

TECHNOLOGIA KOMPOZYTÓW POLIMEROWYCH WZMACNIANYCH KRÓTKIM WŁÓKNEM ARAMIDOWYM WYKONANYCH METODĄ RTM

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki prac technologicznych nad wytwarzaniem kompozytów polimerowych wzmocnionych krótkim włóknem aramidowym. Włókno aramidowe pochodziło z odpadów poprodukcyjnych powstających podczas wytwarzania wkładów balistycznych do kamizelek kuloodpornych oraz z wkładów, których okres użytkowania już minął. Do wytwarzania kompozytów wykorzystano technologię RTM (*ang. – Resin Transfer Molding*). Jako osnowę polimerową stosowano żywice epoksydowe w trzech rodzajach kompozycji. Odpadowe włókno aramidowe występowało w postaci fragmentów tkanin. Proces fragmentacji tkanin do postaci sfibrylizowanego, krótkiego włókna realizowano poprzez cięcie zamrożonych odpadów w osnowie wodnej w postaci prętów i rozwłóknianie w środowisku wodnym (Patent nr 195366). Tak przygotowane włókno przetwarzano do postaci płaskich spójnych kształtek. Kształtki o formacie A – 3 formowano z zawiesiny wodnej na specjalnym stanowisku. Wysuszone kształtki stanowiły gotowy materiał wzmocniający kompozyty. Kształtki wykazywały cechy materiału o strukturze quasianizotropowej. Włókna były ułożone płasko warstwami. Ostateczną operacją był proces prasowania kształtek kompozytowych w formie. Zgodnie z zasadami RTM kształtkę wzmocniającą zamykano w gnieździe formy. Termoutwardzalna żywica epoksydowa była wprowadzana pod ciśnieniem do nagrzonej formy, przesycając materiał wzmocniający. Po utwardzeniu kształtka była usuwana z formy. Kształtki były przeznaczone do wykonania próbek do badań wytrzymałościowych i strukturalnych. Wyniki tych badań zostaną przedstawione w kolejnej publikacji.

1. Wstęp

Rozwój technologii związanych z kompozytami polimerowymi wzmocnionymi włóknami, w jednym z kierunków rozwoju przejawia się w technicznych i technologicznych aplikacjach materiałów odpadowych. Warunkiem wykorzystania tych surowców jest ich odpowiednie przetworzenie. Postać przetworzonego materiału ma decydujące znaczenie dla ich docelowego zastosowania. Może być to granulata powstała z utwardzonego kompozytu (np. skorupa kadłuba łodzi – kompozyt szklano – poliestrowy) stosowany jako wypełniacz wtryskowych termoplastów, odpady włókna szklanego przetworzone do postaci włókna ciętego służącego do wzmocniania kompozytów w postaci tłoczyw, szpachli i innych, odpady włókien węglowych w tych samych aplikacjach, co włókna szklane.

Odrębną grupę tego rodzaju materiałów stanowią włókiennicze struktury aramidowe. W odróżnieniu od typowych włókien wzmocniających (szklanych, węglowych) włókna aramidowe stanowią materiał nieporównywalnie trudniejszy do przetwarzania. Włókna aramidowe są materiałem trudnozwilżalnym przez typowe utwardzalne syciwa polimerowe, takie jak żywice epoksydowe, fenolowo-formaldehydowe i poliestrowe oraz termoplasty z grupy poliamidów, poliolefin, elastomerów i innych. Ich przetwórstwo wymaga specjalnej obróbki, która w ogólnym zarysie polega na zastosowaniu odpowiedniej technologii cięcia oraz doprowadzeniu powierzchni włókna do wysokiej czystości, przez co rozumie się usunięcie hydrofobowej powłoki oraz apretur przedży stosowanych celu ułatwienia procesu tkania.

