

Wojciech Błażejowski¹

Politechnika Wroclawska, Instytut Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej, ul. Smoluchowskiego 25, 50-370 Wrocław

Werner Hufenbach², Andrzej Czulak³, Robert Böhm⁴

Technische Universität Dresden, Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, Dürerstraße 26, D-01062 Dresden

WYTWARZANIE I BADANIE KOMPOZYTOWYCH PRÓBEK RUROWYCH WZMOCNIONYCH WŁÓKNEM SZKLANYM

Kompozyty wzmocnione włóknem szklanym, a także węglowym oferują bardzo duże możliwości w konstrukcjach lekkich, a w szczególności w przemyśle lotniczym, samochodowym i chemicznym. W tym ostatnim dzięki doskonałym własnościom wytrzymałościowym i odpowiedniej odporności na działanie związków chemicznych obok elementów rur stalowych często wykorzystuje się elementy warstwowo wzmocnionych rur hybrydowych. Ich struktura nośna składa się ze zbrojonych włóknami szklanymi tworzyw termo- i chemoutwardzalnych. Tego rodzaju instalacje z tworzywa sztucznego wzmocnionego włóknem szklanym służą przede wszystkim do transportu związków chemicznych, odprowadzania ścieków przemysłowych, doprowadzenia wody przemysłowej, ale także wykorzystuje się je jako rury kanalizacyjne oraz elementy odciągów powietrza lub gazów technicznych. Dodatkowo do specjalnych zastosowań można użyć jako osnowy różnorodnych reaktywnych, termo- i chemoutwardzalnych żywic, takich jak: nienasyconej żywicy poliestrowej lub winylowej posiadającej dobrą trwałość chemiczną.

W ostatnim czterdziestolecu nastąpiła zasadnicza poprawa własności komponentów materiałów zbrojonych, dzięki czemu poszerzył się obszar zastosowania tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknami szklanymi. W ramach rozwoju odpowiednich systemów łączenia oraz procesów produkcyjnych zalecane jest współdziałanie czynników ekonomicznych z zachowaniem odporności na korozję oraz obniżeniem masy elementów. Dotychczas stosowanymi technikami wytwarzania hybrydowych rur wzmocnionych włóknem szklanym były nawijanie oraz produkcja ręczna, które w zastosowaniach przemysłowych nie odgrywały znaczącej roli. Posiadały one ograniczenia szybkości produkcji, długości i kształtów elementów, a także miały wysokie koszty wytwarzania. Alternatywą do wspomnianych technik jest metoda wytwarzania rur z wykorzystaniem plecionych rękawów.

W pracy podano techniki wytwarzania próbek rurowych w celu późniejszych badań i oceny (określenie parametrów technicznych) włóknistego materiału. Próbkę mogą służyć do prowadzenia badań na skręcanie, rozciąganie i ciśnienie wewnętrzne, a także kombinacje wymienionych. Autorzy mają doświadczenie w wykonywaniu próbek metodą nawijania lub laminowania z użyciem rękawów utkanych z włókien wzmacniających. Celem pracy jest optymalizacja procesu wytwarzania kompozytowych próbek rurowych (rys. 1). Po wykonaniu rurek kompozytowych przeprowadzono również testy ciśnieniowe przy użyciu gumy jako medium roboczego, a także próby ściskania gumy w próbce rurowej o bardzo grubej ścianie (nieodkształcalnej). W obu przypadkach wykorzystano również metodę emisji akustycznej (rys. 6).

Słowa kluczowe: technologia, metoda nawijania, badania kompozytów, złożony stan naprężenia, EA

MANUFACTURE AND TEST OF COMPOSITE TUBE SPECIMENS WITH BRAIDED GLASS FIBER REINFORCEMENT

The reinforced composites offer a - not jet utilized - lightweight potential for innovative lightweight applications. One of the most frequent occurring problems in the design of composites structures with textile reinforcement is the determination of directional mechanical properties of composite materials. Here, the material characteristics of matrix material and fibers given by manufacturer are not helpful in the design process, because of different manner of treatment used during manufacturing by various producers. Thus, before the design and realization of a composite prototype structure it is necessary to conduct experiments in order to evaluate the composites materials properties. Here, it is important to use the same production technique in preparing the samples as in the prototype manufacture, so that the manufacture influence can be assessed.

