

### 13. Podsumowanie i wnioski z badań własnych

Zrealizowany program badań własnych miał na celu wykazanie możliwości wykorzystania charakterystyk fizycznych nieniszczących procesów wzbudzanych w badanych materiałach – kompozytach polimerowych – do oceny zmian charakterystyk użytkowych badanych materiałów. Programem badań objęto charakterystyki wytrzymałościowe (wytrzymałość na zginanie w badaniach degradacji cieplnej oraz utrata sztywności w badaniach zmęczeniowych) kompozytu epoksydowo-szklanego TSE-2 w aspekcie zastosowania konstrukcyjnego. Warunki utraty zdolności nośnych przyjęto jako odpowiadające najczęściej występującym czynnikom degradacji materiałów polimerowych – starzenia cieplnego oraz obciążenia zmęczeniowego. Procesy niszczące wykorzystane do wyznaczenia charakterystyk diagnostycznych to procesy propagacji fal ultradźwiękowych oraz wymuszonego przepływu ciepła. Wybór procesów akustycznych i cieplnych oraz ich charakterystyk mogących być użytecznymi w procedurach diagnostycznych w programie badawczym pracy można określić jako właściwy. Metody akustyki ultradźwiękowej posiadają bogatą tradycję technicznego wykorzystania w defektoskopii materiałów i elementów konstrukcyjnych. Procesy cieplne, dzięki dynamicznie rozwijającej się technice termowizyjnego monitoringu, również stały się w ostatnim okresie popularnym środkiem diagnostyki stanu układów fizycznych, zarówno technicznych jak biologicznych. Te przesłanki zdecydowały o wyborze zasady fizycznej pomiaru wykorzystującej procesy akustyczne i cieplne. Otwartą sprawą był wybór aktywowanego procesu służącego wyznaczeniu charakterystyk mających umożliwić postępowanie diagnostyczne. W programie badawczym w wyniku dokonanego wyboru przeprowadzono identyfikację relacji diagnostycznych wykorzystujących prędkość propagacji fali ultradźwiękowej i współczynnik tłumienia - w badaniach ultradźwiękowych oraz prędkość wzrostu temperatury i czas stabilizacji temperatury - w badaniach termowizyjnych. W tym miejscu warto jeszcze raz podkreślić celowość takiego wyboru. Wybrane charakterystyki są jednymi z wielu możliwych do oceny przydatności diagnostycznej i zostały wytypowane na podstawie własnych doświadczeń i wyników analizy literatury. Potwierdzona eksperymentalnie ich użyteczność dowodzi oczekiwanej współzależności prostych cech fizycznych oraz złożonych, wynikowych cech użytkowych badanych materiałów. Idea opisanego sposobu badań diagnostycznych jest oryginalną zarówno przez wybór diagnozowanych charakterystyk jak też grupy badanych materiałów-kompozytów polimerowych. Przedstawione wyniki w postaci współzależności:

- wytrzymałości na zginanie i prędkości propagacji fali ultradźwiękowej,
- względnego spadku naprężeń i współczynnika tłumienia,
- względnego spadku naprężeń i prędkości propagacji fali ultradźwiękowej,
- wytrzymałości na zginanie i prędkości wzrostu temperatury,
- wytrzymałości na zginanie i czasu stabilizacji temperatury,
- względnego spadku naprężeń i czasu stabilizacji temperatury,

dowodzą zatem zasadności stwierdzenia zawartego w tezie pracy, o istnieniu możliwości wyboru spośród dostępnych akustycznych i cieplnych charakterystyk polimerowych materiałów konstrukcyjnych takich, które umożliwią budowę diagnostycznych relacji stwarzających podstawę metodologiczną efektywnych, nieniszczących badań materiałów badanej klasy w zakresie oceny stopnia utraty wytrzymałościowych własności użytkowych.

Współzależności obejmujące wytrzymałość na zginanie dotyczyły kompozytu degradowanego cieplnie, natomiast współzależności obejmujące względny spadek naprężeń były wynikiem badań zmęczeniowych materiału.

Na podstawie analizy uzyskanych wyników można stwierdzić, że:

1. Nieniszczące metody (ultradźwiękowa i termograficzna) mogą być wykorzystane do diagnozowania stopnia utraty własności wytrzymałościowych kompozytów polimerowych degradowanych cieplnie i zmęczeniowo.
2. Wyznaczone relacje diagnostyczne dla kompozytu poddanego degradacji cieplnej jednoznacznie wiążą wytrzymałość na zginanie z prędkością propagacji fali ultradźwiękowej (rys. 12.2), prędkością wzrostu temperatury (rys. 12.7) oraz czasem stabilizacji temperatury (rys. 12.8) – znaczenie charakterystyk opisano w rozdziale 12.
3. Wyznaczone relacje diagnostyczne dla kompozytu poddanego degradacji zmęczeniowej jednoznacznie wiążą względny spadek naprężeń w warunkach próby zginania zmęczeniowego (stała amplituda odkształcenia) z prędkością propagacji fali ultradźwiękowej (rys. 12.6), współczynnikiem tłumienia (rys. 12.5) oraz czasem stabilizacji temperatury (rys. 12.12).
4. Ocena stopnia korelacji charakterystyk wykorzystanych do budowy relacji diagnostycznych stanu materiału poddanego degradacji cieplnej i zmęczeniowej prowadzi do wniosku, że oceny uzyskane testowanymi metodami nieniszczącymi są bardziej wiarygodne w odniesieniu do kompozytu starzonego cieplnie - uzyskano dobre dopasowanie funkcji aproksymacyjnych do wyników eksperymentu potwierdzone stosunkowo wysokimi współczynnikami determinacji, które mieszczą się w przedziale od 0,9396 do 0,9788.

5. Oceny uzyskane testowanymi metodami nieniszczącymi w odniesieniu do kompozytu degradowanego zmęczeniowo cechuje mniejsza wiarygodność – uzyskany stopień dopasowania funkcji aproksymacyjnych do wyników eksperymentu jest niższy – wartości współczynników determinacji mieszczą się w przedziale od 0,8188 do 0,9421. Ta różnica jakości ocen tłumaczy się podstawową różnicą warunków degradacji starzeniowej (jednorodne pole temperatury) i zmęczeniowej (niejednorodne pole naprężeń w warunkach zginania próbek). Wpływ niejednorodności warunków jest szczególnie w odniesieniu do niejednorodnego strukturalnie materiału kompozytowego.

Na podstawie wyników badań własnych oraz sformułowanych powyżej wniosków szczegółowych można stwierdzić, że **prawdziwość postawionej tezy pracy, stwierdzającej możliwość wyboru akustycznych i cieplnych charakterystyk polimerowych materiałów konstrukcyjnych, pozwalających na budowę diagnostycznych relacji stwarzających podstawę metodologiczną efektywnych, nieniszczących badań kompozytów polimerowych w zakresie oceny stopnia utraty wytrzymałościowych własności użytkowych została wykazana.**