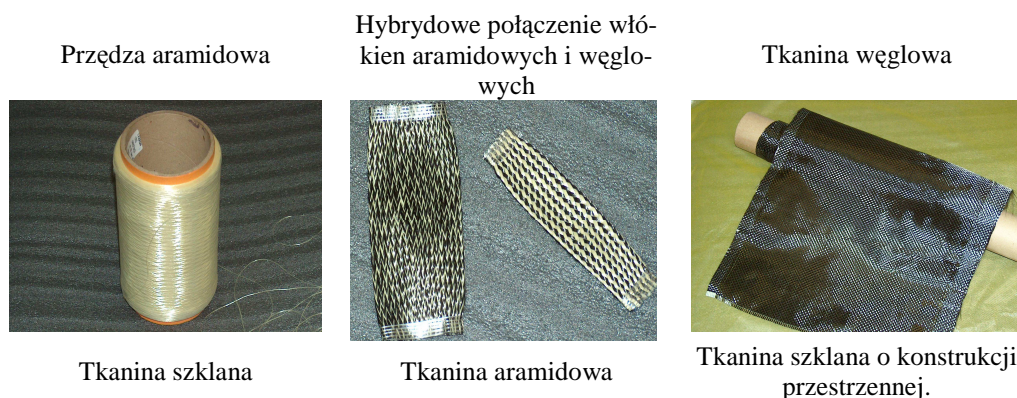
Niezależnie od trudności związanych z przetwórstwem włókien aramidowych jest faktem, udowodnionym w trakcie prac prowadzonych w Wojskowym Instytucie Technicznym Uzbrojenia, że wytrzymałość przędzy aramidowej pochodzącej z wkładów balistycznych do kamizelek kuloodpornych, które zostały poddane długotrwałemu zmęczeniu mechanicznemu praktycznie nie zmienia się. Oznacza to, że włókno aramidowe pochodzące z przeterminowanych wkładów balistycznych stanowi w dalszym ciągu pełnowartościowy materiał.

Wtórne przetwórstwo włókien aramidowych polega przede wszystkim na doprowadzeniu ich do właściwej postaci przetwórczej. Postać ta powinna być dostosowana do przewidywanych zastosowań włókna. Włókno aramidowe, jako wypełniacz termoplastów powinno posiadać strukturę maksymalnie rozdrobnioną, której rozproszenie w polimerze pozwala na uzyskanie jednorodnej struktury materiału. Włókno przeznaczone do wykonywania tłoczyw termoutwardzalnych w kompozycji z żywicami fenolowo formaldehydowymi powinno charakteryzować się taką długością, aby możliwe były do zastosowania zarówno technologie prasowania tłoczego (bez komory przetłoczonej - prasowanie bezpośrednie) jak i przetłoczonego, gdzie stosuje się wstępną komorę, w której tłoczywo jest uplastyczniane, po czym następuje jego wtrysk do właściwego gniazda lub gniazd formujących.

W odróżnieniu od zastosowania ciętych (krótkich) włókien w klasycznych metodach przetwórstwa tłoczyw termoutwardzalnych wzmocnienie kompozytów wykonywanych w ramach pracy stanowiły płaskie kształtki włókniste wytworzone z zawiesiny wodnej ciętych włókien aramidowych pochodzących z poprodukcyjnych odpadów tkanin aramidowych oraz przeterminowanych tkaninowych wkładów balistycznych do kamizelek kuloodpornych. Struktury te były przetwarzane do postaci kompozytów metodą RTM (ang. – *resin transfer moulding*), która polega na zasilaniu gniazda formującego termoutwardzalną żywicą, w którym uprzednio umieszczono materiał wzmacniający w postaci wykonanej struktury zrównoważonej.

2. Charakterystyka rodzajów aramidowych włókien wzmacniających kompozyty

Do wzmocnienia kompozytów polimerowych stosowane są przede wszystkim włókna ciągłe. Mogą mieć one postać przędzy, rowingu lub konstrukcji tkaninowych – plecionych lub modułowych. Istnieją również konstrukcje włókiennicze przestrzenne, w których włókno wzmacniające występuje w dwóch równoległych płaszczyznach połączonych sekwencyjnie włóknami prostopadłymi. Przykładowe struktury włókiennicze do wzmocnienia kompozytów polimerowych przedstawiono na fotografiach – rysunek 1.



Rys. 1. Zrównoważone struktury włókniste wzmacniające kompozyty polimerowe



cd. Rys.1

W tabeli 1 zostały przedstawione właściwości włókien aramidowych i innych materiałów wzmacniających kompozyty oraz materiałów tradycyjnych.

