

Małgorzata SZYMICZEK, Maciej Rojek, Gabriel WRÓBEL

Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Politechnika Śląska

Ocena stopnia utraty własności wytrzymałościowych kompozytowych powłok nawijanych

Streszczenie. W pracy omówiono metody oceny stopnia wyczerpania własności użytkowych kompozytowych powłok poliestrowo-szklanych wykonywanych metodą nawijania. Ocena wyczerpania własności wytrzymałościowych podczas eksploatacji jest utrudniona i wymaga szerszej analizy z uwzględnieniem wad powstałych w wyniku procesu technologicznego. Określenia zmian badanych charakterystyk zachodzących podczas eksploatacji dokonano poddając powłoki kompozytowe procesowi degradacji starzeniowo-zmęczeniowej. Stopień utraty własności nośnych nawijanych kompozytów poliestrowo-szklanych określono za pomocą pomiaru temperatury nagrzewania (pomiaru termowizyjnego) oraz czasu przejścia fali ultradźwiękowej.

THE EVALUATION OF THE EXHAUSTION DEGREE OF STRENGTH PROPERTIES OF WOUND COMPOSITE SHELLS

Summary. The paper discusses methods of evaluation with reference to exhaustion degree of functional properties of wound polyester-glass composite shells. The evaluation of exhaustion degree of mechanical properties during the exploitation is complicated and requires broader analysis taking into account the disadvantages resulting from the technological process. The determination of changes during the exploitation was carried out by subjecting the composite shells to accelerated ageing-fatigue degradation. The exhaustion degree of mechanical properties of wound polyester – glass composites was determined by measuring the temperature of heating (thermovision) and the transition time of the ultrasonic wave.

1. WSTĘP

Wielowarstwowe materiały kompozytowe, stosowane na odpowiedzialne konstrukcje, wymagają dokładnego i ciągłego monitorowania własności użytkowych. Tylko takie podejście pozwala na ich długotrwałą, bezawaryjną, bezpieczną eksploatację. Ze względu na fakt, że są to materiały wielofazowe, a procesy wytwarzania wyrobów z takich materiałów nie eliminują tzw. wad technologicznych ocena stanu wyczerpania własności wytrzymałościowych w sposób nieniszczący jest procesem skomplikowanym i wymagającym znajomości charakterystyk wyjściowych. Własności kompozytów polimerowych wzmocnionych włóknem ciągłym zależą od wielu czynników takich jak własności komponentów (osnowy i wzmocnienia), adhezji żywicy do włókna,

jego zwilżalności, wzajemnej współpracy włókna i żywicy oraz zawartość procentowa włókna w kompozycie. Uzyskanie odpowiedniego połączenia adhezyjnego w niektórych metodach wytwarzania jest dosyć trudne, a własności kompozytów są wynikiem wielu czynników również technologicznych (np. złe przesycenie) czy środowiskowych (np. temperatura otoczenia). Należy jednak podkreślić, że wielowarstwowe kompozyty polimerowe, które wytwarzane są np. metoda RTM, infuzji czy nawijania już na wstępie mogą mieć duże rozbieżności w własnościach użytkowych. Przykładowo w metodzie nawijania niemonitorowana siła naciągu włókna może powodować falowanie jego powierzchni [1-2].

Podjęta w pracy problematyka określenia stopnia utraty własności nośnych kompozytów poliestrowo-szklanych wytwarzanych

metodą nawijania śrubowego przez zastosowanie metody ultradźwiękowej i termowizyjnej pozwala na poszukiwania wad materiałowych w pierwszej fazie procesu zniszczenia w wymiarze mikro, które w efekcie końcowym prowadzą do delaminacji [3-7].

Cylindryczne powłoki kompozytowe wzmocnione nawojem z włókien stosowane są w szczególnie trudnych warunkach ze względu na stan obciążenia, z reguły wywołany ciśnieniem medium, o charakterze statycznym lub dynamicznym. Jednocześnie często narażone są na inne czynniki środowiskowe jak podwyższona lub obniżona temperatura, agresywne oddziaływanie chemiczne, penetracja cieczy lub gazu, promieniowanie itd. Wymaga to rzetelnego określenia czasu eksploatacji oraz wskazanie zmian ograniczających czy wręcz dyskwalifikujących element z użytkowania [6,7].

