

Materiały kompozytowe w budownictwie ¹

cz. II

Janusz German
Katedra Wytrzymałości Materiałów
Instytut Mechaniki Budowli Politechniki Krakowskiej

WYTWARZANIE KOMPOZYTÓW WŁÓKNISTYCH

Składniki tworzące kompozyt tzn. włókna i matryce mogą mieć bardzo różne formy wyjściowe - występują na rynku zarówno jako materiały samoistne, jak i w formie gotowych lamin. Do tej ostatniej grupy zaliczają się taśmy jednokierunkowo zbrojone tzw. wstępnie impregnowane, określane w literaturze anglosaskiej terminem "**prepreg**" (**preimpregnated**). Obecnie omówione będą skrótowo wybrane, podstawowe metody wytwarzania kompozytów, ze składników w formie samoistnej (żywica, włókna).

Metoda kontaktowa

Jest to najprostsza, niemal "chałupnicza", ręczna metoda wytwarzania kompozytów włóknistych. Wykorzystuje się ją do produkcji elementów powierzchniowych w pojedynczych egzemplarzach lub krótkich seriach, od których nie jest wymagana duża wytrzymałość i trwałość, ani też jednorodność kolejnych wytworzonych elementów. Zamiast pojedynczych włókien stosuje się wykonane z nich maty i tkaniny, które przycina się tak, aby pozwalały odwzorować kształt produkowanego elementu. Kolejne warstwy tkaniny nasącza się żywicą poliestrową lub epoksydową i układa na sobie w odpowiedniej formie, (gipsowej, drewnianej, metalowej lub laminatowej) umożliwiającej uzyskanie pożądanego kształtu. Po nałożeniu każdej warstwy należy odprowadzić nadmiar żywicy przy pomocy wałka. Forma musi być powleczona substancją uniemożliwiającą wyciek żywicy, a po jej utwardzeniu oddzielenie wytwarzanego elementu od formy. O jakości produktu finalnego decydują przede wszystkim jakość formy oraz kwalifikacje producenta.

Metoda natryskowa

Metoda natryskowa jest w pewnym sensie udoskonaloną i zmechanizowaną odmianą metody kontaktowej. Ręczne formowanie elementu kompozytowego zastąpiono w niej formowaniem przy użyciu specjalnego pistoletu, umożliwiającego jednoczesne nanoszenie na formę zarówno żywicy, jak i włókien. Te ostatnie mają postać taśm składających się z wielu pojedynczych włókien, połączonych specjalnym lepiszczem i pociętych na krótkie pasemka (tzw. cięty roving). Połączone z pistoletem urządzenie dozujące podaje w odpowiednich proporcjach żywicę i włókna. Końcowym krokiem w procesie produkcji jest usunięcie nadmiaru żywicy i wyciśnięcie pęcherzy powietrza przy użyciu wałka. Metoda ta jest efektywniejsza i prostsza w stosowaniu od metody ręcznej, ale wykazuje te same wady. Elementy wytworzone tą metodą nie są jednorodne, mają stosunkowo małą wytrzymałość, a ich jakość jest trudna do przewidzenia.

¹ Niniejszy artykuł ukazał się w: *Kalejdoskop Budowlany, PWB, Warszawa, nr 9, str. 18-21, wrzesień 2000*