The determination of strength related properties and a subsequent failure analysis of reinforced composites require advanced tests under uni-axial and multiaxial loading conditions. In the production process of composite tubular samples the composite material is put onto the cylindrical core (diameter: 40 mm), using winding or woven sleeves methods. The basic method of production of tube specimens, is showed in Figures 2 and 3.

In the next step various finishing techniques have been tested for removing the resin overflow, air includes and flattening of impregnated fibre layers, achieving a smooth and homogenous outer surface. The chosen technique should be optimal in consideration of repeatability and costs of production. The basic method of various finishing techniques of tube specimens, is showed in Figures 4 and 5.

Here, the tests pressure was achieved by the use of rubber as working medium. A heap of cylindrical rubber blocks with a height of 100 mm was put into the pipe. This heap was compressed bilaterally by steel pushers fixed in clamped support of tension testing machine (Fig. 6). During this investigation the size of dislocation of rammers and increase of the compression force was recorded. Acoustic emission and the size of dislocation were the parameters of the destruction level of the composite material. It was recognized, that investigation of the strength torsion, tension, compression, internal pressure (as well as combination of mentioned) on used tubular samples have the smallest mistake consequential from preciseness of realization of the samples, because of the specific mechanical processing (e.g. cut), the kind of load etc. Within the manufacture process the best finishing techniques is the wrapping around with textile tape. This technology assures the good extraction of excess of impregnate, extraction of the air includes, flattening the layers of composite. The comparison of the investigation methods, depending on the pressure of rubber inside of tubular sample, is satisfying using selected

¹ dr inż., ² prof. dr hab. inż., ^{3,4} mgr inż.

techniques of production. Here, following criteria were used: pressure force, size of acoustic signal in load function as well as appearance of specimen.

Key words: braiding, filament winding material characterization, multiaxial state of stress, composite tube AE

WSTĘP

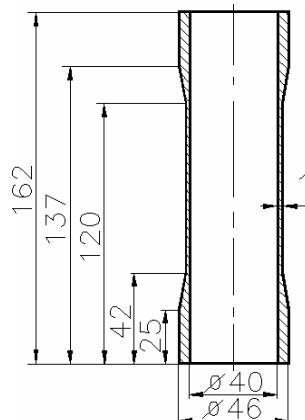
Jednym z najczęściej napotykanym problemów w czasie projektowania kompozytowych elementów konstrukcyjnych, np. przy wykorzystaniu komercyjnego oprogramowania komputerowego, jest dobór właściwości materiałowych kompozytu. Podawane przez producentów dane materiałowe syciw i włókien przydatne w projektowaniu konstrukcji kompozytowych nie są wystarczające lub opatrzone sporymi błędami, wynikającymi z różnych sposobów przetwórstwa materiałów składowych kompozytu. Oznacza to, że przed wykonaniem prototypu konstrukcji kompozytowej należy wykonać szereg badań w celu np. oceny współpracy składników materiału, zwłaszcza przy spełnieniu warunku użycia tych samych technik wytwarzania prototypu konstrukcji i próbki. Badania wytrzymałościowe kompozytów można prowadzić na takich obiektach, jak: próbki wioselkowe, belki zginane, pierścienie NOL itd. W niniejszej pracy zaproponowano metodę oceny materiału kompozytowego badanego w jedno- lub dwuosiowym stanie naprężenia na tych samych próbkach. Metodę tę stosuje się w TU Drezno przy doborze materiału kompozytowego na etapie projektowania konstrukcji [1-6]. Wymienione prace dotyczą badań rur kompozytowych poddanych skręcaniu z jednoczesnym ściskaniem lub ciśnieniem wewnętrznym z jednoczesnym ściskaniem. Bibliografia zebrana w opracowaniu [1] przedstawia prace innych ośrodków badających ten problem. Również w IMiMT PWr od paru lat badane są rury kompozytowe przy skręcaniu oraz ciśnieniu wewnętrznym [7, 8].