Tabela 1. Włókna aramidowe Kevlar® i inne włókna przemysłowe - typowe właściwości fizyczne. [1]

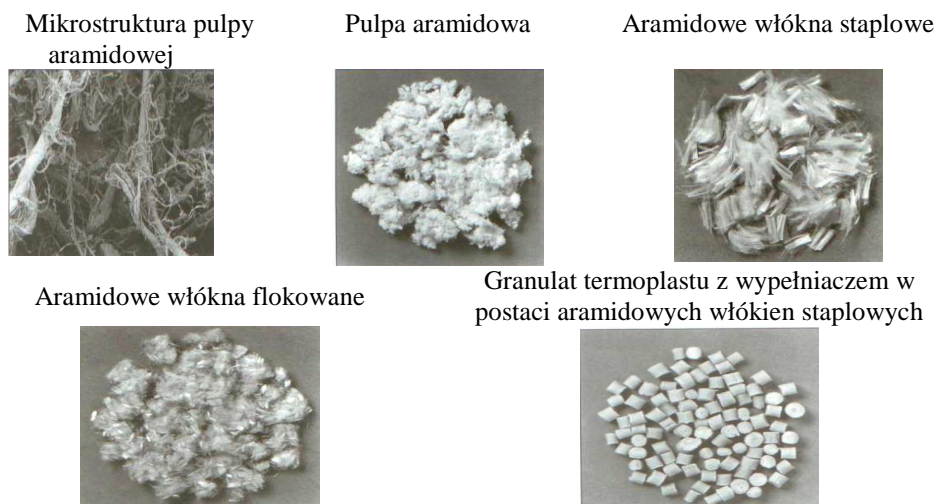
Właściwość	Włókna balistyczne		Włókna konstrukcyjne					
	Kevlar® i Kevlar® 29	Kevlar® Ht (129)	Kevlar® He (119)	Kevlar® 49	E-szkło	Węgiel HT-300	Drut stalowy	Nylon H.T. (T-728)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Wytrzymałość właściwa [cN/tex*]	205	235	205	205	-	-	-	86
Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	2900	3320	2900	2900	3400	3530	2600	990
Moduł przy rozciąganiu [GPa]	60	75	45	120	70	235	200	5,6
Wydłużenie zrywające [%]	3,6	3,6	4,5	1,9	4,5	1,5	2,0	1,8
Higroskopijność [%]	7	7	7	3,5	0,1	-	0	4,5
Gęstość [g/cm ³]	1,44	1,44	1,44	1,44	2,60	1,76	7,85	1,14
Temperatura rozkładu [°C]	~500	~500	~500	~500	~800	-	1600	265

*tex - masa w gramach włókna lub przędzy o długości 1000 m.

Poza typowymi strukturami wzmacniającymi, włókna aramidowe występują w postaci włókien krótkich, jako pulpa, włókna staplowe oraz włókna flokowane.

Pulpa aramidowa jest wysoko sfibrylizowaną postacią włókna, która może być dyspergowana w wielu systemach polimerowych. O bardzo wysokim stopniu fibrylizacji tych włókien świadczy fakt, że powierzchnia 1 g włókien pochodzących z pulpy wynosi $7 \div 10 \text{ m}^2$.

Staplowe włókna aramidowe są precyzyjnie ciętymi włóknami krótkimi o długości ok. 0,25'' lub dłuższymi. Włókna tego rodzaju są stosowane do wytwarzania filców i włókienniczych struktur nietkanych w celu podniesienia właściwości izolacyjnych. Inne zastosowania tych włókien to wypełnienia żywic termoplastycznych i utwardzalnych, co powoduje wzrost wytrzymałości oraz odporności na zużycie w szerokim zakresie temperatury pracy danego elementu. Włókna staplowe przedstawiono na rys. 2. [1]

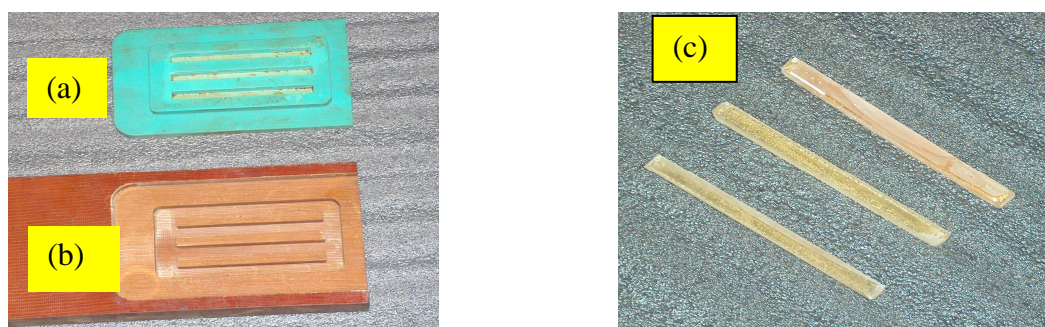


Rys. 2. Struktura i postaci aplikacji krótkich włókien aramidowych [1].