Niniejsza praca poświęcona jest diagnostyce termowizyjnej i ultradźwiękowej nawijanych krzyżowo kompozytów poliestrowo-szklanych poddanych degradacji starzeniowo-zmęczeniowej. Określenie charakteru relacji diagnostycznych pozwoli w praktyce przemysłowej na ocenę własności wytrzymałościowych badanych kompozytów. Należy jednak podkreślić, że opracowane relacje mogą być wykorzystywane tylko dla badanej grupy materiałów. W przypadku innych układów należałoby przeprowadzić podobne badania.

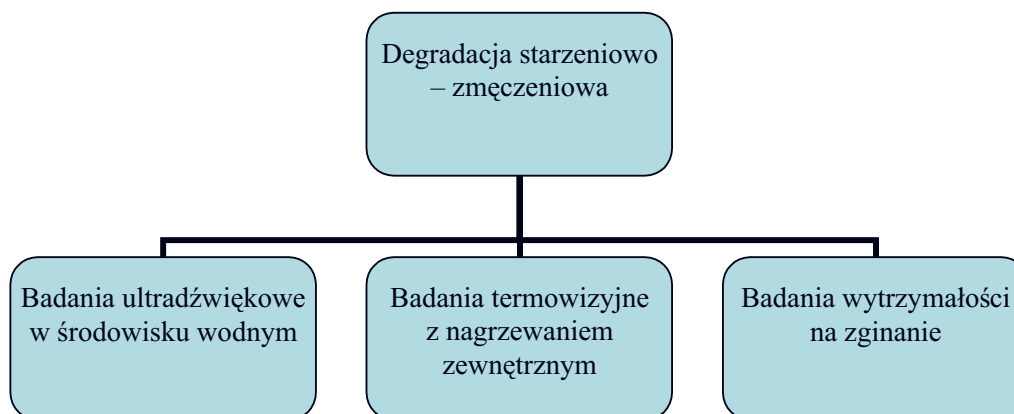
2. BADANIA WŁASNE

2.1. Metodyka badań

Celem badań była ocena stopnia utraty własności użytkowych za pomocą pomiaru czasu przejścia fali ultradźwiękowej (badania ultradźwiękowe – metoda echa) oraz temperatury nagrzewania próbek poddanych impulsowi cieplnemu (badania termowizyjne) w odniesieniu do wytrzymałości na zginanie. Oceny stopnia wyczerpanie własności wytrzymałościowych dokonano w sposób założony w programie badań za pomocą degradacji starzeniowo-zmęczeniowej zgodnie z prawem Archeniussa [6,7].

Badaniom poddano osiowo cylindryczne powłoki wykonane metodą nawijania włókna szklanego (kąąt 54° i zawartości 52% wagowo) przesyconego mieszką żywic poliestrowych składającej się z uniepalnionej, ortoftalowej, Polimal 104 TS [8] oraz reaktywnej, typu orto/tereftalowego, samogasnącej, o podwyższonych właściwościach chemoodporności Estromal 14.CNP-03/P [9]. Dodatkowo do kompozycji żywic dodano sadzę, która zmniejsza oporność powierzchniową poniżej 10⁶ Ω. Powłoki kompozytowe nawinięto metodą krzyżową na rdzeń z poli(chlorku winylu), który stanowi integralną część konstrukcji podwyższającą szczelność układu.

Na rys. 2.1. przedstawiono schematycznie program badań. Opis poszczególnych etapów



