

Małgorzata SZYMICZEK

Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska

Wpływ degradacji termiczno-zmęczeniowej na własności wytrzymałościowe kompozytów poliestrowo-szklanych

Streszczenie. W pracy omówiono wpływ starzenia cieplnego i prób zmęczeniowych na własności wytrzymałościowe kompozytów poliestrowo-szklanych wytwarzanych metodą nawijania. Tak postawiony cel wymagał przeprowadzenia badań starzeniowych, które realizowano w trzech różnych temperaturach, tj. 35°C, 45°C i 75°C oraz zmęczeniowych przy obciążeniu zginającym zadanym z częstotliwościami 2,25Hz, 4,5Hz, 6,7Hz. Oceny wpływu degradacji starzeniowej i zmęczeniowej dokonano na podstawie badań wytrzymałości na zginanie.

INFLUENCE OF AGEING-FATIGUE DEGRADATION ON THE STRENGTH PROPERTIES OF POLYESTER-GLASS COMPOSITES

Summary. The paper discusses the Influence of conditions of ageing and fatigue on the mechanical properties of polyester – glass composites manufactured by filament winding. This objective set for required ageing testing that is realized at three different temperatures – 35°C, 45°C and 75°C and fatigue, where the load was inflicted with the different frequencies of 2,25Hz, 4,5Hz, 6,7Hz. The evaluation of the effect of ageing-fatigue degradation was made on the basis of bending strength.

1. WSTĘP

Warunki eksploatacji determinują czas użytkowania elementów konstrukcyjnych a zachodzące pod ich wpływem procesy degradacyjne są wynikiem synergicznego działania wielu czynników takich jak ciepło, tlen, ozon, promieniowanie radiacyjne, promieniowanie UV, substancje chemiczne w tym również woda i para wodna, oraz naprężenia mechaniczne, z których szczególnie istotne znaczenia mają cyklicznie zmieniające się naprężenia dynamiczne prowadzące do zmęczenia materiału. Swoiste znaczenie ma to w przypadku materiałów polimerowych i ich kompozytów, dla których procesy degradacji starzeniowej odzwierciedlone są w zmianach budowy cząsteczkowej, zmniejszaniu się sił wiązań grup bocznych, przebudowie struktury materiału, przemianach fazowych, efektach reotermicznych oraz zmianach naprężeń własnych. Ze względu na złożoność problemu, procesy degradacji będące wynikiem działania czynników

środowiskowych ciągle są nie do końca rozpoznane, a zachodzące zmiany mogą mieć charakter trwałe bądź odwracalny. Jednak nie można w praktyce wyznaczyć pomiędzy nimi ścisłej granicy. Do zmian o charakterze nieodwracalnym zalicza się przede wszystkim przemiany chemiczne i strukturalne zachodzące wskutek polimeryzacji, depolimeryzacji, sieciowania, natomiast do odwracalnych m.in. chłonność wody. Przy czym zawartość wilgoci w materiale polimerowym kompozytowym może prowadzić do trwałych zmian powodujących obniżenie własności użytkowych [1-3].

Podobnie jest w przypadku degradacji zmęczeniowej kompozytu polimerowego, gdzie zniszczenie materiału jest wynikiem działania wielu mechanizmów uszkodzeń. Są to kolejno pojawiające się mikropęknięcia osnowy, dekohezja na granicy osnowa/wzmocnienie, pęknięcie włókien, delaminacje itp. [4-6].

Ze względu na szerokie zastosowanie kompozytowych materiałów polimerowych o wzmocnieniu z włókien ciągłych, szczególnie

na odpowiedzialne konstrukcje, istotna jest znajomość wpływu procesu starzenia i zmęczenia na własności wytrzymałościowe [7].

2. BADANIA WŁASNE

Celem pracy było określenie wpływu procesu degradacji będącej efektem starzenia cieplnego oraz zmęczeniowego kompozytu o osnowie poliestrowej wzmocnionej włóknem szklanym na własności wytrzymałościowe określone w próbie zginania wg normy PN-EN ISO 178 [8].

