

Metodyka adaptacyjnych przyspieszonych badań zmęczeniowych kompozytów termoplastycznych z uwzględnieniem efektu samorozgrzania

Streszczenie popularnonaukowe

Kompozyty termoplastyczne wzmocnione włóknem węglowym zyskały ogromne znaczenie w przemyśle, szczególnie w zastosowaniach lotniczych i kosmicznych. Ich unikalne właściwości, w tym wysoka wytrzymałość mechaniczna, odporność na działanie wysokiej temperatury i uderzenia, niska masa, uproszczona produkcja oraz możliwość recyklingu, czynią je trwałą, opłacalną i zrównoważoną alternatywą dla stopów metali i kompozytów termoutwardzalnych. Producenci w branży lotniczej coraz częściej stosują je jako zamienniki tradycyjnych elementów, takich jak poszycia kadłubów czy skrzynie skrętne stateczników, poprawiając tym samym efektywność, bezpieczeństwo oraz parametry środowiskowe współczesnego lotnictwa.

Pomimo swoich doskonałych właściwości, materiały te pozostają podatne na zmęczenie mechaniczne, co wymaga szczegółowych badań, zwłaszcza w kontekście ich długiej eksploatacji. Kompozyty termoplastyczne mogą wytrzymywać miliardy cykli obciążeń, lecz co dzieje się później? W praktyce: jak elementy kompozytowe w samolotach będą się zachowywać po 30, 40, a nawet 50 latach? Jak można przewidzieć ich trwałość zmęczeniową i wykorzystać tę wiedzę do projektowania elementów konstrukcyjnych spełniających kryteria zrównoważonego rozwoju? I wreszcie – jak badać zachowanie zmęczeniowe materiałów o tak długiej żywotności?

Zgłoszony projekt badawczy odpowiada na te pytania. Dzięki współpracy międzynarodowych zespołów z Uniwersytetu we Fryburgu oraz Politechniki Śląskiej opracowujemy metodologię przyspieszonych badań zmęczeniowych poprzez zastosowanie obciążeń o częstotliwości ultradźwiękowej, co pozwala skrócić czas testów z przedziału lat do przedziału tygodni. Głównym wyzwaniem przy takich częstotliwościach jest efekt samorozgrzania, wynikający z właściwości lepkosprężystych polimerów i kompozytów z osnową polimerową. Efekt ten dominuje nad odpornością materiału, przyspiesza degradację strukturalną i uniemożliwia bezpośrednie porównanie wyników badań zmęczeniowych uzyskanych przy niższych częstotliwościach.

Aby sprostać temu wyzwaniu, zespół projektowy bada zachowanie termomechaniczne kompozytów termoplastycznych podczas zmęczenia przy niskich i ultradźwiękowych częstotliwościach, z kompleksową analizą degradacji struktury i akumulacji uszkodzeń. Planowane testy zmęczeniowe w obu reżimach pozwolą zidentyfikować krytyczne przedziały temperatury samorozgrzania, które można traktować jako własności materiałowe opisujące trwałość zmęczeniową. Projekt ma również na celu odpowiedź na pytanie o możliwość przenoszenia wyników pomiędzy reżimami obciążeń poprzez opracowanie modelu, umożliwiającego właściwą interpretację danych, uzyskanych przy obciążeniach ultradźwiękowych. W ten sposób powstanie model degradacji zmęczeniowej kompozytów, integrujący zmęczenie nisko-, wysoko- i ultrawysokocyklowe w pojedynczą krzywą S-N, typowo stosowaną do opisu trwałości zmęczeniowej materiałów.

Wstępne wspólne badania naszego międzynarodowego zespołu potwierdziły zasadność prowadzonych analiz oraz przyniosły obiecujące wyniki w tym zakresie. Na podstawie opracowanego modelu zostaną opracowane i przeprowadzone adaptacyjne testy zmęczeniowe z wykorzystaniem regulatorów rozmytych, umożliwiając ostateczną walidację metodyki.

Z praktycznego punktu widzenia opracowana metodyka znacznie przyspieszy badania zmęczeniowe materiałów termoplastycznych, zapewniając jednocześnie wiarygodne wyniki dzięki adaptacyjnej kontroli efektu samorozgrzania, co pozwoli uniknąć jego niepożądanego wpływu. Kolejnym rezultatem jest metoda określania krytycznych przedziałów temperatury samorozgrzania, które mogą pełnić rolę miary trwałości zmęczeniowej i znacząco ograniczać liczbę eksperymentów potrzebnych do scharakteryzowania parametrów zmęczeniowych kompozytów oraz kryteriów projektowych.