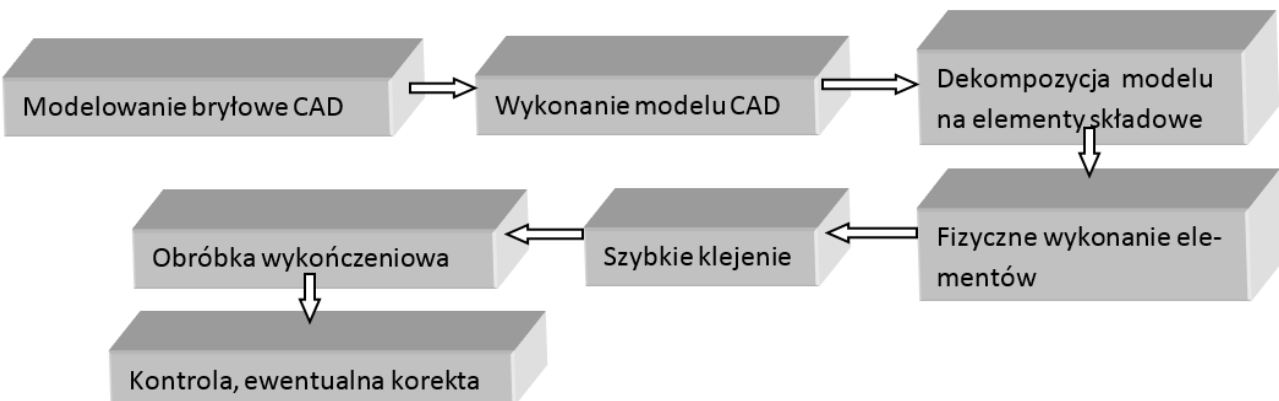
Rys. 1. Ważniejsze czynniki determinujące jakość technologii wytwarzania prototypów

Typowa technologia szybkiego prototypowania opiera się na technologiach przyrostowych i może być przedstawiona schematycznie jak na rys. 2. Zjawisko adhezji jest dominujące w technologiach przyrostowych jednak charaktery-

styczną ich cechą jest nakładanie warstwa po warstwie materiału. W wielu przypadkach istotnie wydłuża to czas wytwarzania. Klejenie umożliwia istotną modyfikację tego podejścia. Jego ideę przedstawiono na rysunku 3.



Rys. 2. Schemat typowej technologii wytwarzania prototypów metodami przyrostowymi



Rys. 3. Schemat typowej technologii wytwarzania prototypów z wykorzystaniem klejenia

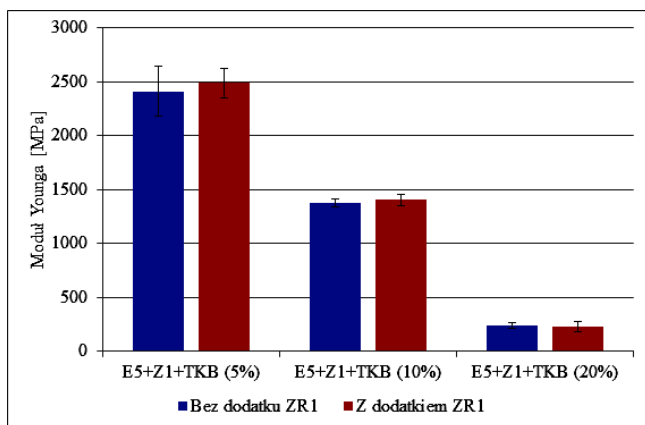
Technologia klejenia - wady i zalety

Zasadniczy postęp w stosowaniu technologii klejenia w przemyśle dokonał się wraz z rozwojem klejów polimerowych. Zdecydowały o tym przede wszystkim łatwość modyfikacji klejów i ich relatywnie wysoka wytrzymałość. Biorąc pod uwagę specyfikę technologii wytwarzania prototypów szczególnie interesujące są następujące zalety tej technologii:

- możliwość łatwego i szybkiego łączenia materiałów o istotnie różnych cechach fizycznych,

- łatwe łączenie elementów o bardzo dużych wymiarach jak i miniaturowych,
- możliwość łatwego kształtowania w dość szerokim zakresie takich cech fizycznych klejów w stanie utwardzonym jak moduł Younga (rys. 4), obrabialność, barwa, przewodność cieplna, także w ograniczonym zakresie przewodność elektryczna i in.
- duża różnorodność utwardzaczy umożliwiających „sterowanie” czasem utwardzania, w tym możliwość wykorzystania klejów o bardzo krótkim czasie utwardzania,
- konkurencyjny w stosunku do wielu sposobów łączenia koszt.

Połączenia klejowe mają także swoje słabsze strony, szczególnie dotyczy to ograniczonej wytrzymałości w podwyższonej temperaturze czy znacznie mniejszą sztywność w stosunku do metali. Inne cechy połączeń klejowych, uważane za niekorzystne w klejeniu konstrukcyjnym nie mają istotnego znaczenia z punktu widzenia ich aplikacji w technologii wytwarzania prototypów.