Badania starzeniowe i zmęczeniowe prowadzone były równolegle na próbkach wyciętych z rur poliestrowo-szklanych wytwarzanych metodą nawijania krzyżowego (kąt 54°) o zawartości włókna szklanego 52% wagowo.

2.1. Badania starzeniowe

Badania degradacji cieplnej przeprowadzono na próbkach płaskich w komorze z wymuszonym obiegiem powietrza. Dla zapewnienia swobodnego przepływu powietrza pomiędzy próbkami i równomiernego ich nagrzewania próbki ustawiono na siatkowych półkach w odległości około 2 cm (rys. 2.1).

W celu określenia wpływu procesu starzenia cieplnego na własności wytrzymałościowe badania przeprowadzono w trzech temperaturach odpowiadających wybranym warunkom użytkowania 35°C , 45°C i 75°C wg założonego programu – tabela 2.1.

Z upływem czasu starzenia, sukcesywnie losowo wybrane próbki wyjmowano i poddawano próbie wytrzymałości na zginanie zgodnie z normą PN-EN ISO 178:1996 na maszynie Fritz Heckert typu FPZ100/1. Na podstawie badań wyznaczono moduł sprężystości wzdłużnej oraz wytrzymałość na zginanie.



Rys. 2.1. Widok próbek w komorze cieplnej

2.2. Badania zmęczeniowe

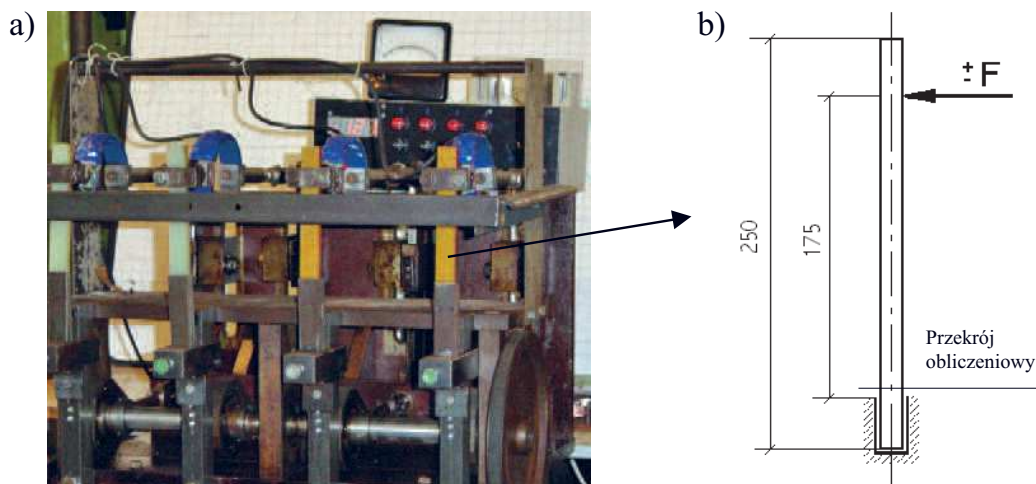
Badania zmęczeniowe przeprowadzono w warunkach zginania na maszynie umożliwiającej płynną regulację amplitudy odkształcenia w zakresie od 4 do 20 mm oraz częstotliwości obciążenia zginania próbek. Urządzenie to wyposażone było w tensometryczny czujnik rejestrujący siłę niezbędną do odkształcenia o zadanej wartości. Próbki mocowano na maszynie zmęczeniowej (rys. 2.2a) wg schematu przedstawionego na rys. 2.2b, ustalając miejsce przyłożenia siły na 175 mm od zamocowania. Próbka była odkształcana amplitudą 20 mm. Częstotliwość odkształcenia zmieniano od 2,25 do 6,7 Hz.

