



Werner Hufenbach¹, Wojciech Błażejowski², Andrzej Czulak^{3*}

^{1,3} Technische Universität Dresden, Institut für Leichtbau und Kunststofftechnik, 01062 Dresden, Germany

² Politechnika Wroclawska, Instytut Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej, ul. Smoluchowskiego 25, Wrocław 50-370, Poland

e-mail: *czulak@gmx.net

Otrzymano (Received) 11.03.2007

WYTWARZANIE RUR METODĄ ODŚRODKOWĄ Z MATERIAŁÓW HYBRYDOWYCH

Tekstylnie wzmocnione termoplastyczne materiały kompozytowe oferują, ze względu na swoje specyficzne własności materiałowe oraz dobrze rokujące technologie wytwarzania, bardzo duży potencjał w zastosowaniach wielkoseryjnych zarówno w przemyśle samochodowym, jak również w budowie maszyn. Obok znanych technologii nawijania oraz wyplatania bardzo szerokie możliwości w zastosowaniach przemysłowych oferuje nowa odśrodkowa metoda wytwarzania zbrojonych termoplastycznych materiałów kompozytowych przy wykorzystaniu włókien hybrydowych. Ten potencjał wytwarzania gotowych struktur kompozytowych metodą odśrodkową jest możliwy do wykorzystania po wnikliwych badaniach wytrzymałościowych elementów rurowych i optymalizacji procesu wytwarzania. Wszystkie badania zostały przeprowadzone w ramach współpracy z Instytutem Materiałoznawstwa i Mechaniki Technicznej Politechniki Wrocławskiej.

Słowa kluczowe: tekstylnie wzmocnione kompozyty, metoda odśrodkowa, włókna hybrydowe, próbki rurowe

MANUFACTURING OF COMPOSITE PIPES FROM HYBRID MATERIALS BY CENTRIFUGAL METHOD

Due to the material properties and promising technology production, textile reinforced thermo-plastic composites offer substantial potential for applications in large mass productions in the automotive industry as well as in machine construction. Alongside the popular technologies of winding and knitting (weaving), a great possibility now exists to use a new centrifugal method to produce reinforced thermo-plastic composites in industrial applications by using hybrid fibers. Only after close analysis of the strength of tube samples and optimization of the production process will the production potential of completed composite structures using the centrifugal method be able to be realized. Applied hybrid-textile mats were particularly prepared for this method of production, moreover, the pressing forces necessary to consolidation of composite materials were obtained by form rotation. Due to continuous improvement and modernization of fast turning stand, controlling system, as well as optimization of manufacturing process, first tube samples, used to determine material properties, were obtained. Application of this method delivered a very good research data, meeting all pre-conditions of "Near-Net-Shape" method, that is, tubes did not need extra finishing processes, after being taken out. The application of thermoplastic material, in form of powder added during the process, enabled the increase gauge of the tube side. In the frame of the optimization of manufacturing tubes of thermoplastic textile materials, a research into the influence of added powder on a sample endurance was borne out. Tube samples produced with centrifugal method compared with plates produced with a press method, both made of the same hybrid textile mates, showed a strength increase of the same material, in the case of applying a centrifugal method during impregnation. All research has been conducted in cooperation with the Institute of Material Science and Applied Mechanics in Wrocław.

Keywords: textile reinforced thermo-plastic composites, centrifugal method, construction, hybrid fibers tubes specimen

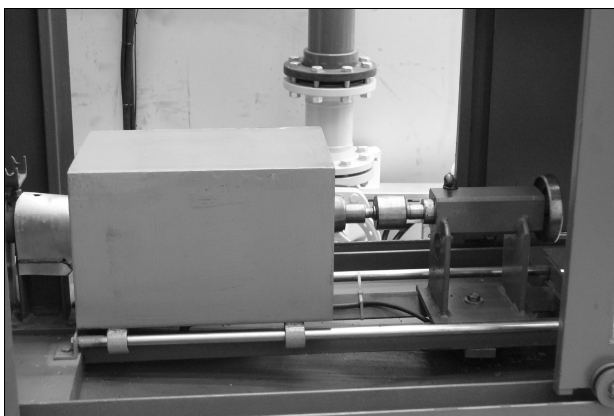
WSTĘP

Dzisiejsza technika tekstylna, szczególnie w zastosowaniu materiałów złożonych z dwóch rodzajów włókien, pozwala wykonywać niedrogie, a równocześnie bardzo dobrej jakości półfabrykaty tekstylne. Na bazie tego rodzaju hybrydowych struktur tekstylnych złożonych z włókien szklanych i termoplastycznych możliwe jest otrzymywanie elementów konstrukcji z użyciem

