

8. Program badań własnych

Program badań został opracowany na podstawie wcześniejszych badań autorskich dotyczących współzależności stopnia wyczerpania własności wytrzymałościowych kompozytów konstrukcyjnych degradowanych cieplnie i zmęczeniowo oraz charakterystyk wyznaczanych w nieniszczących badaniach ultradźwiękowych i termowizyjnych. Wyniki tych badań Autor opublikował w periodykach krajowych i zagranicznych [110,147-166]. Przez wiele lat Autor rozprawy prowadził badania różnych kompozytów epoksydowo-szklanych, chcąc dowieść przydatności charakterystyk ultradźwiękowych i termowizyjnych do celów diagnostycznych. Badania te z reguły nie obejmowały obu technik diagnostycznych dla tego samego materiału. W niniejszej pracy przedstawiono wyniki kompleksowych badań ultradźwiękowych i termowizyjnych dla jednego kompozytu w celu umożliwienia porównania efektywności testowanych technik diagnostycznych. Na podstawie wyników wcześniejszych badań dokonano wyboru jako porównawczego materiału kompozytu epoksydowo-szklanego typu TES-2 i dla tego materiału opracowano szczegółowy program badań.

Badany kompozyt poddano przyspieszonej degradacji dwiema metodami. Pierwsza polegała na degradacji starzeniowej materiału w komorach cieplnych w różnym czasie i w różnych temperaturach (metodykę badania omówiono w rozdziale 8.1 i 9.2). Drugi sposób degradacji polegał na poddaniu kompozytu cyklicznym obciążeniom mechanicznym w warunkach trójpunktowego zginania przy stałej strzałce ugięcia (metodę badań zmęczeniowych omówiono w rozdziale 8.2 i 9.1). W trakcie starzenia cieplnego następują przede wszystkim procesy degradacji osnowy polimerowej. W czasie badań zmęczenia mechanicznego zachodzi uszkodzenie osnowy, niszczenie adhezji między wzmocnieniem a lepiszczem oraz delaminacja, w przypadku kompozytów warstwowych.

8.1. Badania degradacji cieplnej

Długotrwałe cieplne badania degradacji prowadzono w trzech komorach w czasie do około czterech tysięcy godzin. Próbkę badawczą degradowano w trzech komorach cieplnych w temperaturach odpowiednio: 180°C, 200°C i 220°C. Liczba próbek poddanych degradacji została określona potrzebą wyznaczenia krzywej trwałości cieplnej i wynosiła 180 sztuk dla każdej temperatury. Punkty pomiarowe wyznaczano, przyjmując średnie wartości charakterystyk partii 6 próbek. Wyjmowane partie próbek poddawane były badaniom

ultradźwiękowym i termograficznym według procedur opisanych w rozdziałach 9.3, 9.4 i 10. Wszystkie próbki były następnie poddawane niszczącej próbie wytrzymałości na zginanie. Uzyskiwane wyniki posłużyły do wyznaczania krzywych trwałości cieplnej oraz relacji diagnostycznych.

8.2. Badania zmęczeniowe

Badania zmęczeniowe przeprowadzano w temperaturze pokojowej $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$. Maszyna zmęczeniowa posiadała cztery ramiona z uchwytami, realizujące cykliczne odkształcanie próbek. Próbki obciążane były sinusoidalnie ze stałą wartością odkształcenia maksymalnego. Liczba cykli była zliczana przez układ pomiarowy. Zginanie prowadzono z częstotliwością 70 cykli na minutę (1,167 Hz). Przy tej częstotliwości temperatura próbki nie ulegała znaczącemu podwyższeniu (w wyniku dyssypacji energii). Rejestrowano również wartość siły niezbędnej do uzyskania założonej strzałki ugięcia próbki. Obserwowany spadek siły (naprężeń) przyjęto za miarę stopnia degradacji zmęczeniowej badanego kompozytu. Badania zmęczeniowe prowadzono do ponad 14 milionów cykli. Próbki cyklicznie poddawano badaniom ultradźwiękowym i termowizyjnym. Seria próbek mocowanych w maszynie zmęczeniowej była okresowo demontowana z uchwytów maszyny i poddawana badaniom ultradźwiękowym i termowizyjnym, a następnie próbki poddawano dalszemu zmęczeniu.

8.3. Badanie wytrzymałości na zginanie

Próbki degradowane cieplnie po nieniszczących badaniach ultradźwiękowych i termowizyjnych poddawano badaniom wytrzymałości na zginanie. Niszczące badania wytrzymałościowe (zginanie trójpunktowe) stanowiły podstawę oceny stopnia degradacji starzeniowej próbek i ich wyniki były wykorzystywane do opracowania relacji diagnostycznych. Badania te przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej FPZ-100 firmy Heckert (Niemcy) zgodnie z normą PN-EN ISO 178 w następujących warunkach:

- temperatura otoczenia - $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$,
- rozstaw podpór – 160 mm,
- prędkość zginania – 2 mm/min.

8.4. Badania ultradźwiękowe

Wszystkie próbki degradowane cieplnie i zmęczeniowo poddano nieniszczącym badaniom ultradźwiękowym. Badania prowadzono z wykorzystaniem defektoskopu UMT-17. Pomiary wykonywano głowicą ultradźwiękową firmy Parametrics o częstotliwości 2,25 MHz.

W badaniach ultradźwiękowych wyznaczano:

- prędkość propagacji fali ultradźwiękowej,
- współczynnik tłumienia fali ultradźwiękowej.

8.5. Badania termowizyjne

Wszystkie próbki degradowane cieplnie i zmęczeniowo poddano nieniszczącym badaniom termowizyjnym. Badania prowadzono na stanowisku opisanym w rozdziale 12.4. Pod uwagę brano temperaturę w środku próbki po stronie przeciwnej do strony nagrzewanej promiennikiem podczerwieni. Obrazy termowizyjne rejestrowano od chwili rozpoczęcia procesu nagrzewania próbki.

W badaniach termograficznych wyznaczano:

- czas stabilizacji temperatury na powierzchni próbek,
- prędkość wzrostu temperatury na powierzchni próbek.