

Temat rozprawy doktorskiej

Modelowanie i analiza MES właściwości dynamicznych materiałów kompozytowych termicznie optymalnych

Autor: mgr inż. Maria Nienartowicz

Promotor: dr hab. Tomasz Strępek, prof. nadzw. PP

STRESZCZENIE

Modelowanie i analizowanie właściwości nowych materiałów kompozytowych jest często trudne i kosztowne. Dużym wsparciem stały się metody obliczeniowe, które znaczenie ułatwiają wyznaczanie właściwości materiałów i dają większe możliwości. Modelowanie numeryczne łączy dziedziny matematyki, fizyki i informatyki do badania zachowań złożonych układów za pomocą symulacji komputerowych. Model obliczeniowy zawiera często wiele zmiennych, które opisują badany układ. Symulacja odbywa się poprzez modyfikowanie wartości tych zmiennych i obserwowanie w jaki sposób te zmiany wpływają na wyniki. Uzyskane wyniki symulacji umożliwiają przewidywanie zachowania się układu rzeczywistego.

Metody numerycznego modelowania materiałów kompozytowych są wykorzystywane m. in. w projektowaniu i konstruowaniu optymalnych struktur chłodzenia lub zaawansowanych radiatorów [Dag2012], [Ded2012]. Innym przykładem jest zastosowanie modelowania numerycznego jest zaprojektowanie materii programowalnej. Przy użyciu drukarek 3D wykonywane są przedmioty, których części składowe łączy polimer zmieniający kształt, dzięki reakcji materiałów składowych na ogrzewanie lub chłodzenie [Cam2014]. Modelowanie numeryczne stosowane jest również w przemyśle wojskowym i lotniczym, gdzie końcowy produkt musi spełniać określone, restrykcyjne wymagania [Mon2013].

Cele pracy:

1. Zastosowanie projektowania obliczeniowego do uzyskania kompozytu lub struktury o wskazanych właściwościach termicznych. Wykazanie korzystniejszych właściwości zaprojektowanych kompozytów w porównaniu z często wykorzystywanymi kompozytami warstwowymi jakimi są laminaty
2. Analiza właściwości dynamicznych kompozytu optymalnego termicznie. Porównanie właściwości dynamicznych kompozytów optymalnych termicznie z właściwościami laminatów.
3. Propozycja struktury płyty warstwowej z warstwą środkową wykonaną z kompozytu dwufazowego. Struktura ta pozwala uzyskać minimalną termiczną energię wewnętrzną przy zadanych warunkach brzegowych.

Teza pracy:

Możliwe jest zaprojektowanie struktury kompozytu dwufazowego, którego właściwości takie jak: średnia wartość temperatury, średnia wartość modułu gradientu temperatury, średnia wartość energii odkształcenia, średnia wartość energii termicznej, są lepsze niż w klasycznych kompozytach warstwowym (laminatach). Dodatkowo po otrzymaniu struktury kompozytu termicznie optymalnego istnieje możliwość analizowania jej właściwości dynamicznych takich jak: wyznaczenie częstości własnych, wykreślenie amplitudy drgań własnych oraz wykreślenie postaci drgań własnych dla poszczególnych częstości własnych.

W pracy przedstawiono zagadnienie modelowania i analizy właściwości dynamicznych kompozytu optymalnego termicznie. Aby uzyskać kompozyt optymalny termicznie przeprowadzono szereg optymalizacji jego właściwości takich jak: średnia wartość temperatury, średnia wartość modułu gradientu temperatury, średnia wartość energii termicznej czy też średnia wartość energii odkształcenia. Za pomocą zaproponowanych algorytmów przeprowadzono optymalizację dla modeli 1D i 2D o różnych kształtach i z różnymi warunkami brzegowymi. W przypadku modelu 1D zastosowano połączenie algorytmu Nelder-Meada z metodą elementów skończonych, natomiast do analizy modeli 2D użyto połączenia metody optymalizacyjnej SNOPT z metodą elementów skończonych. Wyniki optymalizacji przeprowadzonej dla modeli 2D płyt kompozytowych typu sandwich zostały porównane z wynikami obliczeń przeprowadzonymi dla modeli płyt warstwowym (laminatów). Wszystkie symulacje wykonano w programie COMSOL Multiphysics, w którym przeprowadzono również analizę wpływu wykorzystywanej siatki elementów skończonych oraz parametrów metody na otrzymywane nowe topologie struktur.

W pierwszych rozdziałach pracy przedstawiono przegląd literatury oraz wprowadzenie teoretyczne omawianych zagadnień. Wyniki obliczeń numerycznych wykonanych przy wykorzystaniu poszczególnych metod zaprezentowano w rozdziałach od szóstego do dziewiątego.

W pierwszej części badań przeprowadzono optymalizację średniej wartości temperatury i średniej wartości modułu gradientu temperatury. Obliczenia wykonano dla modeli zdefiniowanych na obszarach o różnych kształtach i z różnymi warunkami brzegowymi. Wyniki obliczeń dla nowopowstałych kompozytów porównano z kompozytami warstwowymi. To pozwoliło stwierdzić, że zaproponowana topologia umożliwia uzyskanie lepszych (mniejszych w

przypadku minimalizacji i większych w przypadku maksymalizacji) wyników niż w tradycyjnych kompozytach [Nie2013].