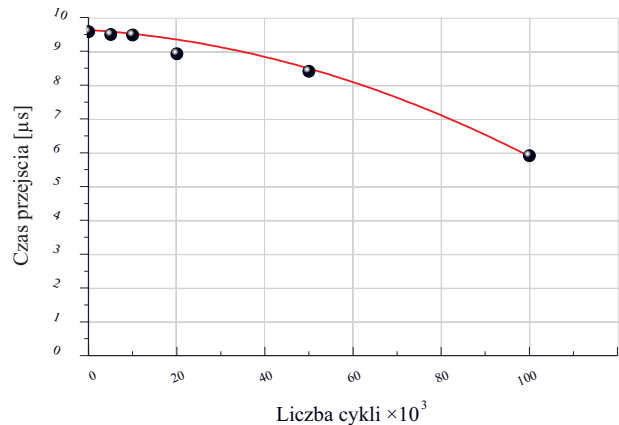
Rys. 2.1. Schemat program badań

badania zamieszczono w pracach [9-11]. Badania starzeniowo-zmęczeniowe (temperatura 30°, ciśnienie pulsacyjne od 2 do 7 MPa), pomiaru czasu przejścia fali ultradźwiękowej i termowizyjne (pomiar maksymalnej temperatury podczas nagrzewania po czasie 60s) wykonywano na poliestrowo-szklanych powłokach osiowo cylindrycznych z rdzeniem z PVC, natomiast do określenia wytrzymałości na zginanie wycięto próbki płaskie i usunięto warstwę PVC. Badania ultradźwiękowe prowadzono na defektoskopie UMT 17 przy użyciu głowicy 2,25 MHz. Pomiary zmian temperatury przeprowadzono kamerą Flir A650. Wytrzymałość na zginanie określono w próbie trójpunktowego zginania na maszynie Zwick/Roell Z020 zgodnie z normą [11].

2.2. Wyniki badań

Wyniki badań przedstawiono na rysunkach:

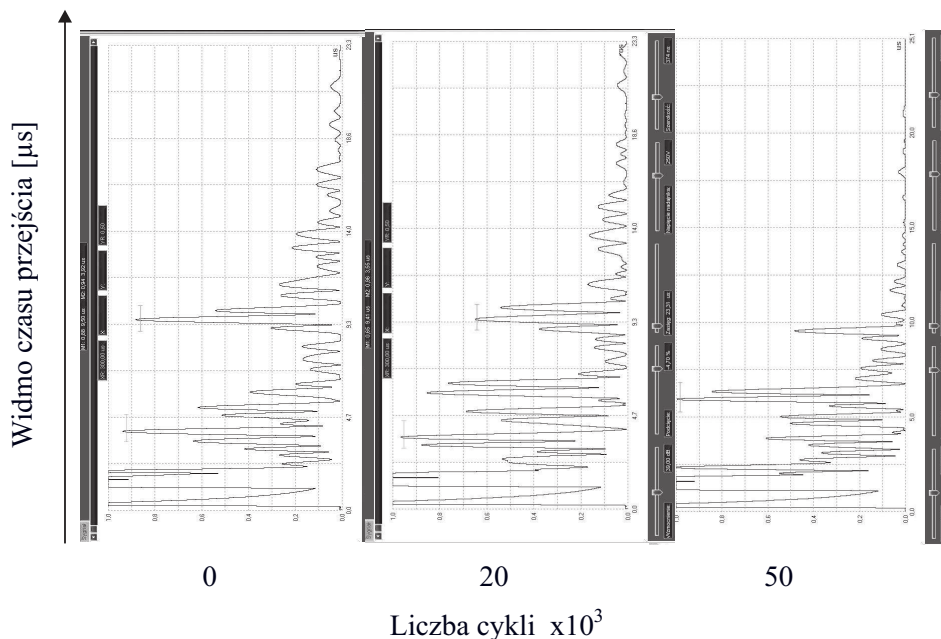
- czas przejścia fali ultradźwiękowej – Rys. 2.2 i 2.3,
- maksymalna temperatura nagrzewania powierzchni kompozytu – Rys. 2.4 i 2.5,
- wytrzymałości na zginanie – Rys. 2.6.



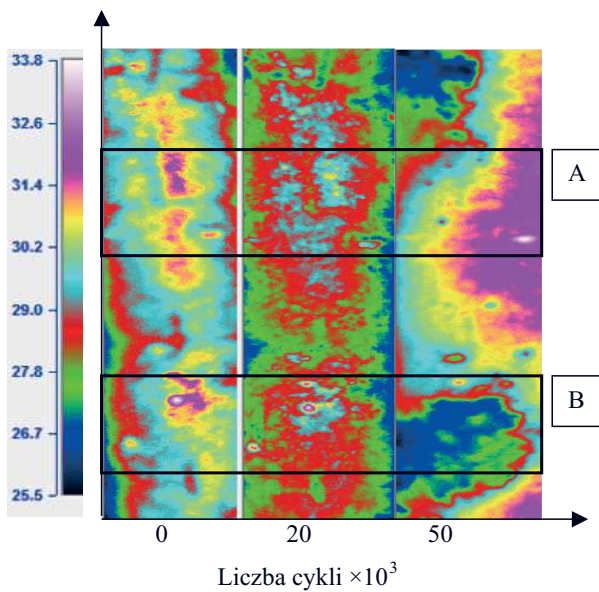
Rys. 2.3. Zależność czasu przejścia fali ultradźwiękowej od liczby cykli