3. WYNIKI BADAŃ

Wyniki zmian wytrzymałości na zginanie, w zależności od czasu i temperatury starzenia przedstawiono na rys. 3.1. Do określenia wpływu procesu starzenia cieplnego na własności wytrzymałościowe przyjęto wytrzymałość na zginanie, gdyż nie odnotowano istotnych

Tabela 1.1. Plan badań

Kolejne badanie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Czas starzenia [h]	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900	1000



Rys. 2.2. Widok stanowiska do badań zmęczeniowych (a) i schemat obciążenia (b)

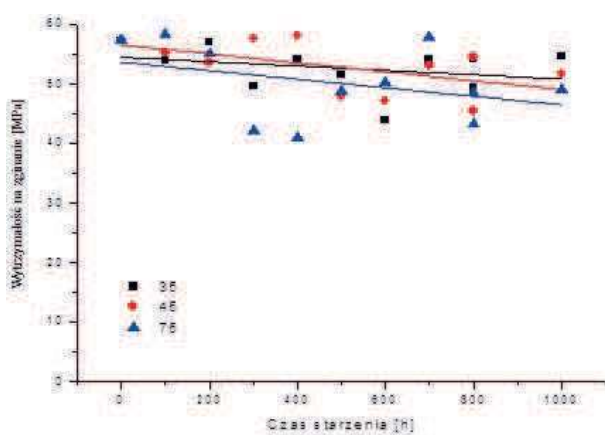
zmian w wartościach modułu sprężystości wzdłużnej w badanym obszarze.

W badanym zakresie temperatur i czasu stwierdzono niewielki wpływ degradacji cieplnej kompozytów poliestrowych na zmiany wytrzymałości na zginanie. Zaobserwowano niewielki wzrost wytrzymałości w pierwszej fazie starzenia tj. w pierwszych 100h, później następuje niewielki spadek uzależniony od temperatury, jednak charakter zmian jest podobny. Tym nie mniej obserwowane zmiany wytrzymałościowe są uzależnione od temperatury starzenia. Wzrost temperatury przyspiesza degradację cieplną, której efektem jest m.in. zmiana barwy próbek, wynikająca z przemian

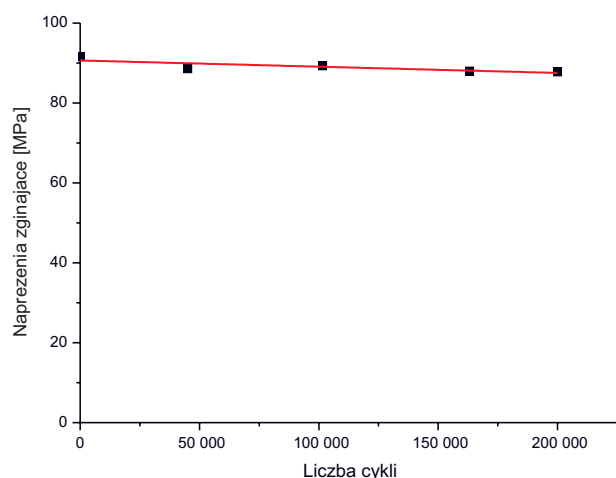
fizyko-chemicznych zachodzących w żywicy poliestrowej.

Wyniki badań zmęczeniowych przedstawiono na wykresach rys. 3.2 – 3.4 odpowiednio dla częstotliwości 2,25 Hz, 4,5 Hz, 6,7 Hz. Do analizy przyjęto wartości średnie zginających naprężeń amplitudalnych w warstwie zewnętrznej, w odległości 10 mm od miejsca zamocowania próbek.

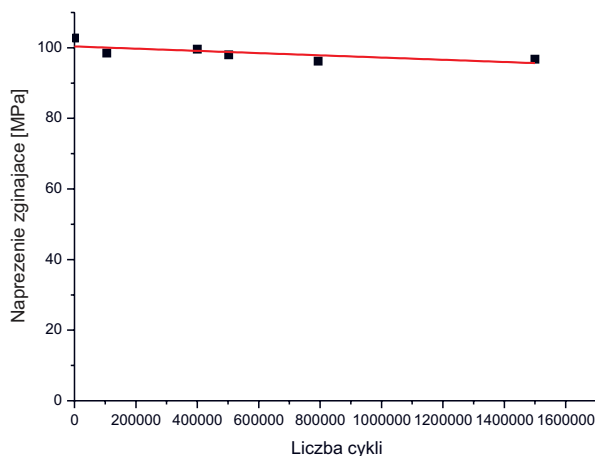
Zarejestrowane zmiany naprężeń zginających w warunkach zadanego wymuszenia odzwierciedlone są w zmianach modułu sprężystości wzdłużnej będące wynikiem degradacji zmęczeniowej. Największy spadek naprężeń



