

Badania Wpływu Kierunkowości Współczynnika Rozszerzalności Ciepłej Struktur Warstwowych na Rozkład Pola Naprężeń Termicznych

Jacek Podrażka¹, Paweł Bogusz¹, Wiesław BARNAT^{1, a)}

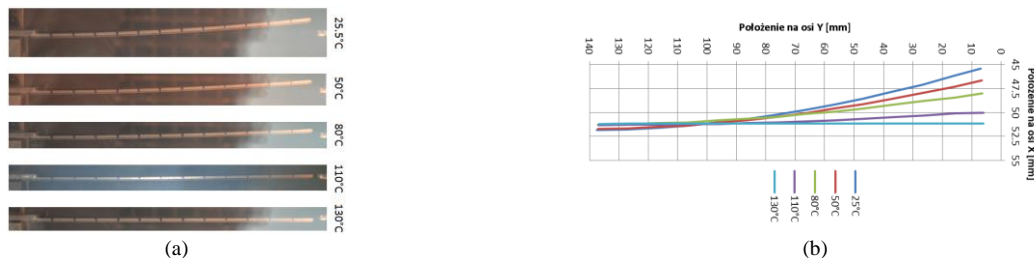
¹Wojskowa Akademia Techniczna, Wydział Mechaniczny, Katedra Mechaniki i Informatyki Stosowanej
ul Generała Witolada Urbanowicza 2, 00-908 Warszawa

^{a)}Corresponding author: wieslaw.barnat@wat.edu.pl

Abstrakt. Laminaty metalowo-kompozytowe (FML – ang.: Fibre Metal Laminate) są połączeniem materiałów kompozytowych z blachami metalowymi. Obydwa rodzaje materiałów charakteryzują się różnymi właściwościami mechanicznymi, ale także termomechanicznymi. W pracy zbadano zachowanie się dwuwarstwowego kompozytu hybrydowego typu FML pod wpływem silnego obciążenia termicznego i zamodelowano tę strukturę z wykorzystaniem narzędzi numerycznych. Pierwszą warstwę stanowiła blacha z tytanu, zaś drugą, kompozyt polimerowy wzmocniony włóknem węglowym o oznaczeniu HTA/913. W badaniach eksperymentalnych próbkę materiału o temperaturze pokojowej 25,5°C poddano stopniowemu ogrzewaniu do temperatury 130°C, co spowodowało zmianę kształtu jej profilu. W efekcie modelowania numerycznego określono profil ugięcia próbki w funkcji temperatury, który porównano z wynikami eksperymentalnymi. Oszacowano wartości naprężeń wewnętrznych wynikających z różnicy właściwości termomechanicznych, jakie powstają w materiale HTA/913 – tytan wskutek ochłodzenia go od temperatury 130°C do 25,5°C. Jednym z etapów niniejszej pracy było zbadanie wpływu dyskretyzacji modelu numerycznego na otrzymane wyniki analiz numerycznych. Wytypowano model, który w najlepszym stopniu odpowiadał kryteriom: zgodności z eksperymentem oraz stosunkowo niskim czasie obliczeń modeli.

OPIS BADAŃ EKSPERYMENTALNYCH

Rozszerzalność cieplna jest to fizyczna zmiana rozmiarów ciała podczas ogrzewania, która jest wynikiem wzrostu energii ruchu jego cząsteczek, prowadzącego do zwiększenia średnich odległości między nimi. Większość ciał fizycznych zwiększa swoją objętość w skutek wzrostu temperatury, jednak nie jest to regułą. Wzór opisujący wpływ zmiany temperatury na zmianę pola odkształceń określany jest jako wzór Kelvin'a i opisuje on efekt termosprężystości.



RYSUNEK 1. Wyniki badań próbki FML: a) zdjęcia profilu; b) wykres krzywizny profilu, dla przebadanych temperatur

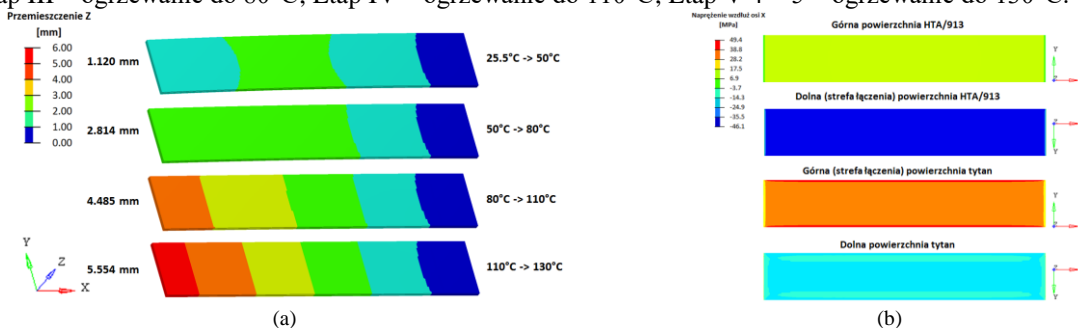
Do badań eksperymentalnych wybrano zaawansowany materiał warstwowego kompozytu hybrydowego typu FML. Składa się on z kompozytu wzmocnianego jednokierunkowymi włóknami węglowymi HTA/913 i blachy tytanowej (rys. 1). Obie warstwy, w postaci cienkich prostokątnych płyt, połączono ze sobą z wykorzystaniem techniki polimeryzacji kompozytów metodą autoklawową. W celu pomiaru krzywizny profilu próbki, naniesiono na jej krawędź szesnaście punktów pomiarowych w odległości co 10 mm (rys. 1a). Próbkę umieszczono w piecu