Technologia wykonania próbek rurowych należy do prostych (w porównaniu np. do tzw. wioseltek), a także zapewnia większą powtarzalność. Ponadto w badaniach próbek rurowych nie ma efektów wynikających z cięcia (zagadnienia chropowatości, tolerancji wymiarów, termiczne itp.).

TECHNIKI WYTWARZANIA

Przy wytwarzaniu próbek rurowych materiał kompozytowy nanoszony jest na rdzeń walcowy o średnicy 40 mm metodą nawijania lub laminowania z użyciem rękawów. Następnie stosuje się różne techniki wykończeniowe w celu usunięcia pęcherzy powietrza z nieusieciowanego materiału oraz uzyskanie gładkiej powierzchni. Próbowano różnych metod polegających na użyciu środków antyspianających, termokurczów, próz-

ni, wirowania odśrodkowego itp. Jednak najlepsze efekty osiągnięto przy użyciu taśmy płóciennej, bandażując zewnętrzną powierzchnię uformowanej próbki rurowej.



Rys. 1. Szkic próbki rurowej (konstrukcja własna, niestandardowa)

Fig. 1. Sketch of typical tube specimen (own construction)



Rys. 2. Nasunięcie na rdzeń koszulki plecionej

Fig. 2. Add the weave pipe

Metoda podstawowa wytwarzania próbek rurowych przedstawionych na rysunku 1 polegała na:

- nałożeniu środka rozdzielającego na rdzeń metalowy,
- naniesieniu syciwa (np. żywicy epoksydowej),
- nasunięciu na rdzeń koszulki plecionej (np. włókna szklanego) - pierwsza warstwa (rys. 2),
- nawinięciu warstwy rowingu szklanego w obszarze chwytowym próbki (rys. 3),
- nasunięciu na rdzeń koszulki plecionej (druga warstwa),
- nawinięciu nieco szerszej warstwy rowingu szklanego w obszarze chwytowym próbki,
- nasunięciu na rdzeń koszulki plecionej (trzecia warstwa),

- nawinięciu jeszcze szerszej (ostatecznej) warstwy rowingu szklanego w obszarze chwytowym próbki o szerokości ponad 42 mm (rys. 1).

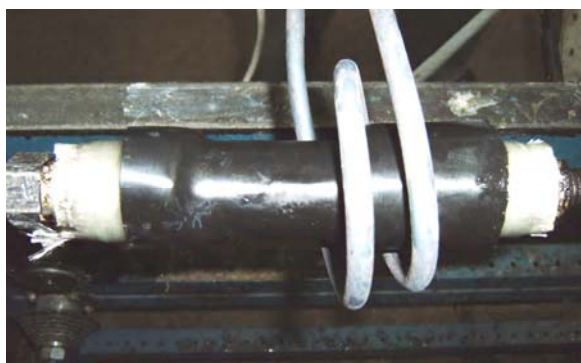


Rys. 3. Nawinięcie warstwy rowingu szklanego

Fig. 3. Wind the roving

Następnie testowano różne techniki wykończeniowe w celu:

- usunięcia nadmiaru syciwa,
- usunięcia pęcherzy powietrza,
- sprasowania nasyconego włókna,
- uzyskania gładkiej powierzchni,
- wytypowania optymalnej technologii wytwarzania próbek ze względu na koszty, powtarzalność itp.



