



Opinia o rozprawie doktorskiej

mgr inż. Andrzeja Katunina

*p.t. Ocena trwałości zmęczeniowej laminatów polimerowych w stanie
lepkosprężystym z uwzględnieniem zjawisk cieplnych*

1. Wprowadzenie

Nowoczesne technologie materiałowe w połączeniu ze stawianymi w optymalizacji konstrukcji mechanicznych postulatami minimalizacji masy przy możliwie dużej wytrzymałości powodują w ostatnich latach zauważalny wzrost wykorzystania w budowie maszyn materiałów kompozytowych. Tworzywa te jeszcze niedawno stosowane jedynie jako elementy nie przenoszące większych obciążeń lub korpusy czy obudowy znajdują ostatnio zastosowanie w wytwarzaniu części wysokoobciążonych i takich, które winny cechować się maksymalną niezawodnością (np elementy układów napędowych, konstrukcje lotnicze, itp.). Tymczasem w środowisku inżynierskim panuje dosyć powszechna niewiedza na temat cech materiałowych kompozytów a w szczególności ich anizotropii, nieliniowości oddziaływań dynamicznych i faktu, że kompozyt nabiera swoich cech dopiero po uformowaniu, co czyni bardzo trudnym wnioskowanie na podstawie badań próbek materiałowych. Wielu konstruktorów próbując stosować właściwe dla stali znane od lat algorytmy obliczeniowe nie zdaje sobie nawet sprawy, że kompozyty nie spełniają prawa Hooke'a i hipotezy Hubera co powoduje, iż wyniki nawet obliczeń „kinostatycznych” są co najmniej niepewne. Mimo wielu prac z tej dziedziny pełna teoria kompozytów możliwa do aplikacji inżynierskich jest dopiero w trakcie tworzenia. W tej sytuacji podjęcie się przez Doktoranta zadania zbadania efektu

Sekretariat Prodziekana
ds. Nauki (PN)

RMT 2012-05-08

L. dz. 18.9/PN/006/2011/2

samorozgrzania i powiązania tego zjawiska z trwałością zmęczeniową należy uznać jako zgodne z aktualnymi potrzebami naukowymi. Temat jest trudny zarówno z teoretycznego jak i eksperymentalnego punktu widzenia i ma istotne znaczenie aplikacyjne. Tematykę rozprawy oceniam zatem jednoznacznie pozytywnie.

2. Omówienie rozprawy

Przedstawiona do oceny praca liczy 107 stron tekstu i uzupełniona jest 14 stronicową obszerną bibliografią (bez numerów poszczególnych pozycji) oraz streszczeniami w języku polskim, angielskim i rosyjskim. Całość rozprawy podzielono na 8 rozdziałów w sposób logiczny, zgodny z przeprowadzonym wywodem.

Po wstępie, w którym krótko przedstawiono historię badań nad problematyką kompozytów i wymieniono ośrodki tą tematyką się zajmujące Autor w rozdziale 2 dokonuje przeglądu i oceny aktualnego stanu wiedzy. Poczynając od podstaw teoretycznych rozpatrywane są między innymi modele reologiczne, dyssypacja energii i modele zmęczeniowe (w tym modele uwzględniające lepkość i efekty cieplne) a także występowanie zmęczenia z efektem samorozgrzania w praktyce inżynierskiej.

Rozdział trzeci to szczegółowe sformułowanie problemu badawczego, celu rozprawy i postawienie tez, które brzmią:

1. *„Istnieje związek pomiędzy energią dyssypacji powstającą podczas obciążeń cyklicznych i charakterystykami mechanicznymi laminatów polimerowych. Określenie zależności pomiędzy ilością generowanego ciepła a stanem odkształceń laminatu pozwoli na ocenę właściwości mechanicznych laminatu podczas obciążeń cyklicznych.*
2. *Opracowany model zmęczenia laminatu polimerowego, wykorzystujący analityczny model rozkładu temperatury samorozgrzania oraz wyniki empiryczne przyrostu temperatury samorozgrzania i zmian sztywności dynamicznej laminatu, umożliwi kompleksową analizę i ocenę trwałości resztkowej laminatu.”*

Druga z tych tez jest postawiona dosyć ambitnie. Zakłada bowiem „przez domniemanie”, że opracowany przez Autora model będzie właśnie tym właściwym. Trzeba jednak przyznać, że wcześniejszy dorobek Kandydata taką „pewność sukcesu” uzasadnia.

W dalszej części rozprawy Autor przechodzi do teoretycznego modelowania efektu samorozgrzania (rozdział 4) oraz badań empirycznych prowadzących do znalezienia modułów dynamicznych i ich zależności od temperatury i częstotliwości wymuszenia. W rozdziale zawarto również porównanie wyników testu DMA dla różnych prędkości grzania z symulacją opartą o zależność wyprowadzoną wcześniej przez Autora i cytowaną w punkcie 5.3. Uzyskana w ten sposób zmodyfikowana zależność Arrheniusa dobrze zgadza się z eksperymentem, co pozwala zdaniem Autora na ograniczenie badań testowych DMA do jednej prędkości grzania i wyznaczenie pozostałych z modelu. Dane empiryczne pozwalają również na wyznaczenie rozkładów temperatury na powierzchni płyt z wykorzystaniem modeli opracowanych w rozdziale 4.