Aramidowe włókna flokowane są włóknami krótszymi od staplowych a ich długość nie przekracza 1 mm. Mogą one być używane jako wzmocnienie w szerokim zakresie kompozycji polimerowych. Zastosowane w termoplastach powodują wzrost odporności na zużycie podczas tarcia z innymi materiałami. W systemach termoutwardzalnych powodują wzrost wytrzymałości kompozycji bez znaczącego wpływu na lepkość systemu podczas przetwarzania.

3. Charakterystyka kompozycji zastosowanych do przesycania włókienniczych kształtek aramidowych.

Do przesycania włóknistych kształtek metodą RTM wykonano w ramach kooperacji z Instytutem Przetwórstwa Tworzyw Sztucznych METALCHEM w Toruniu Oddział Zamiejscowy Farb i Tworzyw w Gliwicach trzy rodzaje kompozycji epoksydowych utwardzanych na gorąco. Głównym wymaganiem stawianym kompozycjom była ich niska lepkość w temperaturze przetwarzania. Jednocześnie wymagano, aby niska lepkość kompozycji była utrzymywana na niezmiennym poziomie podczas całego cyklu przetwórczego w formie, w celu zapewnienia prawidłowego wypełnienia gniazda formującego z umieszczoną w nim włóknistą kształtką wzmacniającą. Dodatkowo w celu wstępnej oceny przeprowadzono badania udarności na młocie Charpy'ego ZWICK 5113.300. Próbki do badań stanowiły beleczki o wymiarach 8×8×100 wykonane metodą odlewania w silikonowej formie. Model formy wykonany z tekstolitu oraz formę silikonową (kompozycja SILASTIC S – dostarczona przez firmę PROXIMA NTR) i gotową próbkę do badań przedstawiono na fotografii na rys. 3.



Rys. 3. Model (a) oraz forma (b) do wykonywania próbek kompozycji żywicy epoksydowych, (c) próbki utwardzonej żywicy do badań udarności.

Kompozycje epoksydowe były przed zalaniem formy odpowietrzane w eksykatorze w podciśnieniu ok. -1 bar. Fotografiją układu odpowietrzającego przedstawiono na rys. 4.



Rys. 4. Układ odpowietrzający: a) eksykator, b) manometr próżniowy, c) pompa próżniowa.

3.1. Kompozycja epoksydowa 1

Kompozycja ta była wykonana w wersji jednoskładnikowej bez przyspieszacza. Do utwardzania kompozycji w celu przyspieszenia procesu utwardzania stosowano przyspieszacz w ilości $0,2 \div 0,4$ g na 100 g żywicy.

Lepkość kompozycji wynosiła:

- w temperaturze 60°C – 80 mPas,
- w temperaturze 80°C – 55 mPas.

Czas żelowania kompozycji zawierającej 0,3 g przyspieszacza na 100 g żywicy wynosił:

- w temperaturze 80°C powyżej 2 h.
- w temperaturze 100°C – 1 h,
- w temperaturze 130°C – 15 min,
- w temperaturze 150°C – 6 min.

Zalecany cykl utwardzania był następujący:

- 5 h w temperaturze 80°C oraz
- 12 h w temperaturze 130°C (dosieciowanie).

W celu skrócenia czasu dosieciowania zwiększono temperaturę do 150°C , przez co uzyskano skrócenie procesu sieciowania do 8 h.

Próbki do badań udarności wykonano zgodnie z rys. 3. Do badań przeznaczono 5 próbek. W badaniach określono energię zniszczenia próbki [J] i udarność [J/m^2]. Energia zastosowanego do badań wahadła wynosiła 5 J.

Wartości udarności kolejnych próbek przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki badań udarności utwardzonej kompozycji 1.