stale unowocześnianych różnorodnych form nadających się do zastosowań przemysłowych. Wykorzystanie podatnych hybrydowych mat tekstylnych oraz nowoczesnej metody produkcji pozwoliło na wykonanie elementów kołowo-symetrycznych w postaci próbek rurowych z termoplastów wzmocnionych włóknem szklanym.

Zastosowane hybrydowe maty tekstylne zostały specjalnie przygotowane dla tej metody produkcji, a siłę sprasowującą niezbędną do konsolidacji materiału kompozytowego uzyskano dzięki rotacji formy.

Dzięki ciąłemu unowocześnianiu i modernizacji zarówno stanowiska szybkoobrotowego, jak również systemu sterowania (rys. 1), oraz optymalizacji procesu wytwarzania udało się otrzymać pierwsze próbki rurowe, wykorzystane do określenia właściwości materiałowych.



Rys. 1. Prototypowe stanowisko do wytwarzania rur metodą odśrodkową
Fig. 1. Prototypical working station for manufacturing of pipes with centrifugal method

WYTWARZANIE Z ZASTOSOWANIEM MASZYNY SZYBKOOBROTOWEJ

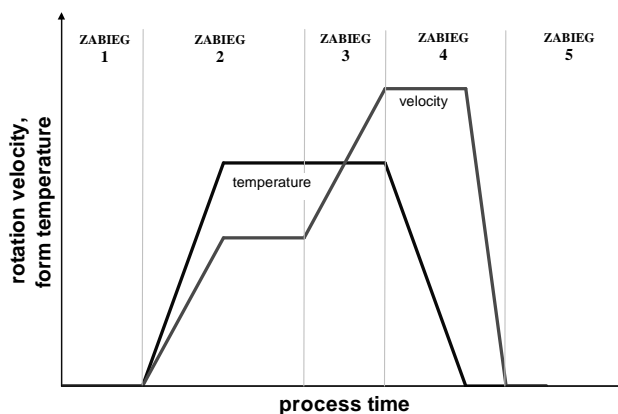
Jako półfabrykat zastosowano matę tekstylną o handlowej nazwie Twintex[®] z firmy Gorotex, gdzie razem połączone są włókna szklane oraz polipropylenowe. Zawartość włókien termoplastycznych jest na poziomie 40% objętości materiału.

Matą tekstylną po wstępnym przycięciu i nawinięciu na rdzeń stalowy została umieszczona w dwuczęściowej formie stalowej i zamocowana na prototypowym stanowisku szybkoobrotowym. Zabiegi wstępne obejmują przygotowanie materiału wsadowego oraz stanowiska wytwórczego.

Proces wytwarzania został podzielony na 5 głównych zabiegów:

1. Uzbrojenie formy
2. Podgrzanie formy
3. Sprasowanie materiału
4. Schłodzenie formy/ konsolidacja materiału
5. Wyciągnięcie gotowego elementu