Jak widać na rys. 2.3 oraz 2.5 czas przejścia fali ultradźwiękowej oraz maksymalna temperatura nagrzewania w zależności od degradacji starzeniowo-zmęczeniowej, określanej liczbą cykli sukcesywnie się obniża, co świadczy o postępujących zmianach w materiale. Podobny obraz zmian odnotowano przy pomiarze wytrzymałości na zginanie – rys. 2.6.

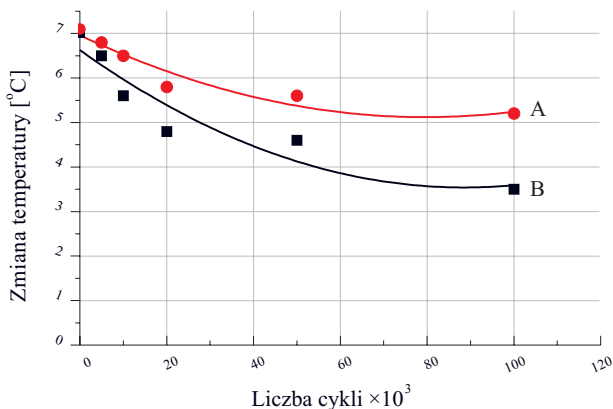
Przedstawione na rys. 2.4. termogramy obrazują różnice w rozkładzie maksymalnej temperatury nagrzewania. Wartość maksymalnej



Rys. 2.2. Przykładowe widma czasów przejścia w zależności od liczby cykli

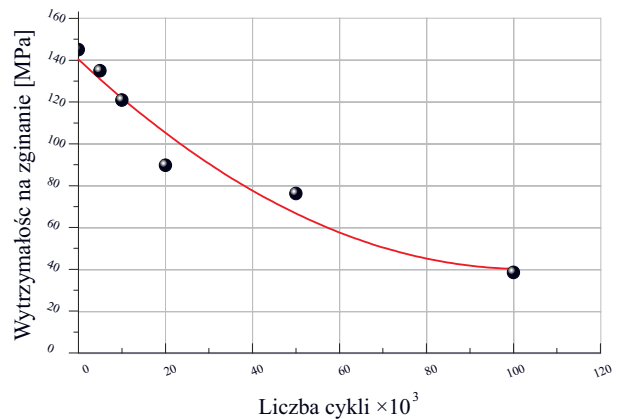


Rys. 2.4. Przykładowe termogramy w zależności od liczby cykli A – obszar bez wad, B – obszar z wadami

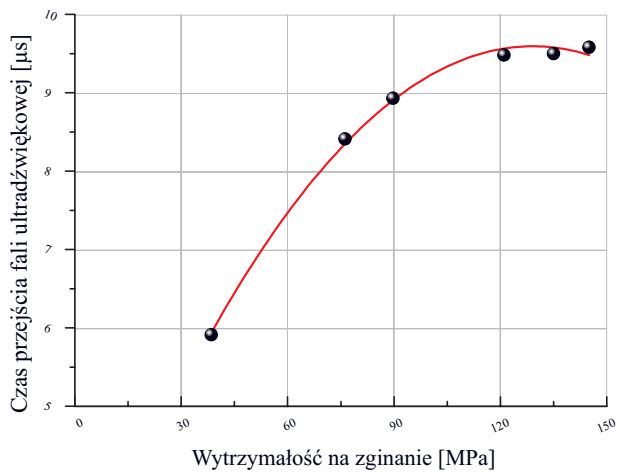


Rys. 2.5. Zależność zmiany temperatury nagrzewania od liczby cykli dla A – obszar bez wad, B – obszar z wadami