Metoda ciągła wytwarzania prętów, rur i kształtowników

Metody ciągłe służą do zautomatyzowanej produkcji elementów konstrukcyjnych m.in. prętów rur i kształtowników o stałym przekroju poprzecznym. Długość otrzymanych tą metodą elementów może być w praktyce nieograniczona. Do zbrojenia matrycy wykorzystywane są taśmy składające się z wiązki wielu równoległych włókien połączonych ze sobą substancją lepiącą, nawiniętych na szpule (tzw. ciągły roving). Taśmy z rovingiem rozwijane są ze szpul i przepuszczane przez wannę wypełnioną żywicą termoutwardzalną, impregnującą włókna i pełniącą rolę matrycy. Nasycone żywicą taśmy rovingu przeciągane są przez stalowy tłocznik, który nadaje produkowanemu elementowi wstępny kształt, a jednocześnie kontroluje i reguluje właściwy skład kompozytu (tzn. odpowiedni udział włókien w ilości ok. 40-70% objętości). Uzyskany w ten sposób "półprodukt" przeciągany jest przez kolejny, bardzo precyzyjnie wykonany tłocznik, który nadaje ostateczny kształt przekroju poprzecznego. Układ grzewczy tego tłoczniaka inicjuje także proces utwardzania żywicy. Ostatnim ogniwem w urządzeniu do metody ciągłej produkcji kompozytów są przeciągarki, ciągnące pręt. Sterują one prędkością produkcji, która może sięgać kilkudziesięciu m/godz.

Metoda nawijania włókien

Metoda nawijania polega na ciągłym nawijaniu włókien na obracający się rdzeń o kształcie bryły obrotowej (walec, stożek itd.), tak aby uzyskać pożądaną ich układ geometryczny. W zależności od kierunku obrotu rdzenia i sposobu przesuwu tzw. sanek z bębniem z nawiniętym włókniem można przeprowadzać nawijanie obwodowe, śrubowe i planetarne. Dla przykładu - jeśli rdzeń walcowy obraca się wokół swej osi podłużnej, a sanki z rovingiem poruszają się tak, że taśmy z włóknami nawinięte są na rdzeniu niemal prostopadle do osi jego obrotu, to mówimy o nawijaniu obwodowym. Konstrukcja sanek z rovingiem i urządzenia obracającego rdzeniem umożliwia zmianę prędkości przesuwu sanek i prędkości obrotowej rdzenia, a tym samym zmianę kąta nawijania w zakresie 5-85°, dzięki czemu można uzyskiwać zwoje śrubowe o dowolnym kącie nawinięcia. Nawinięcie o przeciwnych zwojach zapewnia ruch sanek "tam i z powrotem". Nawijanie obwodowe i śrubowe pozwala zbroić jedynie pobocznicę brył obrotowych. Można zatem uzyskać w ten sposób np. rury, ale nie można wyprodukować np. zbiornika ciśnieniowego. W tym ostatnim przypadku należy zastosować oprócz nawijania obwodowego i śrubowego nawijanie planetarne, umożliwiające nawijanie rovingu także na denka rdzenia. Taśmy rovingu używanego w metodzie nawijania mogą być wstępnie nasycone żywicą. Przed nawinięciem na rdzeń muszą one być ogrzane, tak, aby żywica przeszła w stan płynny. Również rdzeń musi być ogrzewany podczas nawijania w celu zapewnienia dokładnego powiązania ze sobą kolejnych nawijanych warstw. Taka metoda uzyskiwania kompozytu nosi nazwę nawijania z nasyceniem włókien na sucho. Alternatywną metodą jest nasycanie włókien na mokro, polegające na przeciąganiu włókien przed ich nawinięciem na rdzeń przez wannę z płynną żywicą.

WYKORZYSTANIE KOMPOZYTÓW DO PRODUKCJI ZBIORNIKÓW I RUR

Wspomniano już kilkakrotnie, iż kompozyty są doskonałym materiałem do konstruowania elementów cienkościennych, a więc takich, których grubość ścianki jest znacznie mniejsza od pozostałych wymiarów charakterystycznych.

Typowym przykładem takich elementów, stosowanych w budownictwie są rury, zbiorniki na wodę i ścieki o różnym charakterze, studzienki kanalizacyjne itp. Tradycyjnie wykonywane one były i są w dużym stopniu wykonywane nadal jako stalowe, żeliwne, betonowe lub kamionkowe. Skoro istnieje taka paleta dostępnych materiałów, to zasadne pytanie o celowość ich wykonywania z materiału kompozytowego, a ściślej laminatu kompozytowego.