i poddano obciążeniu termicznemu. Z wykorzystaniem metod optycznych (aparatus fotograficzny), zmierzono stan deformacji materiału hybrydowego HTA/913 – tytan dla temperatur: 25,5°C, 50°C, 80°C, 110°C i 130°C (rys. 1b).

Pod wpływem wysokiej temperatury, nieobciążona próbka HTA/913 – tytan zmieniła swój profil. Widoczna wyraźnie w temperaturze pokojowej krzywizna próbki, będąca wynikiem procesu technologicznego wytwarzania, jak również różnicy właściwości cieplnych i mechanicznych zastosowanych materiałów, wraz ze wzrostem temperatury zmniejszała się (rysunek 1a). W efekcie ogrzania do temperatury 130°C próbka uległa całkowitemu spłaszczeniu.

OPIS MODELOWANIA NUMERYCZNEGO

Na potrzeby niniejszej pracy wykonano model numeryczny próbki FML HTA/913 – tytan, którego wymiary i kształt są identyczne z kształtem i wymiarami rzeczywistymi. Odwzorowano sposób zamocowania próbek w warunkach eksperymentu. Tak przygotowany model poddano obciążeniu temperaturowemu przyłożonemu do każdego węzła, w pięciu etapach: Etap I – chłodzenie od 130°C do temperatury 25,5°C; Etap II – ogrzewanie do 50°C; Etap III – ogrzewanie do 80°C; Etap IV – ogrzewanie do 110°C; Etap V 4 ÷ 5 – ogrzewanie do 130°C.



RYСУNEK 2. Wyniki badań numerycznych: a) mapa przemieszczeń wzdłuż osi Z; b) mapa naprężeń cieplnych wzdłuż osi X

W celu walidacji modeli numerycznych z eksperymentem, porównano położenie punktów pomiarowych w przestrzeni (rys. 2a). Największa rozbieżność pomiędzy wynikami badań numerycznych z doświadczalnymi była równa: 1,61%, a błąd średni wyniósł 0,56%. W celu przestudiowania wpływu dyskretyzacji próbki na dokładność obliczeń numerycznych, wykonano cztery modele numeryczne o identycznych wymiarach geometrycznych, ale o różnym zagęszczeniu siatki MES: Model I 60x10x4, Model II 120x20x6, Model III 240x40x8, Model IV 360x60x10. W oparciu o przeprowadzone studium dyskretyzacji, Model III 240x40x8 – 76800 elementów uznano za najbardziej optymalny, biorąc za kryterium: czas analizy i jakość wyników. Dokonano analizy naprężeń wewnętrznych (rys. 2b), które wystąpią po ochłodzeniu próbki od temperatury 130°C do 25,5°C. Największe naprężenia ściskające wzdłuż włókien wystąpiły w kompozycie HTA/913, na płaszczyźnie łączenia z tytanem i wyniosły -46,1 MPa. Największe naprężenia rozciągające wzdłuż włókien wystąpiły w tytanie, na płaszczyźnie łączenia z HTA/913 i wyniosły 49,4 MPa. Największe naprężenia ściskające w poprzek włókien wystąpiły w tytanie, na płaszczyźnie łączenia z HTA/913 i wyniosły -54,3 MPa.

LITERATURA

1. B. Surowska, J. Bienias, *Wytwarzanie kompozytów metodą autoklawową i ocena ich jakości*, Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, pp. 121-126, 2010.
2. Dacko M. i in.: *Metoda Elementów Skończonych w Mechanice Konstrukcji*, Warszawa, Arkady, 1994.
3. M. A. Crisfield, *Non-linear Finite Element Analysis of Solids and Structures*, John Wiley & Sons, Chichester, 2010.
4. J. Jachimowicz, E. Szymczyk, K. Puchała, *Study of material mass efficiency and numerical analysis of modified CFRP laminate in bearing conditions*, Elsevier B. V., 134, pp. 114-123, 2015.
5. R. Boyer, G. Welsch, E. W. Collings, *Materials Properties Handbook: Titanium Alloys*, Cleveland, ASM International, 1994.
6. Livermore Software Technology Corp., *LS-DYNA Keyword User's Manual vol. 1*, Livermore Software Technology Corp., 2015.
7. A. Boczkowska i in.: *Kompozyty*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2000.
8. M. Klasztorny, *Wytrzymałość materiałów*, Dolnośląskie Wydawnictwo Edukacyjne, Wrocław, 2013.
9. G. Grimvall, *Thermophysical properties of materials*, Elsevier Science Publishers B. V., Holandia, 1986.