Nr próbki	Wymiary poprz. próbki [mm×mm]	Pole przekroju próbki [$\text{m}^2 \times 10^{-6}$]	Energia zniszczenia E_z [J]	Udarność U [J/m^2]	U_{sr} [J/m^2]
1	7,3×7,8	56,9	0,126	2,2	2,4
2	7,4×7,9	58,5	0,151	2,6	
3	7,9×7,8	61,6	0,121	2,0*	
4	8,3×7,8	64,7	0,195	3,0*	
5	7,3×7,9	56,7	0,134	2,3	

(*) wartości te nie były uwzględniane w obliczeniach.

3.2. Kompozycja epoksydowa 2

Kompozycja 2 była wykonana w wersji jednoskładnikowej bez konieczności dodawania środków przyspieszających sieciowanie. Dzięki temu była mniej kłopotliwa w przetwórstwie, co przejawiało się krótkim czasem odpowietrzania. Jednocześnie cykl żelowania i utwardzania kompozycji był najkrótszy ze stosowanych kompozycji epoksydowych. Czas żelowania był jak poprzednio zależny od temperatury i wynosił:

- w temperaturze 100° C – pow 3 h,
- w temperaturze 130° C – 40 min,
- w temperaturze 150° C – 8 min.

Zalecany cykl przetwórstwa:

- impregnacja wzmocnienia włóknistego w temperaturze do 100° C,
- żelowanie w temperaturze 100 ÷ 120° C w czasie 1,5 h,
- dotwarzanie w 150° C w czasie 2h.

Próbki do badań udarności wykonano jak wyżej. Wyniki badań udarności zamieszczono w tabeli 3.

Tabela 3. Wyniki badań udarności utwardzonej kompozycji 2.

Nr próbki	Wymiary poprz próbki [mm×mm]	Pole przekroju próbki [m ²]×10 ⁻⁶	Energia zniszczenia E _z [J]	Udarność U [J/m ²]	U _{sr} [J/m ²]
1	8,1×8,0	64,8	0,213	3,3*	2,2
2	7,6×8,0	60,8	0,140	2,3	
3	8,0×7,9	63,2	0,124	2,0	
4	7,9×7,86	62,1	0,142	2,3	
5	8,1×8,0	64,8	0,093	1,4*	

(*) wartości te nie były uwzględniane w obliczeniach.

3.3. Kompozycja epoksydowa 3

Kompozycja 3 stanowiła dwuskładnikowy układ – ciało stałe – utwardzacz oraz ciecz – żywica epoksydowa. Składniki mieszano w proporcji 34 g utwardzacza na 100 g żywicy. Mieszanie odbywało się aż do uzyskania klarownego roztworu w łaźni wodnej o temperaturze 80 ÷ 90° C. Po oziębieniu roztworu wytracało się ciało stałe. Kompozycja nadawała się do dalszego przetwórstwa po uprzednim podgrzaniu do zalecanej temperatury i ponownym wymieszaniu.

Czas żelowania kompozycji 3 był najdłuższy i wynosił:

- w temperaturze 100° C – pow. 3 h,
- w temperaturze 130° C – 2 h 45 min,
- w temperaturze 150° C – 1 h 10 min.

Zalecany cykl utwardzania po zżelowaniu kompozycji:

- w temperaturze 150° C – 4 ÷ 6 h,
- w temperaturze 180° C – 4 h,
- w temperaturze 200° C – 2 h.

Kompozycja 3 była najbardziej kłopotliwa w przetwórstwie szczególnie z uwagi na bardzo długi czas przetwórstwa, trudności z odpowietrzaniem kompozycji oraz stosunkowo długi czas przygotowania kompozycji. Łatwo jest policzyć, że możliwe było przygotowanie jednej próbki (płyty) dziennie, a w praktyce rozkładało się to na dwa dni.

Właściwości odporności dynamicznej tej kompozycji przedstawiono w postaci tabeli 4 zawierającej wyniki badań udarności próbek (jw.).

Tabela 4. Wyniki badań udarności utwardzonej kompozycji 3.

Nr próbki	Wymiary porz. próbki [mm×mm]	Pole przekroju próbki [m ²]×10 ⁻⁶	Energia zniszczenia E _z [J]	Udarność U [J/m ²]	U _{sr} [J/m ²]
1	7,2×7,9	56,9	0,071	1,2	0,9
2	8,0×6,7	53,6	0,025	0,5*	
3	8,1×7,3	54,3	0,074	1,4*	
4	6,8×8,1	55,1	0,036	0,7	
5	6,7×8,0	53,6	0,045	0,8	

(*) wartości te nie były uwzględniane w obliczeniach.