Celowość stosowania rur i zbiorników laminatowych

Celowość i ściśle z nią związane zalety stosowania laminatów do produkcji rur i zbiorników wynikają w zasadzie z zalet laminatów jako takich. Spróbujmy je pokrótce wymienić:

- łatwa możliwość dostosowania funkcji, wymiarów, kolorystyki, a przede wszystkim własności wytrzymałościowych i odpornościowych (np. na działanie mediów chemicznie agresywnych), itp. do potrzeb indywidualnego klienta. Ta cenna zaleta kompozytów wiąże się z tym, że w nowoczesnych procesach ich fabrykacji wieloma parametrami produkcyjnymi można stosunkowo prosto sterować w szerokim zakresie zmienności danego parametru. Dzięki temu można optymalizować pod względem nakładów finansowych proces realizacji wielu inwestycji. Jest to szczególnie opłacalne - jak wykazuje doświadczenie – w obiektach o dużej kapitałochłonności, z dużą ilością instalacji przemysłowych i technologicznych,
- bardzo niski ciężar konstrukcji kompozytowych, który dla porównywalnych elementów stanowi zaledwie ok. 10% ciężaru konstrukcji żelbetowej, ok. 20% ciężaru konstrukcji stalowej i ok. 25% ciężaru konstrukcji z żeliwa ciągliwego. Ta cecha laminatów eliminuje w dużym stopniu potrzebę używania ciężkiego sprzętu do np. układania rurociągów, a także redukuje koszty związane z transportem gotowych elementów,
- duża trwałość i niezawodność elementów kompozytowych. Przejawia się ona m.in. odpornością na korozję, wywoływaną przez kontakt z różnorodnymi mediami, szczególnie chemicznie agresywnymi, a także dużą odpornością na tzw. starzenie, którego źródłem są np. promienie UV. Badania trwałości czasowej laminatów prowadzone w laboratoriach amerykańskich, a także skandynawskich dowiodły, że ich żywotność wynosi nie mniej niż 50 lat, przy czym po takim okresie użytkowania degradacja własności wytrzymałościowych jest na poziomie ok. 20%, tzn. wytrzymałość po 50 latach stanowi co najmniej 80% wytrzymałości początkowej. Są to wartości zbliżone do wartości uzyskanych dla żeliwa i betonu, a znacznie lepsze niż w przypadku elementów stalowych. Z dużą trwałością czasową laminatów wiążą się jednocześnie niskie koszty eksploatacyjne i nakłady na przeglądy, konserwacje i naprawy. Laminaty o prawidłowo dobranych - pod kątem stykających się z nimi mediów – komponentach, nie wymagają praktycznie żadnych przeglądów, ani tym bardziej zabiegów renowacyjnych. Nie dotyczy to jedynie instalacji i zbiorników laminatowych, przeznaczonych na media agresywne chemicznie, które muszą być poddawane okresowym przeglądom, zgodnie z wymaganiami Urzędu Dozoru Technicznego.