Następnie wykonano obliczenia optymalizacyjne dla płyty kompozytowej z rdzeniem z kompozytu dwufazowego, w których minimalizowano średnią wartość energii termicznej. Również w tym przypadku otrzymane wyniki zostały porównane z laminatami w postaci trzech rodzajów płyt z takimi samymi warunkami brzegowymi. Wyniki średniej wartości energii termicznej były najmniejsze w płycie kompozytowej [Nie2014a]. W przypadku minimalizacji średniej wartości energii termicznej i średniej wartości energii odkształcenia jednocześnie oraz równych wag dla obu energii rozkład zmiennej kontrolnej był zbliżony do rozkładu zmiennej kontrolnej w przypadku, gdy minimalizowana była jedynie średnia wartość energii termicznej. To pozwala stwierdzić, że energia termiczna dominuje w tym przypadku obliczeniowym. Odwrotnie jest natomiast w sytuacji, gdy analizowane są wyniki minimalizacji średniej wartości energii termicznej i średniej wartości energii odkształcenia jednocześnie z różnymi wagami.

W ostatnim etapie badań przeprowadzono analizę właściwości dynamicznych płyty kompozytowej termicznie optymalnej. Wyznaczono częstości własne w płycie kompozytowej oraz wykreślono odpowiedź układu na wymuszenia harmoniczne i postacie drgań własnych dla poszczególnych częstości własnych. Analizę właściwości dynamicznych przeprowadzono również dla trzech rodzajów płyty laminatowej. Dla większości kolejnych częstości własnych kompozytu termicznie optymalnego wartości tych częstości własnych są większe od częstości własnych laminatów [Nie2014b].

Zaproponowane w rozprawie metody oraz struktury kompozytowe o zadanych właściwościach termicznych lub termiczno-mechanicznych mogą znaleźć zastosowanie przy projektowaniu oraz konstruowaniu: a) zoptymalizowanych urządzeń chłodzących (radiatorów); b) urządzeń elektronicznych; c) elementów budowlanych (np. cegieł o zwiększonej izolacyjności przy jednoczesnym zwiększeniu ich wytrzymałości); d) elektrod akumulatorów do odzyskiwania energii w przypadku małych różnic temperatury z wykorzystaniem efektu galwanicznego.

Otrzymane w przeprowadzonych badaniach numerycznych wyniki oraz ich analiza pozwalają stwierdzić, że teza i cele pracy zostały potwierdzone. Wnioski z przeprowadzonych badań numerycznych pozwalają stwierdzić, że wykorzystanie metod obliczeniowych takich jak optymalizacja topologii struktur materiałów dwufazowych pozwala uzyskać materiały kompozytowe o lepszych właściwościach termicznych od tych jakie posiadają klasyczne kompozyty warstwowe (laminaty). Otrzymane materiały i struktury kompozytowe mogą lepiej odprowadzać ciepło generowane przez urządzenia i tym samym je chłodzić. W optymalizowanych strukturach minimalizowano m.in. rozkład temperatury oraz energię termiczną, co pozwoliło uzyskać bardziej optymalne struktury inne od tych ogólnie znanych. Badania literaturowe wskazują na fakt, że podobne struktury są analizowane w pewnych koncernach samochodowych. Dalsze badania umożliwią ich wykorzystanie w innych dziedzinach związanych z zagadnieniami termicznymi.

Literatura

- [Cam2014] Campbell T. A., Tibbits S., Garrett B., *Programowalny świat*, Świat Nauki, nr 12 (280), 2014
- [Dag2012] Dagastine G., *Numerical Simulation-Based Topology Optimization Leads to Better Cooling of Electronic Components in Toyota Hybrid Vehicles*, Comsol news, pp. 4-7, 2012
- [Ded2012] Dede E. M., *Optimization and Design of a Multipass Branching Microchannel Heat Sink for Electronics Cooling*, J. Electron. Packag., Vol.134, Issue 4 pp.041001, 2012
- [Mon2013] Montesano M. J., *Trends in Military System Thermal Management*, www.thermacore.com/news/trends-in-military-system-thermal-management.aspx (dostęp 22.01.2015), 2013
- [Nie2013] Nienartowicz M., *Optymalizacja właściwości termicznych materiału kompozytowego z wykorzystaniem metody optymalizacji geometrii kształtu*, Wybrane problemy naukowo-badawcze mechaniki i inżynierii materiałowej, Jacek Wernik (Red.), P.P.-H. "DRUKARNIA" Sp. z o.o., Płock, pp.199-211, 2013
- [Nie2014a] M. Nienartowicz, T. Streck, *Topology optimization of the effective thermal properties of two-phase composites*, Recent Advances in Computational Mechanics, CRC Press, 2014
- [Nie2014b] Nienartowicz M., Streck T., *Modeling and FEM analysis of dynamic properties of thermally optimal composite materials*, Proceedings of 11th World Congress on Computational Mechanics (WCCM XI), 5th European Conference on Computational Mechanics (ECCM V), 6th European Conference on Computational Fluid Dynamics (ECFD VI), E. Oñate, J. Oliver and A. Huerta (Eds), pp. 593-604, 2014