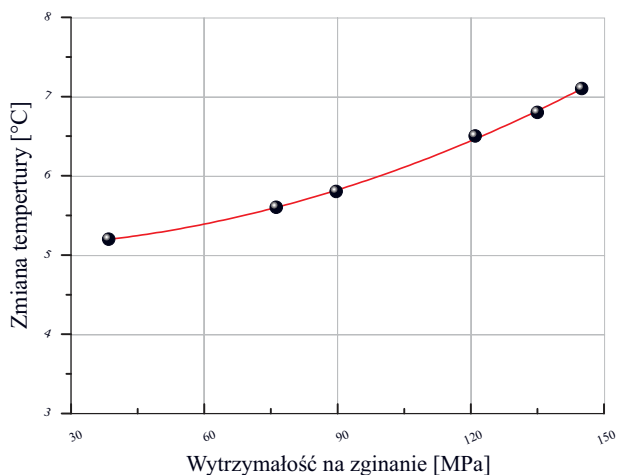
temperatury powierzchni badanego kompozytu nagrzewanego impulsowo będzie w znacznym stopniu uzależniona od głębokości wady. Metoda termowizyjna nie pozwala na dokładne określenie głębokości występowania wady, natomiast daje informacje, że wada istnieje. Dokładne zwymiarowanie wady i określenie jej położenia jest możliwe metodą ultradźwiękową. W związku z powyższym dla pełnego obrazu stanu kompozytu obie metody powinny być stosowane równolegle.



Rys. 2.6. Zależność wytrzymałości na zginanie od liczby cykli



Rys. 2.7. Relacja diagnostyczna pomiędzy czasem przejścia fali ultradźwiękowej i wytrzymałością na zginanie



Rys. 2.8. Relacja diagnostyczna pomiędzy zmianą temperatury po nagrzewaniu i wytrzymałością na zginanie

Przeprowadzone badania pozwalają na określenie stopnia utraty własności wytrzymałościowych – wytrzymałości na zginanie, co przedstawiono na rys. 2.7 oraz 2.8. Zaprezentowane relacje opracowano dla wybranego obszaru badań i stref, w których występują wady rozproszone, mikropęknięcia, a nie obserwuje się delaminacji.

WNIOSKI

Na podstawie przeprowadzonych badań można stwierdzić, że:

1. Czas przejścia fali ultradźwiękowej oraz zmiana temperatury po nagraniu cylindrycznych powłok rurowych obniża się wraz z liczbą cykli zmęczeniowych,
2. Widmo czasu przejścia fali ultradźwiękowej oraz obraz rozkładu temperatury pozwala na określenie głębokości występowania wady,
3. Opracowane relacje diagnostyczne pozwalają monitorować stan kompozytu w czasie eksploatacji.

Bibliografia

- [1] D. Hull, T.W. Clyne: An introduction to composite materials. Cambridge University Press 1996.
- [2] W. Błazejewski W.: Metodyka doboru struktury kompozytowego oplotu nośnego zbiorników wytwarzanych metodą nawijania. Czasopismo

Techniczne – Politechnika Krakowska. Mechanika. 2009, z. 1-M, s. 9-14.

- [3] A. Lewińska-Romicka: Badania nieniszczące. Podstawy defektoskopii. WNT, Warszawa 2001.
- [4] M. Rojek, M. Szymiczek, G. Wróbel: Nieniszczące metody badań materiałów polimerowych, Przetwórstwo Tworzyw 6(144)/2011, s. 507-510.
- [5] R. Martin, Ageing of composites, Woodhead Publishing Limited, Cambridge 2008,
- [6] B. Harris, Fatigue in composites, Woodhead Publishing Limited, Cambridge 2003,
- [7] Karta produktu – Organika Sarzyna.
- [8] Karta produktu – LERG S.A. Pustków.
- [9] M. Szymiczek, M. Rojek, G. Wróbel: Test of composite pipe in the aspect of diagnostic of aging – fatigue changes, Proceedings of International Seminar on Science and Education, Italy (2011), s. 61-63.
- [10] J. Stabik, M. Szymiczek, G. Wróbel, M. Rojek: New stand for composite pipes testing, Proceedings of X International Conference of the Quality, Reliability and Long Usage of Technical Systems and Technological Processes, Israel (2012), s. 63-66.
- [11] 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.
- [12] PN-EN ISO 178 – 2006 – Tworzywa sztuczne – Oznaczanie właściwości przy zginaniu