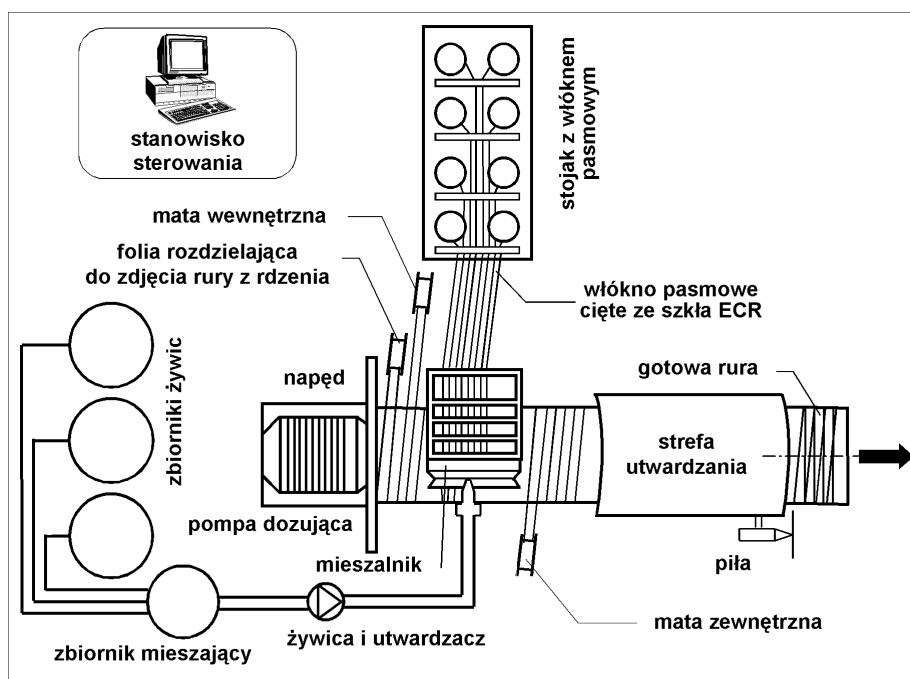
Oprócz ogólnych cech materiałów laminatowych, skłaniających do ich coraz szerszego stosowania można wymienić także specyficzne zalety laminatów, związane z ich wykorzystywaniem przy budowie rurociągów, zbiorników, czy też instalacji technologicznych w zakładach przemysłowych. Najważniejsze z nich to:

- łatwa i doskonale dopracowana technologia montażu rur przy pomocy całej gamy specjalnych złączek i kołnierzy dobieranych odpowiednio do działających obciążeń, transportowanych rurami mediów i ich temperatury, temperatury otoczenia i innych czynników związanych z konkretną realizacją. Złączki zapewniają doskonałą szczelność połączeń, nie wymagają montażystów o specjalnych umiejętnościach i uprawnieniach, charakteryzują się małą czaso- i pracołłonnością. Tych walorów nie wykazują np. rurociągi stalowe, których łączenie wymaga spawania w osłonie, a następnie sprawdzania jakości spoin metodami defektoskopowymi. Konieczny jest do tego specjalny sprzęt i uprawniony personel, co podnosi koszty wykonawstwa,

- wykonywanie rurociągów długimi odcinkami (standardowe długości rur to 6 i 12 m, ale z produkcyjnego punktu widzenia nie ma przeszkód, by produkować rury praktycznie o dowolnej długości), co zmniejsza ilość połączeń, a także skraca czas budowy,
- gładkie powierzchnie wewnętrzne rur. Dzięki niskiemu współczynnikowi tarcia straty ciśnienia w czasie transportu cieczy są niewielkie, a to z kolei umożliwia stosowanie mniejszych spadków. Gładkie powierzchnie rur sprawiają również, że w niewielkim stopniu występuje niepożądane zjawisko osadzania się zanieczyszczeń, a to oznacza małe wydatki na oczyszczanie rurociągów.

Technologia produkcji rur i zbiorników laminatowych

Przy produkcji rur laminatowych, wykonanych z żywicy poliestrowych zbrojonych włóknem szklanym (laminaty GRP) wykorzystuje się, omówioną wcześniej, metodę nawijania ciągłego. W roku 1967 w firmie Drostholm Products skonstruowana została pierwsza maszyna do przemysłowej produkcji rur GRP o dużych średnicach (500÷2500 mm), zaś produkcja na maszynach tego typu ruszyła rok później. Schemat produkcji rur pokazano na rysunku 1. Na rysunku 2 pokazano linię produkcyjną rur, zainstalowaną u jedyne go krajowego producenta szerokiego asortymentu elementów laminatowych GRP, w gdańskiej firmie Nordcap Plastic.