4. Technologia wytwarzania kompozytu

Wykonanie kompozytów metodą RTM wymaga spełnienia kilku ważnych warunków zarówno przez materiały, z których te kompozyty były wykonywane jak i przez oprzyrządowanie technologiczne, które zagwarantuje prawidłowy przebieg procesu.

W odniesieniu do oprzyrządowania technologicznego zapewniającego otrzymanie odpowiednich kształtek kompozytowych wymagania te można sformułować w następujących punktach:

- zapewnienie warunków technologicznych do właściwego rozdrobnienia włókna aramidowego – cięcie i rozwłóknianie,
- zapewnienie warunków do uzyskania kształtek włóknistych o wymaganych wymiarach geometrycznych oraz jednorodnym rozkładzie włókna – uzyskanie quasi-jednorodnej i powtarzalnej w każdym procesie kształtki włóknistej,
- zapewnienie warunków wytwarzania kompozytu, które uwzględniałyby wymagania technologiczne przetwórstwa opracowanych kompozycji epoksydowych 1, 2 i 3 oraz odpowiedni nacisk i temperaturę przetwórstwa.

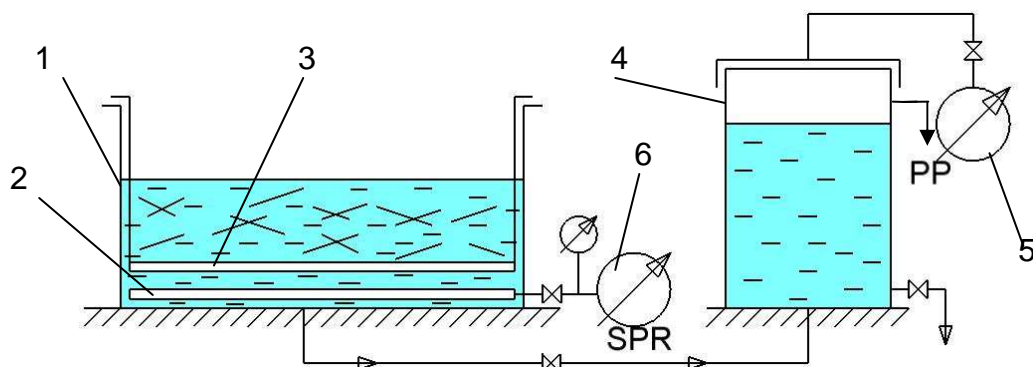
Laboratoryjne oprzyrządowanie technologiczne składało się z trzech autonomicznych stanowisk:

1. Stanowisko przygotowania włókna do wykonania kształtek włóknistych.
2. Stanowisko do wykonania kształtek.
3. Stanowisko do wykonywania kompozytów metodą RTM.

W skład stanowiska 1 wchodziły:

- rozwłókniacz z wirówką,
- zestaw do formowania i cięcia włókna,
- komora klimatyczna do zamrażania kształtek w postaci prętów mieszaniny włókna aramidowego i wody.

Kolejnym gniazdem laboratoryjnym służącym do wykonania próbek kompozytów metodą RTM było stanowisko 2 przedstawione na schemacie na rys. 5. Na tym stanowisku dokonywano osadzania na siatce stalowej o przekroju oczek 1,5 × 1,5 mm rozwłóknionej przędzy aramidowej z wodnej zawiesiny.



Rys. 5. Schemat stanowiska do formowania kształtek z rozwłóknionej, ciętej przędzy aramidowej – (1) zbiornik, (2) mieszadło pneumatyczne, (3) siatka, (4) zbiornik przelewowy, (5) pompa próżniowa, (6) sprężarka.

Poza samym stanowiskiem do formowania kształtek włóknistych w tej operacji wykorzystywano również suszarkę z termoobiegami powietrza w celu uzyskania suchych kształtek włóknistych do wzmocnienia kompozytów.