Ogrzanie termoplastu osiągnięto dzięki zastosowaniu komory grzewczej, gdzie umieszczona w niej wirująca forma ogrzewana była poprzez promieniowanie cieplne. Bezpośredni kontakt elementów grzewczych (grzałek) z obudową formy jest niemożliwy ze względu na ograniczenia technologiczne, jakim jest zmienny ruch obrotowy formy. Czas trwania tego zabiegu to ok. 20÷30 minut, temperatura wewnątrz komory sięga 350°C. Jest to spowodowane ograniczoną szybkością transportu ciepła w materiale formy i doprowadzeniem do odpowiedniej temperatury jej wnętrza oraz maty tekstylnej. Oczywiście czas oraz temperatura nagrzewania zależą również od ilości materiału wewnątrz formy i maty tekstylno-termoplastycznej. Kolejnym usprawnieniem stanowiska byłoby wprowadzenie termopary do formy w celu dokładnego pomiaru temperatury w pobliżu wykonywanego elementu, co pozwoliłoby na jeszcze dokładniejszą optymalizację całego procesu. Utrudnione jest to dużą prędkością obrotową formy wraz z materiałem termoplastycznym. Możliwe jest również opracowanie bardziej efektywnej metody przekazywania ciepła, np. stosując promieniowanie podczerwone.



Rys. 2. Przebieg procesu wytwarzania rur metodą odśrodkową
Fig. 2. Course of process manufacturing of composite pipes by centrifugal method

W zabiegach od 2 do 4 zmienia się zarówno prędkość obrotowa formy w zakresach od 1000 do 7000 obrotów na minutę, jak również temperatura wewnątrz komory termicznej, która osiąga maksymalnie poziom 300°C (rys. 2).

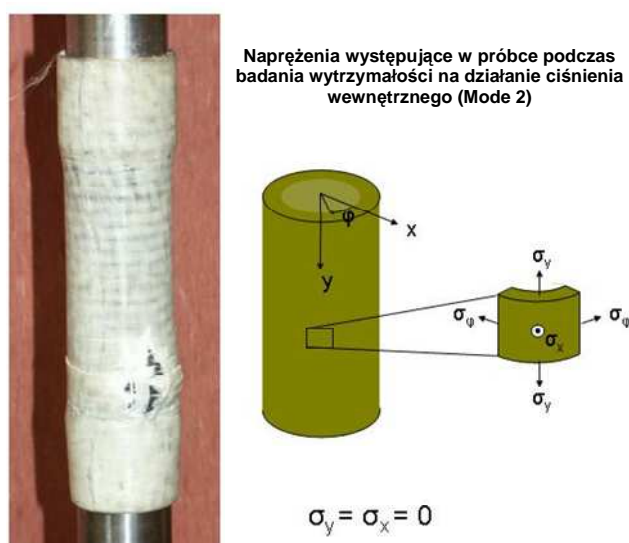
Temperatura materiału znajdującego się wewnątrz formy jest niższa od temperatury wewnątrz komory. Stopień włókien polipropylenu następuje wskutek wysokiej temperatury oraz ruchu obrotowego formy. Z tego powodu prędkość obrotowa osiąga maksymalną wartość pod koniec procesu, co pozwala na odpowied-

nie sprasowanie materiału tekstylno-termoplastycznego oraz odpowiednie ułożenie włókien w fazie konsolidacji. Podczas badań przeprowadzono szereg prób, analizując przy okazji jakość powstałego materiału doświadczalnego, co pozwoliło na wstępną optymalizację procesu technologicznego. Przedstawiony na rysunku 2 przebieg procesu został wykorzystany w późniejszych badaniach jako wzorcowy.

Wykorzystując opisywaną technologię otrzymano w relatywnie krótkim czasie bardzo dobry materiał badawczy, spełniający założenia metody „Near-Net-Shape”, czyli rurki po wyjęciu z formy nie potrzebowały dodatkowej obróbki wykańczającej. Zwiększenie grubości ścianki próbki możliwe było poprzez zastosowanie dodatku materiału termoplastycznego w postaci proszku dodawanego podczas procesu. W ramach optymalizacji wykonywania rur z materiału tekstylno-termoplastycznego badano również wpływ ilości dodanego proszku na wytrzymałość próbek.

REZULTATY

Pierwsze próbki rurowe zostały wykonane w formie dwuczęściowej, której geometria została opracowana na podstawie ogólnodostępnych norm inżynierskich. Otrzymana grubość ścianki tych rurek wynosiła ok. 2 mm z odchyleniem ok. 10÷15%. W kolejnych próbach zoptymalizowano proces przygotowania materiału wsadowego (cięcie, zwijanie) oraz parametry samego procesu wytwarzania. Te zabiegi znacznie poprawiły jakość powierzchni wykonywanych elementów (gładkość, ułożenie włókien, wielkość wpływów itp.), co w sumie wpłynęło również na zwiększenie wytrzymałości badanych rur.