W rozdziale 6 Autor opisał badania eksperymentalne zachowań dynamicznych 30 próbek o identycznych parametrach jak w eksperymencie DMA. Równolegle prowadzona była obserwacja siły wymuszającej, prędkości przemieszczeń oraz pola temperatury. Obserwacje były synchronizowane czasowo a wyniki aproksymowano modelem empirycznym będącym sumą dwóch funkcji wykładniczych.

Kluczowym dla pracy jest rozdział 7 w którym Autor analizuje wpływ efektu samorozgrzania na proces zmęczenia i jego intensyfikację w zależności od temperatury. Rozpoczynając od wstępnej koncepcji modelu Autor na podstawie badań proponuje algorytm wyznaczania cyklu życia na podstawie zaproponowanego modelu nazwanego przez Autora modelem teoretyczno-empirycznym (choć może byłoby lepiej modelem skorygowanym empirycznie lub nawet zidentyfikowanym?) i wykazuje wysoką zgodność tego modelu z badaniami. Model taki może być zatem podstawą prognozy (predykcji uszkodzeń).

Tym samym Autor zrealizował cel rozprawy i dowiódł postawionych tez co opisał krótko we wnioskach (rozdział 8).

3. Ogólna ocena pracy

Autorowi rozprawy udało się uchwycić i z dobrym przybliżeniem opisać jakościowo i ilościowo trudną relację pomiędzy trwałością zmęczeniową materiału kompozytowego i efektem samorozgrzania. **Dzięki temu udowodnił On postawione tezy i w pełni zrealizował cel rozprawy.** Zrobił to w sposób przekonujący stosując poprawnie dobrane metody badawcze. Rozprawa zawiera wszystkie elementy „wzorcowej” pracy naukowej to jest wywody teoretyczne, badania empiryczne i opracowaną na tej podstawie propozycję modelu (algorytmu) obliczeniowego. **Uważam, że wszystkie wymienione elementy zostały zrealizowane na bardzo wysokim poziomie merytorycznym.** Autor wykazał się gruntowną wiedzą z zakresu mechaniki, wytrzymałości zmęczeniowej i termodynamiki oraz umiejętnością prowadzenia badań doświadczalnych. Rozprawa może mieć duże znaczenie aplikacyjne i niewątpliwie ma dużą wartość naukową, przy czym napisana jest w sposób logiczny, czytelny i poprawnie zredagowana. Warto podkreślić, że Autor na koniec rozdziału 8 pokusił się o naszkicowanie kierunków dalszych badań i zrobił to w sposób wnikliwy i rzetelny nie gloryfikując nadmiernie własnych dokonań. Uważam również, że rozprawa powinna być podstawą napisania małej monografii i szerokiego jej upowszechnienia oraz publikacji wyników w renomowanym czasopiśmie.

4. Uwagi krytyczne i zapytania

Nie zgłaszam żadnych zastrzeżeń co do poprawności wywodów Autora, interesuje mnie jednak jak Autor wyobraża sobie uogólnienie wyników uzyskanych dla elementu płaskiego na części o nieregularnym kształcie krzywoliniowym oraz czy Autor widzi możliwość uogólnienia rozważań dla przypadku wymuszeń nieharmonicznych (uderzeń, obciążeń losowych, itp.).

Uważam, że praca jest napisana i zredagowana starannie. Kilka drobnych literówek nie ma znaczenia. Sądzę jednak, że część wykresów powinna mieć pełny opis w podpisach czy na rysunkach bez potrzeby szukania w tekście co oznacza linia

danego koloru. Nota bene skoro już wprowadza się kolor to po co rysować również wykresy czarno-białe o różnych (choć czasem nierozróżnialnych) rodzajach linii?

5. Konkluzja

Uważam, że rozprawa doktorska mgr inż. Andrzeja Katunina p.t. *Ocena trwałości zmęczeniowej laminatów polimerowych w stanie lepkosprężystym z uwzględnieniem zjawisk cieplnych* spełnia wszelkie wymogi Ustawy o Stopniach i Tytule Naukowym oraz wymogi zwyczajowe Polskich Uczelni Technicznych a także, że wysoki poziom zaprezentowany przez Autora przy wywodach teoretycznych i poziom warsztatu naukowego zasługuje na ocenę wyróżniającą. Z przyjemnością wnioskuję zatem o dopuszczenie mgr inż. Andrzeja Katunina do publicznej obrony pracy.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Z. J. G. S.', is written in a cursive style. The signature is positioned in the lower right quadrant of the page.