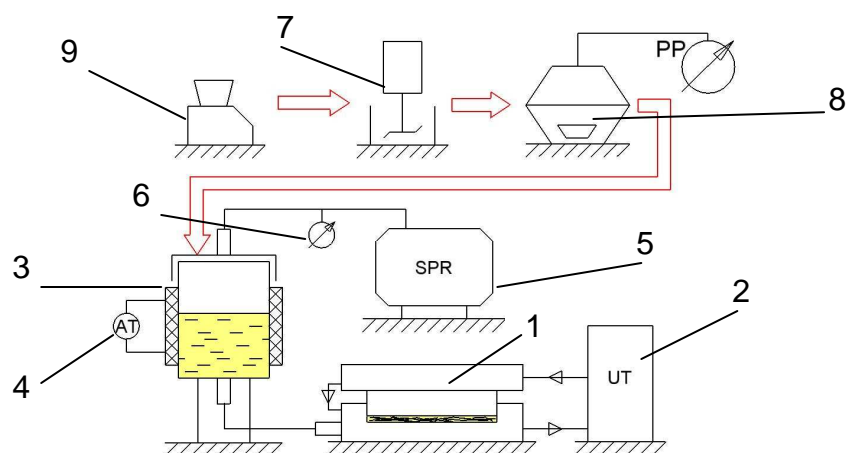
Wykonanie kształtek kompozytowych odbywało się na stanowisku 3, którego głównym elementem była forma ogrzewana olejem, z gniazdem formującym o powierzchni formatu A 4 z możliwością formowania płyt o grubości od 1 mm do 20 mm. W skład stanowiska wchodziły ponadto:

- urządzenie do odpowietrzania kompozycji epoksydowych (eksykator szklany i pompa próżniowa),
- ultratermostat z pompą zasilający formę w medium grzewczym,
- pośredni, ogrzewany dozownik podający żywicę do gniazda formującego, którego grzejnik zasilany był poprzez autotransformator,
- mieszalnik kompozycji,
- sprężarka powietrza,
- armatura i instalacja hydrauliczna w postaci termoodpornych węży, manometrów i zaworów oraz instalacja elektryczna.

Wytwarzanie próbek w postaci płyt kompozytowych przebiegało w kilku etapach. Na proces technologiczny składały się następujące operacje:

- proces cięcia i rozwłókniania aramidowych odpadów tkaninowych realizowane w kilku cyklach w celu doprowadzenia włókna aramidowego do wysokiego stopnia fibrylizacji,
- proces osadzania włókna z zawiesiny wodnej na sicie techniką próżniową w postaci spójnej płaskiej kształtki,
- proces prasowania technologią RTM w formie zasilanej syciwem, które stanowiła termoutwardzalna żywica epoksydowa.

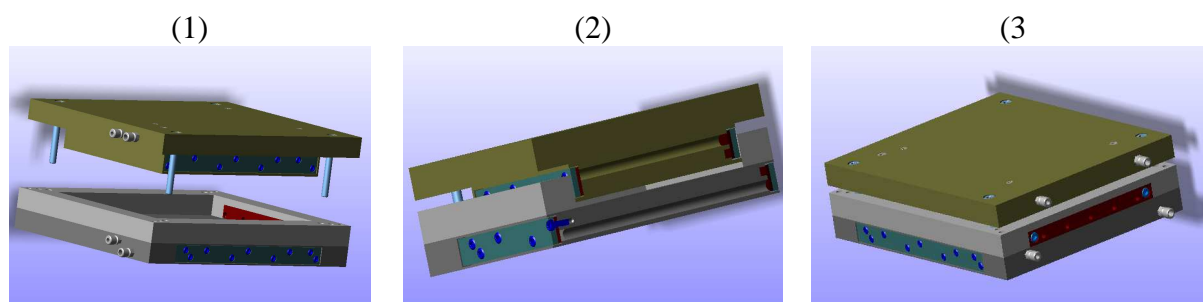
Schemat stanowiska technologicznego procesu wytwarzania płyt - próbek kompozytowych przedstawiono na rys. 6.



Rys. 6. Schemat stanowiska do wykonywania płyt kompozytowych metodą RTM:

(1) forma, (2) ultratermostat, (3) ogrzewany dozownik, (4) autotransformator, (5) sprężarka, (6) manometr, (7) mieszalnik, (8) urządzenie do odpowietrzania kompozycji, (9) waga laboratoryjna.

Głównym elementem stanowiska była forma do kształtowania końcowego wyrobu, jakimi były płyty kompozytowe. Budowę formy przedstawia rys. 7.