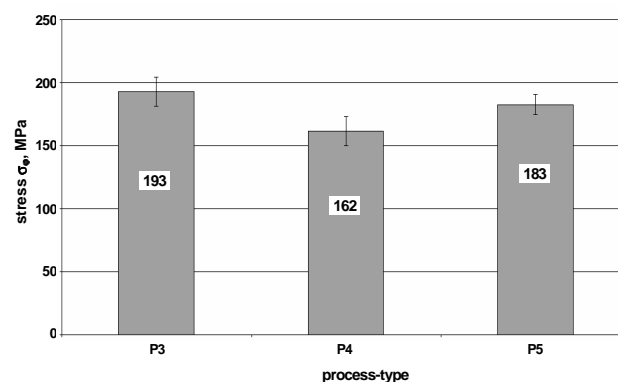
Rys. 3. Próbka rurowa podczas badań wytrzymałościowych - ciśnienie wewnętrzne (rys. lewy). Stan naprężeń w próbce rurowej

Fig. 3. Pipe sample during the strength test - inner pressure (Left) State of a stress inside the pipe sample

Do badania ciśnienia wewnętrznego użyto stosu gumowych tarcz umieszczonych wewnątrz próbki rurowej i ściskanych za pomocą dwóch nieodkształcalnych stempli, na których mierzono siłę oraz przemieszczenie. Ściskany stos gumowych tarcz wywierał nacisk na ścianki próbki rurowej, w której powstały naprężenia φ w kierunku obwodowym [1-4].

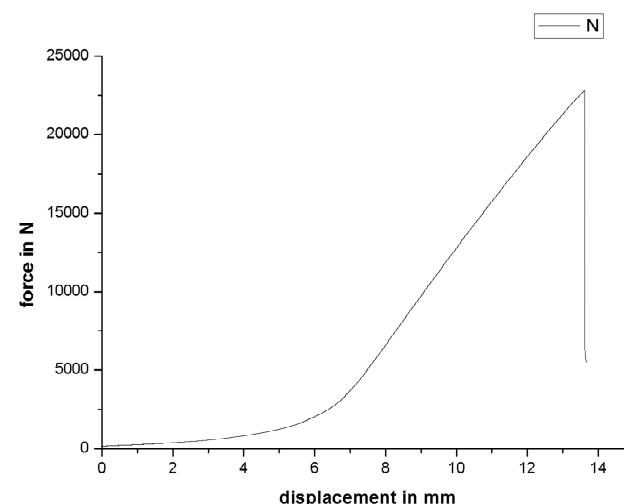
Dzięki optymalizacji parametrów procesu w zależności od typu procesu wartości naprężenia niszczącego w próbce osiągnęły wartość 200 MPa. Obliczone odchylenie standardowe było na poziomie 10÷14%, z czego można wywnioskować, że metody są powtarzalne, a co się z tym wiąże również ułożenie włókien w kierunku obwodowym.

Wyniki z badań wytrzymałościowych serii próbek rurowych wykonanych z różnymi parametrami procesu (P3 P4 P5) przedstawiono na rysunku 4.



Rys. 4. Osiągnięte wartości wytrzymałości na ciśnienie wewnętrzne w kierunku obwodowym w zależności od metody wykonania i parametrów procesu

Fig. 4. Obtained strength values of the inner pressure, depending on manufacturing methods and process parameters



Rys. 5. Przykładowa krzywa pęknięcia (Mode 2)

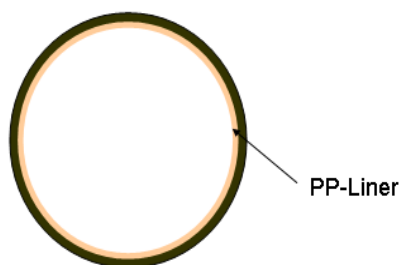
Fig. 5. Exemplary cracking curve

Zaobserwowano również, że krzywe pęknięcia badanych próbek, w przedziałach od ok. 4000 N do momentu samorzutnego uszkodzenia, mają przebieg liniowy

i jest to cecha charakterystyczna dla większości przebadanych rurek. Ten liniowy przebieg krzywych pękania może świadczyć o odpowiedniej orientacji włókien w kierunku obwodowym (rys. 5).