Rys. 4. Zaciśnięcie koszulki termokurczliwej

Fig. 4. Press of thermo-shrinking sleeve



Rys. 5. Owijanie taśmą z tkaniny

Fig. 5. Wrapping with fabric tape

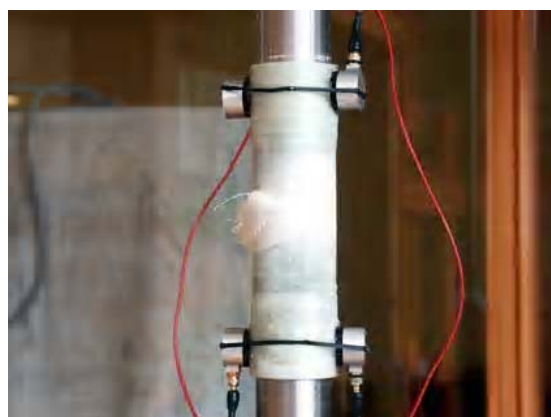
Wymienione aspekty mają wpłynąć na polepszenie warunków współpracy materiałów składowych kompozytu oraz wytrzymałości końcowej próbki. W szczególności testowano następujące techniki wykończeniowe:

- Kilka przejść naciągniętej tkaniny z dociskiem ok. 3 kg i zebranie nadmiaru syciwa.
- Zaciśnięcie koszulki termokurczliwej*.
- Obciśnięcie perforowaną koszulką termokurczliwą (rys. 4).
- Zastosowanie próżni podczas żelowania.
- Dodanie do syciwa środka antypieniającego.
- Owijanie taśmą z folii.
- Owijanie taśmą z tkaniny (rys. 5).

Wykonane próbki rurowe oceniano eksperymentalnie na podstawie porównania złomów i wielkości obciążeń (ciśnien niszczących).

BADANIA

Testy ciśnieniowe prowadzono przy użyciu gumy jako medium roboczego. Do rury włożono stos krążków gumowych. Jego wysokość wynosiła 100 mm. Stos ten został obustronnie ściśnięty przez stalowe tłoczki zamocowane w szczękach maszyny wytrzymałościowej (rys. 6). W czasie badań rejestrowano wielkość przemieszczenia tłoczków i przyrost siły ściskającej oraz emisję akustyczną jako parametr poziomu zniszczenia materiału kompozytowego. Na rysunku 6 przedstawiono wykonaną próbkę rurową w czasie badań ciśnieniowych. Widoczne są tłoki stalowe ściskające krążki gumowe wewnątrz próbki oraz cztery czujniki akustyczne. Najlepsze wyniki otrzymano dla próbek owijanych taśmą z tkaniny.