Rys. 4. Przykład możliwości modyfikacji modułu Younga dla kleju E5/Z1 [13]

Możliwości wykorzystania klejenia w procesach wytwarzania prototypów

■ **Formy elastyczne.** Umożliwiają one szybkie wykonanie elementów prototypowych, zwłaszcza z tworzyw polimerowych, metodą odlewania, bez konieczności stosowania pochylenia odlewniczego. Dzięki wysokiej elastyczności umożliwiają łatwe usuwanie odlewów z formy. Na rys. 5 przedstawiono przykład takiej formy do wytwarzania próbek „wiosetek” do badań wytrzymałości.

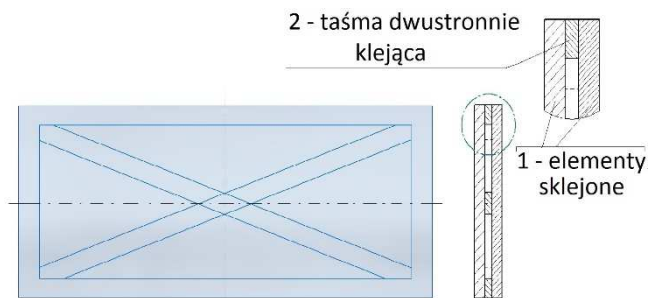


Rys. 5. Forma elastyczna wykonana z POLASTOSIL® M-33

■ **Modele i skrzynki formierskie.** Klejenie może być bardzo przydatne w wytwarzaniu skomplikowanych modeli o wielu płaszczyznach podziału. Taki model może być poddany konstrukcyjnej „dekompozycji” na elementy z jedną płaszczyzną podziału a następnie sklejony. Jest to technologia szybka i ekonomicznie konkurencyjna. W przypadku budowy skrzynek formierskich klejenie może być szczególnie przydatne i ekonomicznie uzasadnione. Może być stosowane w modułowej budowie kanałów odpowietrzających, wlewowych, elementów ustalania i mocowania.

Inne materiały adhezyjne w budowie prototypów

■ **Taśmy montażowe.** Taśmy montażowe mogą mieć różnorodne zastosowania w szybkim wytwarzaniu prototypów. Mogą to być taśmy dwustronnie klejące do szybkiego i prostego klejenia elementów prototypów, mogą także służyć jako czasowe elementy do pozycjonowania elementów złożonego prototypu. Przykład zastosowania taśm montażowych w budowie prototypów przedstawiono na rys. 6.

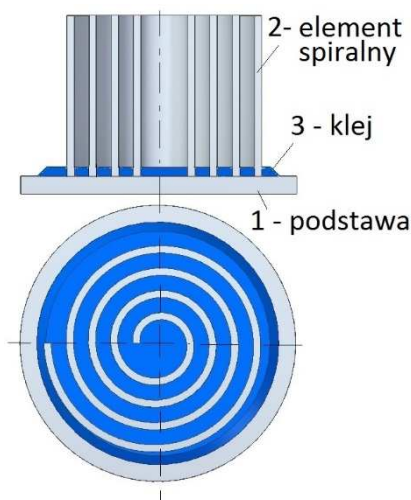


Rys. 6. Przykład wykorzystania taśmy montażowej do szybkiego montażu elementu wielopłytowego.

Taka technologia istotnie skraca wykonanie elementu w warunkach produkcji jednostkowej.

■ **Taśmy maskujące.** Taśmy maskujące są niezastąpione w technologiach obróbki powłokowej prototypu, szczególnie barwienia. Często jest tak, że prototypowa konstrukcja nie posiada jednolitej barwy, wówczas proces barwienia odbywa się etapami, poprzez kolejne maskowanie wybranych fragmentów konstrukcji.

■ **Pasty do formowania elementów kształtowych.** Pasty te są szczególnie przydatne w przypadku wykonania i połączenia bardzo złożonego elementu do konstrukcji prototypu (np. skomplikowane elementy chwytne) oraz do łączenia elementów prototypu o bardzo różniących się cechach geometrycznych. Takie elementy jest znacznie łatwiej i bardziej ekonomicznie wykonać oddzielnie a następnie połączyć pastą klejową. Przykład takiej konstrukcji i technologii pokazano na rys. 7.



Rys. 7. Przykład wykorzystania pasty klejowej do łączenia elementu spiralnego z podstawą

Taka technologia jest znacznie mniej kosztowna od drukowania 3D, koniecznego w przypadku braku możliwości wykorzystania obróbki ubytkowej mikrofrezami (zbyt mała sztywność narzędzi).

■ **Pasty barwiące.** Pasty barwiące są uzupełnieniem możliwości wykorzystania technologii adhezyjnych w budowie elementów prototypowych. Są przydatne szczególnie tam, gdzie formowane są złożone elementy kolorystyki modelu, zwłaszcza w trudnodostępnych miejscach.

■ **Pasty antyadhezyjne.** Pasty antyadhezyjne zabezpieczają powierzchnie form, kanałów wlewowych a także mogą w niektórych przypadkach pełnić funkcje taśm maskujących.