Rys.1. Schemat produkcji rur GRP

Produkcja zbiorników GRP o różnym przeznaczeniu odbywa się w oparciu o tę samą technologię co w przypadku rur. Zbiornik uzyskuje się poprzez zastosowanie oprócz nawijania obwodowego i śrubowego, także nawijania planetarnego, umożliwiającego nawijanie rovingu na denka rdzenia. Alternatywnie można stosować inną metodę, polegającą na prefabrykacji denek zbiornika metodą natryskową na formach o odpowiednim kształcie i wymiarach dostosowanych do średnicy rury, z którą denka są łączone poprzez laminację.



Rys.2. Linia technologiczna produkcji rur GRP w Nordcap Plastic Gdańsk

Zasady doboru laminatu do wymagań użytkowych

Technologia wytwarzania wyrobów kompozytowych generalnie, a laminatów w szczególności pozwala na takie sterowanie procesem produkcji, że podstawowe ich parametry można, mówiąc obrazowo, „skroić na miarę” wedle potrzeb konkretnego użytkownika.

Parametry podlegające sterowaniu to:

- wytrzymałość na ciśnienie medium transportowanego rurociągiem lub magazynowanego w zbiorniku,
- wytrzymałość na odkształcenia wywołane obciążeniem zewnętrznym (tzn. sztywność rury lub zbiornika),
- odporność na działanie mediów agresywnych, zarówno zewnętrznych (pochodzących od środowiska zewnętrznego), jak i wewnętrznych (media transportowane lub magazynowane). Użytkownik musi mieć dokładne rozeznanie co do rodzaju środka agresywnego, stopnia agresji i reżimu temperaturowego pracy elementu laminatowego. Dopiero to pozwala podjąć właściwą decyzję co do doboru żywicy na laminat, jak i w razie potrzeby doboru żywic na wewnętrzne strefy antykorozyjne. Wskazana jest w tym zakresie ścisła kooperacja z producentem wyrobu laminatowego,
- odporność na ścieralność w przypadku przesyłania mediów zawierających zawiesiny.

Uwzględnienie powyższych czynników przy projektowaniu rurociągu, zbiornika, osadnika itp. pozwala podejmować decyzje optymalne zarówno pod względem technicznym, jak i ekonomicznym (oszczędność na materiale oznacza oszczędność na wydatkach).

Normy

Mimo, że produkcja rur i zbiorników z laminatów GRP jest stosunkowo świeżej daty, to została ona objęta uregulowaniami normowymi; najbardziej kompleksowo przez normy amerykańskie: ASTM (American Society for Testing and Materials) D 3263, D3517, D 3754 oraz AWWA (American Water Works Association) C 950. W oparciu o te normy i przy udziale ich autorów opracowywane są obecnie normy międzynarodowe ISO oraz europejskie CEN. W Polsce istnieją w tej materii wytyczne Urzędu Dozoru Technicznego DT-UC-90/WO-0 (“Stale zbiorniki ciśnieniowe z tworzyw sztucznych wzmocnionych włóknem szklanym”)

Wymienione normy amerykańskie wynikają głównie z doświadczeń produkcyjnych, toteż stawiają one ostre wymagania procesowi wytwórczemu elementów z laminatów GRP, ich badaniom kwalifikacyjnym oraz kontroli jakości produktów.

Norma AWWA C 950 określa także wymagania do projektowania rurociągów podziemnych z rur GRP. Dobór rur w oparciu o tę normę wymaga określenia przed przystąpieniem do projektowania warunków gruntowych terenu, przez który przebiegać ma rurociąg.