DYSKUSJA I WNIOSKI

Porównywanie badań próbek rurowych wykonanych z zastosowaniem siły odśrodkowej z płytami wykonanymi przy użyciu prasy z tych samych hybrydowych mat tekstylnych wykazały zwiększenie wytrzymałości tego samego materiału w przypadku zastosowania siły odśrodkowej podczas impregnacji. Z tego względu niezbędne okazały się badania mikrostruktury. Wykazały one znaczne obniżenie zawartości pęcherzyków powietrza, a także ilości defektów w materiale. Spowodowane to było prawdopodobnie wydłużeniem procesu grzania oraz konsolidacji, a także występowaniem siły odśrodkowej. Wszystkie te czynniki umożliwiły wtrąceniom opuszczenie wytwarzanej struktury.



Rys. 6. Przekrój rury z linerem

Fig. 6. Pipe polished section with a liner

Zaobserwowano również, że w trakcie procesu, w wyniku występowania siły odśrodkowej, włókna szklane znajdujące się w osnowie termoplastycznej były wypychane na zewnątrz, przez co wewnątrz pozostała warstwa czystego polipropylenu. Ten efekt powodował samoistne powstanie pewnego rodzaju lineru z polipropylenu w wewnętrznej warstwie rury.

Dodając odpowiednich ilości sypanego polipropylenu, możliwe jest otrzymanie lineru o dowolnej grubości. Polipropylen jako tworzywo bardzo odporne na działanie agresywnych mediów powinno zapewniać ochronę dla wzmocnienia tekstylnego, które natomiast powinno przenosić obciążenia [6]. Schematycznie przekrój poprzeczny takiej rury przedstawiono na rysunku 6.

W przeprowadzonych badaniach eksperymentalnych uzyskano zadowalające wyniki, jednak ze względu na bardzo duży potencjał metody wytwarzania wzmocnionych struktur kompozytowych z materiałów hybrydowych planowane są dalsze prace badawcze, pozwalające na zaadaptowanie tej techniki w aplikacjach przemysłowych.

W pierwszej kolejności prowadzone są badania nad poprawieniem kąta ułożenia włókien w wytwarzanych elementach, co wiąże się z zmianą konstrukcji formy i wpłynie na poprawę właściwości wytrzymałościowych, ale równocześnie ułatwi projektowanie półfabrykatów w zależności od obciążenia. Kolejną planowaną modernizacją jest już wcześniej omawiane ulepszenie procesu grzania i kontroli temperatury wewnątrz formy oraz przystosowanie całego procesu technologicznego do produkcji wielkoseryjnej.

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] Ochelski S., *Metody doświadczalne mechaniki kompozytów konstrukcyjnych*, WNT, Warszawa 2004.
- [6] Zając P., Błażejowski W., Czulak A., Böhm R., Badania kompozytowych próbek rurowych do oceny własności materiału kompozytowego, *Materiały Polimerowe Pomerania-Plast* 2004, Międzyzdroje 2-4.06.2004.
- [7] Kroll L., Hufenbach W., Physically based failure criterion for dimensioning of thick-walled laminates applied, *Composite Materials* 1997, 4, 321-332.
- [8] Błażejowski W., Ciśnieniowe badania niszczące kompozytowych rur nawijanych, VI Krajowa Konferencja Mechaniki Pękania, Politechnika Świętokrzyska, 62, Kielce - Ameliówka 22-24.09.1997, 43-50.
- [9] Chmielowski W., Określanie własności materiałowych długowłóknistego kompozytu polimerowego, IMiMT Politechnika Wroclawska, Wrocław 2002 (praca dyplomowa).