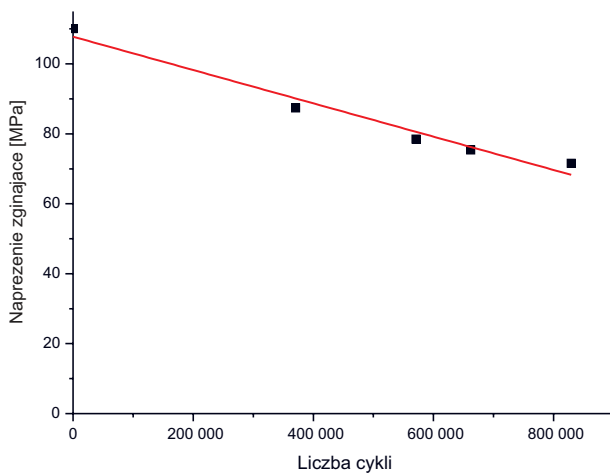
Rys. 3.1. Zależność wytrzymałości na zginanie od czasu starzenia cieplnego



Rys. 3.2. Zależność naprężenia gnącego od liczby cykli zmęczeniowych dla częstotliwości 2,25 Hz



Rys. 3.3. Zależność naprężenia gnącego od liczby cykli zmęczeniowych dla częstotliwości 4,5 Hz



Rys. 3.4. Zależność naprężenia gnącego od liczby cykli zmęczeniowych dla częstotliwości 6,7 Hz

nia zginającego zaobserwowano dla częstotliwości 6,7 Hz przy 800 000 cykli.

4. WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że:

1. Temperatura procesu starzenia wpływa na obniżenie wytrzymałości na zginanie. Im wyższa temperatura prowadzenia procesu starzenia, tym większy spadek wytrzymałości na zginanie.
2. Wytrzymałość na zginanie wykazuje niewielki wzrost wartości w pierwszych 100 h

procesu starzenia, co może świadczyć o do-twardzaniu się żywicy poliestrowej i zwiększeniu sztywności badanej próbki

3. Częstotliwość zadawania obciążenia ma wpływ na proces degradacji zmęczeniowej. Dla mniejszych wartości częstotliwości (2,25 i 4,5Hz) nie zaobserwowano istotnych zmian naprężenia zginającego. Jednak w przypadku prowadzenia procesu zmęczenia z częstotliwością 6,7Hz odnotowano znaczne zmiany w wartościach naprężenia zginającego, które dochodzą do 35% wartości początkowej.
4. Dla pełnego obrazu wpływu warunków degradacji starzeniowo-zmęczeniowej na własności wytrzymałościowe należy przeprowadzić badania w szerszym obszarze i dokonać identyfikacji wad.

Bibliografia

- [1] R. Martin, Ageing of composites, Woodhead Publishing Limited, Cambridge 2008,
- [2] D. Hull, T.W. Clyne: An introduction to composite materials. Cambridge University Press 1996.
- [3] R. K. Bansal, J. Mittal, P. Singh, Thermal stability and degradation studies of polyester resins, Journal of Applied Polymer Science, Vol. 37/7 (1989), s. 1901–1908,
- [4] B. Harris, Fatigue in composites, Woodhead Publishing Limited, Cambridge 2003,
- [5] M. Rojek, Metodologia badań diagnostycznych warstwowych materiałów kompozytowych o osnowie polimerowej, International OCSCO World Press, 2011,
- [6] S. Ochelski, Metody doświadczalne mechaniki kompozytów konstrukcyjnych, WNT 2005,
- [7] M. Szymiczek, G. Wróbel, M. Rojek, T. Czaplą: Simulation diagnostics of the polyester-glass pipes degradation process; experimental basis. Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, Vol. 59/1 (2013), s. 37-47.
- [8] PN-EN ISO 178-2006 – Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwości przy zginaniu