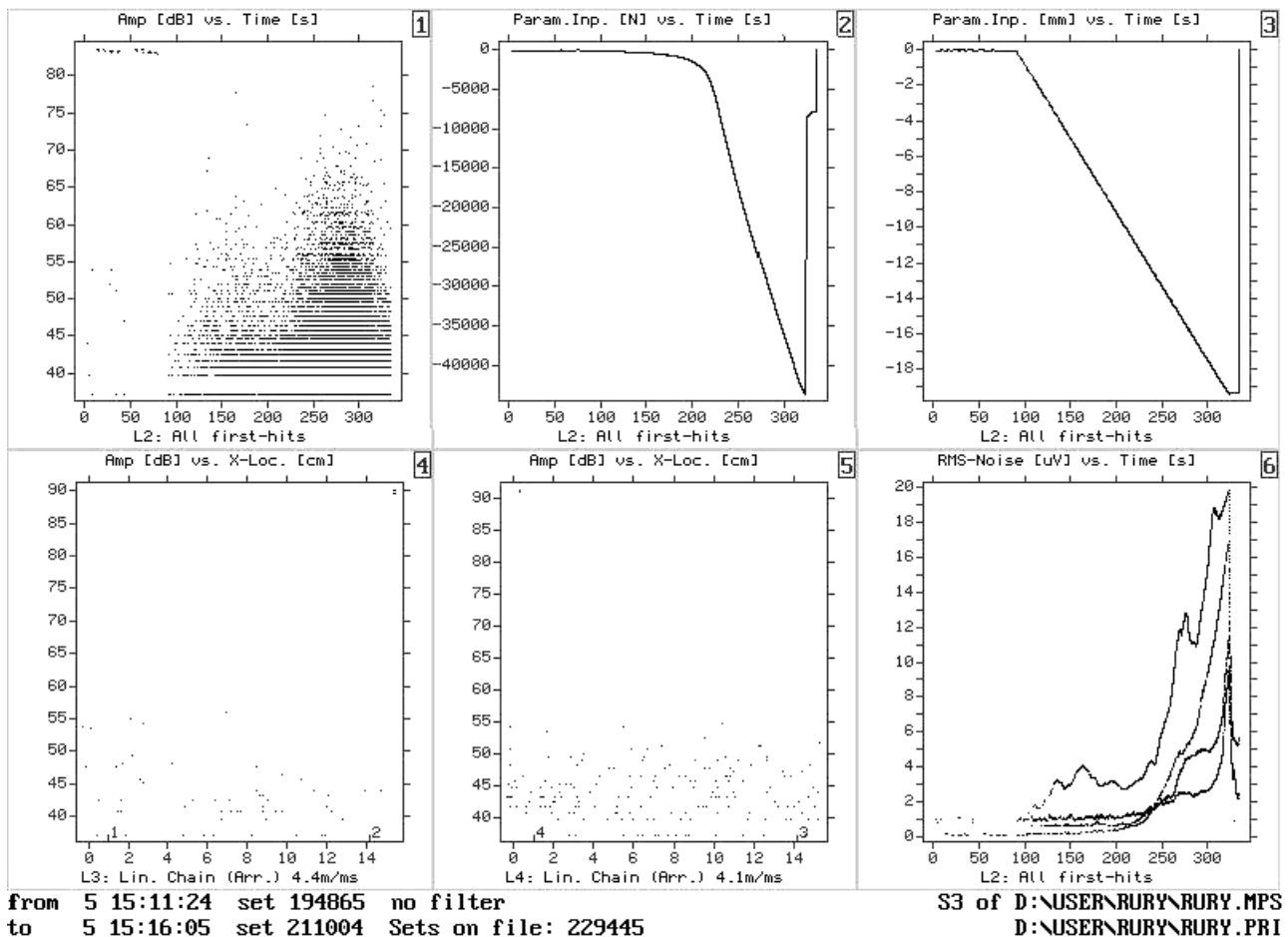


Rys. 6. Widok próbki rurowej w czasie testów weryfikujących technikę wytwarzania próbki kompozytowej

Fig. 6. Tube specimen during of tests

Stos gumowych krążków pokrywano talkiem. Testowano również inne smary, takie jak smar silikonowy,

* koszulka termokurczliwa - wyrób firmy RADPOL z Człuchowa, www.radpol.com.pl



Rys. 7. Przykładowe wyniki badań próbki rurowej przedstawionej na rysunku 6: 1) amplituda zdarzeń akustycznych w czasie, 2) siła, 3) przemieszczenie, 4) i 5) amplituda zdarzeń akustycznych wzdłuż próbki, 6) RMS - wartość skuteczna zmierzonego sygnału

Fig. 7. Results of acoustic emission: 1) amplitude of acoustic events - time relation, 2) force, 3) displacement, 4) and 5) amplitude of acoustic events in specimen, 6) RMS

mydliny itp. Uznano, iż wpływ tarcia jest pomijalnie mały. Dodatkowo przeprowadzono próby ściskania gumy w próbce rurowej o bardzo grubej ściance (nieodkształcalnej). Otrzymany wynik obciążania gumy odejmowano od danych uzyskanych z badań próbek kompozytowych. W ten sposób otrzymywano porównywalne wyniki z badaniami ciśnieniowymi przy użyciu oleju jako medium roboczego.

WYNIKI BADAŃ

Do oceny wytworzonego materiału kompozytowego zastosowano następujące kryteria:

- ocena wzrokowa powierzchni zewnętrznej i tzw. transparentności próbki,
- ocena zglądów w przekroju poprzecznym ścianki próbki rurowej przy powiększeniach 200x,
- pomiar EA w czasie obciążania próbki, w tym porównanie amplitud, RMS oraz tłumienia sygnału,
- porównanie obciążeń niszczących,
- technologiczność procesu wytwarzania, powtarzalność oraz koszty.