Asortyment rur i zbiorników laminatowych

Asortyment krajowych wyrobów z laminatów GRP obejmuje:

- rury trzech typów, tj. do budowy rurociągów podziemnych, naziemnych i do budowy zbiorników, osadników, studzienek itp. Standardowo produkowane są rury o średnicach wewnętrznych 500, 600, 800, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2200, 2400 i 2500 mm, z możliwością wykonania rur o dowolnej średnicy z zakresu 500÷2500 mm. Rury mogą być zarówno bezciśnieniowe (PN 1 – przewidziane dla nominalnego ciśnienia roboczego o wartości 1 bara), jak i ciśnieniowe (PN 2.5, PN 4, PN 6, PN 10). Rury z każdego szeregu PN mogą przenosić bezpiecznie uderzenia hydrauliczne tzn. krótkotrwałe wzrosty ciśnienia o wartości 40% ciśnienia nominalnego Dla każdego z szeregów wykonuje się rury o 4 klasach sztywności obwodowej, tzn. SN 1250, SN 2500, SN 5000 i SN 10000 (N/m²). Standardowe długości rur to 6 i 12 m, ale mogą one być dostosowane do potrzeb użytkownika, w zasadzie bez ograniczeń.

Rury GRP mogą być stosowane do budowy kanałów do ścieków sanitarnych i wód deszczowych, do budowy rurociągów do wody pitnej, nieuzdatnionej, morskiej, solanki kopalnianej, rurociągów do wód i ścieków przemysłowych, a także rurociągów technologicznych oraz do budowy systemów nawadniających w rolnictwie,

- konieczne przy realizacji rurociągów kształtki (trójniki, dopływy, rozwidlenia, łuki, kolanka, zwężki) oraz złącza (mufowo-kielichowe o konstrukcji laminatowo-elastomerowej, opaskowe typu FLEX o konstrukcji ze stali nierdzewnej i elastomeru – kompensujące odkształcenia podłużne rurociągów oraz kołnierzone-laminatowe),
- zbiorniki podziemne i naziemne w układzie zarówno poziomym, jak i pionowym.

Podziemne zbiorniki poziome z laminatów GRP mogą być wykorzystywane jako zbiorniki magazynowe dla: wody nieuzdatnionej (np. dla celów p-poż.), wody uzdatnionej (w tym wody pitnej), ścieków (bytowo-gospodarczych, ścieków przemysłowych z wyłączeniem mediów agresywnych chemicznie). Zbiorniki pionowe oprócz zastosowań analogicznych do tych dla zbiorników poziomych mogą znaleźć zastosowanie jako studnie wodomierzowe i kanalizacyjne, przepompownie, studnie technologiczne na sieciach podziemnych.

Naziemne zbiorniki tak poziome, jak i pionowe mogą służyć jako zbiorniki magazynowe dla: wody nieuzdatnionej (np. technologicznej po procesach uzdatniania), nieagresywnych chemicznie ścieków technologicznych, mediów agresywnych chemicznie (żrących i trujących) – odpowiednio do wymogów Urzędu Dozoru Technicznego. Zbiorniki mogą także pełnić funkcję obudów dla urządzeń przy procesach technologicznych (np. mieszalnie) z udziałem mediów płynnych, sypkich i gazowych nieagresywnych.

Przykłady zastosowania laminatów GRP do budowy zbiorników, separatorów i rur pokazano na rysunku 3.



Rys.3. Zbiornik, separator i rury z laminatu GRP produkcji Nordcap Plastic

Na zakończenie warto wspomnieć o jeszcze jednym aspekcie stosowania wyrobów z laminatów GRP, trudnym do ujęcia w postaci liczb, ale nie mniej istotnym niż względy techniczne. Wyroby te w pełni zasługują na miano proekologicznych, jako że nie wprowadzają żadnych zanieczyszczeń ani do gleby ani do atmosfery. Stąd m.in. wynika ich duże wykorzystanie w krajach skandynawskich, znanych z wyjątkowej troski o stan środowiska naturalnego. Wypada mieć nadzieję, że i w naszym kraju będą znajdować coraz szersze zastosowanie, za czym przemawiają względy zarówno techniczne, jak i ekologiczne.

W artykule wykorzystano materiały informacyjne firmy Nordcap Plastic z Gdańska.