■ **Kleje uszczelniające.** Kleje i pasty uszczelniające służą do hermetyzacji prototypu. Umożliwia to znaczne obniżenie kosztów budowy prototypu poprzez skrócenie technologii i zastąpienie niektórych specjalistycznych uszczelnień prostymi związkami polimerowymi, łatwo modyfikowanymi i relatywnie tanimi.

Wnioski

Klejenie dobrze „wpisuje” się w filozofię technologii wytwarzania prototypów. Przeprowadzona analiza studialna oraz doświadczenia własne pozwalają na sformułowanie następujących wniosków ogólnych:

- Klejenie może być interesującym uzupełnieniem technologii przyrostowych i ubytkowych w szybkim i efektywnym wytwarzaniu prototypów.
- Technologia klejenia może być szczególnie przydatna przy łączeniu elementów miniaturowych jak i wielkogabarytowych, a także elementów znacznie różniących się cechami fizycznymi i geometrycznymi.
- Kleje umożliwiają łatwą i prostą technologię łączenia bardzo skomplikowanych prototypów poprzez ich dekompozycję na proste elementy składowe i następne klejenie ich w całość.
- Właściwości klejów można łatwo modyfikować, zarówno poprzez modyfikację fizyczną jak i chemiczną, uzyskując właściwości najbardziej zbliżone do oczekiwanych w prototypowej konstrukcji.
- Liczne materiały uzupełniające w technologii łączenia adhezyjnego, takie jak taśmy jedno- i dwustronnie klejące, taśmy maskujące pasty klejowe i uszczelniacze, pasty barwiące i inne znacznie ułatwiają wykonanie prototypu i pozwalają na istotne zmniejszenie kosztów.

LITERATURA

1. Ahn Sung, Montero Michael, Odell Dan, Roundy Shad, Wright Paul: „Anisotropic material properties of fused deposition modeling ABS”. *Rapid Prototyping* 8 (2002)4 s. 248–257.
2. Bellini Anna, Guceri Selcuk: „Mechanical characterization of parts fabricated using fused deposition modeling”. *Rapid Prototyping Journal* 9 (2003)4 s. 252–264.
3. Blicharski Marek: „Inżynieria powierzchni”. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 2009.
4. Godzimirski Jan, Komorek Andrzej: „Trwałość zmęczeniowa zakładkowych i czołowych połączeń klejowych”. *Przegląd Mechaniczny* 12 (2008), s. 40 – 44.
5. Kłonica Mariusz, Kuczmaszewski Józef: „Badania porównawcze wytrzymałości na ścinanie zakładkowych połączeń klejowych po oczyszczaniu mechanicznym i ozonowaniu”. *Technologia i Automatyka Montażu* 4 (2011), s. 45-48.
6. Kłonica Mariusz, Kuczmaszewski Józef, Ozonek Janusz: „Ocena porównawcza właściwości energetycznych warstwy wierzchniej stopu tytanu”. *Inżynieria materiałowa* 171 (2009)5, s. 396-399.
7. Kłonica Mariusz, Kuczmaszewski Józef, Kwiatkowski Michał, Satoh Saburoh: „Analysis of energetic properties of AZ 91 HP magnesium alloy after ozonization”. *Proceedings of the 21-st Annual Conference on Ozone Science and Technology in Japan 2012*, Hiroshima University, Higashi-Hiroshima, Hiroshima, 2012.
8. Kuczmaszewski Józef: „Fundamentals of metal-metal adhesive joint design”. Politechnika Lubelska. Oddział PAN w Lublinie. Lublin 2006.
9. Kwiatkowski Michał, Kłonica Mariusz, Kuczmaszewski Józef, Satoh Saburoh: „Comparative analysis of energetic properties of Ti6Al4V titanium and EN-AW-2017A(PA6) aluminum alloy surface layers for an adhesive bonding application”. *Ozone: Science & Engineering: The Journal of the International Ozone Association*. 35 (2013) s. 220-228.
10. Lin Bor-Tsuen, Kuo Chun-Chih: „Application of an integrated RE/FP/CAD/CAE/CAM system for magnesium alloy shell of mobile phone”. *Journal of Materials Processing Technology*. 209 (2009)6 s. 2818–2830.
11. Panda Samir, Padhee Saumyant, Sood Anoop, Mahapatra S.: „Optimization of Fused Deposition Modelling (FDM) Process Parameters Using Bacterial Foraging Technique”. *Intelligent Information Management* 1 (2009)2 s. 89-97.
12. Żenkiewicz Marian: „Adhezja i modyfikowanie warstw wierzchniej tworzyw wielkocząsteczkowych”. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne. Warszawa 2000.
13. Raport - Konferencja Rady Partnerów Projektu Kluczowego P.O.I.G. 01.01.02-00-015/08, Rzeszów, 2014.



PROJEKT KLUCZOWY POIG.01.01.02-00-015/08

Nowoczesne technologie materiałowe stosowane w przemyśle lotniczym