Na rysunku 7 zaprezentowano przykładowe wyniki badań próbki rurowej. Obciążanie prowadzono, sterując przemieszczeniem (przy stałym przemieszczeniu tłoka rys. 7.3). Przy takim obciążaniu zarejestrowano siłę (rys. 7.2). Pozostałe wykresy dotyczą zmierzonej EA: rysunek 7.1 przedstawia zmierzona amplitudę zdarzeń akustycznych w czasie, rysunki 7.4 i 7.5 przedstawiają zmierzona amplitudę zdarzeń akustycznych wzdłuż próbki, rysunek 7.6 to RMS - wartość skuteczna zmierzonego sygnału.

PODSUMOWANIE

- Uznano, iż badania wytrzymałościowe na skręcanie, rozciąganie, ściskanie, ciśnienie wewnętrzne oraz kombinacja wymienionych) przy użyciu próbek rurowych są opatrzone najmniejszym błędem, wynikającym z dokładności wykonania próbki, nieprzewodzenia obróbki mechanicznej (np. cięcie), charakteru obciążenia itp.
- Najlepsza technika wykończeniowa to owijanie taśmą z tkaniny. Technika ta zapewnia dobre wyciśnięcie

nadmiaru syciwa, wyciśnięcie pęcherzy powietrza, sprasowanie kolejnych warstw materiału kompozytowego oraz nadaje próbkę charakterystyczny równomierny matowy wygląd.

- Porównawcza metoda badań, polegająca na ściskaniu gumy wewnątrz próbki rurowej, jest doskonała w ocenie przyjętej techniki wytwarzania. Kryteriami oceny były następujące wielkości: siła ściskająca, wielkość sygnału akustycznego w funkcji obciążania oraz wygląd złomu.
- Kolejnym krokiem będzie wykonanie symulacji komputerowych, umożliwiających porównanie z wynikami otrzymanymi podczas badań.

LITERATURA

- [1] Błażejowski W., Chmielarczyk P., Langkamp A., Ciśnieniowe badania rur kompozytowych w złożonym stanie naprężeń, XIX Sympozjum Mechaniki Eksperymentalnej Ciała Stałego, Jachranka, 18-20 października 2000.
- [2] Hufenbach W., Kroll L., Laminated cylindrical shells under mechanical and hygro-thermal loads, *Advances in Engineering Software* 1995, 23, 83-88.
- [3] Hufenbach W., Kroll L., Böhm R., Langkamp A., Czulak A., Piping elements from textile reinforced composite materials for chemical apparatus construction, 12th International Scientific Conference Achievements in Mechanical & Materials Engineering, Zakopane, 7-10.12.2003, 391-398.
- [4] Hufenbach W., Kroll L., Böhm R., Langkamp A., Rohrleitungselemente aus textilverstärkten Verbundwerkstoffen für den chemischen Apparatebau, *Chemie Ingenieur Technik* 2004, 76(7), 898-902.
- [5] Zając P., Błażejowski W., Czulak A., Böhm R., Badania kompozytowych próbek rurowych do oceny własności materiału kompozytowego, *Materiały Polimerowe Pomerania-Plast* 2004, Międzyzdroje, 2-4.6. 2004.
- [6] Kroll L., Hufenbach W., Physically based failure criterion for dimensioning of thick-walled laminates applied, *Composite Materials* 1997, 4, 321-332.
- [7] Błażejowski W., Ciśnieniowe badania niszczące kompozytowych rur nawijanych, VI Krajowa Konferencja Mechaniki Pękania, Politechnika Świętokrzyska, 62, Kielce-Ameliówka, 22-24 września 1997, 43-50.
- [8] Chmielowski W., Określanie własności materiałowych długowłóknistego kompozytu polimerowego, praca dyplomowa, IMiMT Politechnika Wroclawska, Wrocław 2002.

Recenzent
Józef Koszkuł