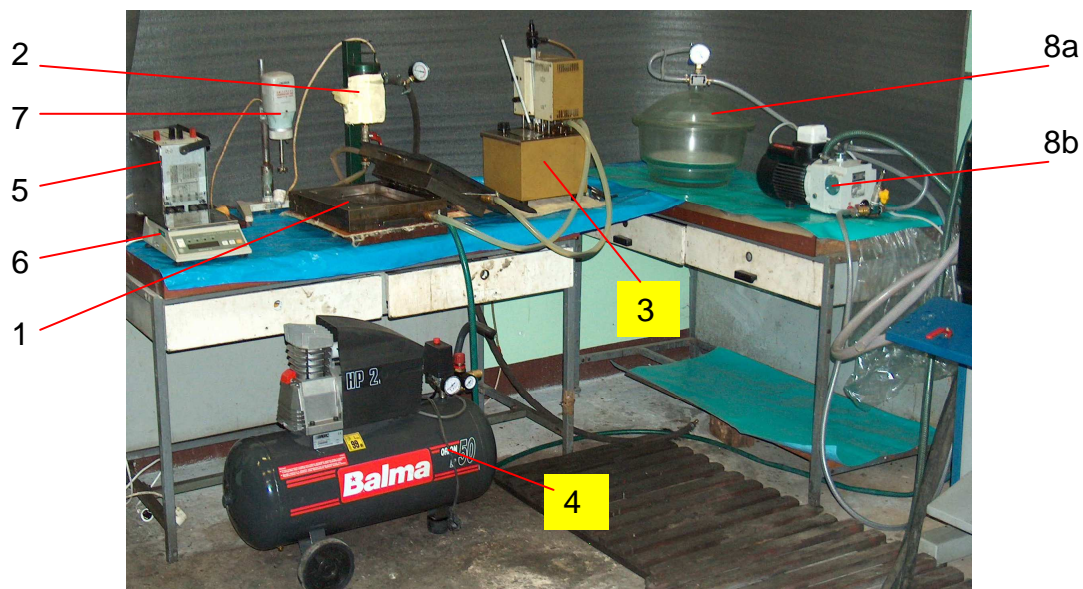


Rys. 7. Budowa formy do prasowania kompozytów metodą RTM, (1) forma otwarta, (2) przekrój poprzeczny, (3) forma zamknięta.

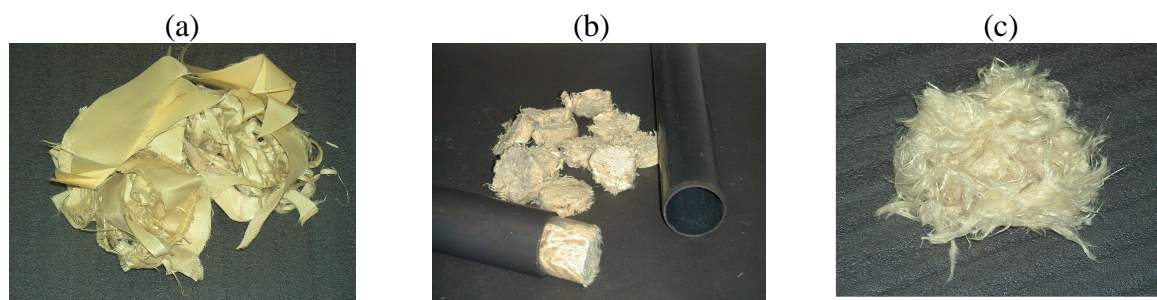
Forma posiada możliwość kształtowania wyrobów zarówno termoutwardzalnych jak i o osnowie termoplastycznej dzięki wykonanemu niezależnie od kanałów grzewczych obiegowi medium chłodzącego, np. wody.

Rzeczywisty układ stanowiska przedstawiono na rys. 8. Urządzenia i przyrządy wykonane do wytwarzania kształtek kompozytowych metodą RTM zapewniały autonomiczne przeprowadzenie procesu technologicznego od postaci chaotycznych pod względem kształtu odpadów tkanin aramidowych do postaci kompozytu o quasianizotropowej strukturze wzmacniającego materiału włóknistego.

Włókno aramidowe do przetwórstwa występowało pod postacią fragmentów tkanin – rys. 9 (a). Końcową postać włókna przedstawia rys.9 (c).



Rys. 8. Fotografia stanowiska do formowania kształtek kompozytowych, (1) forma, (2) dozownik żywicy, (3) ultratermostat, (4) sprężarka, (5) autotransformator, (6) waga, (7) mieszalnik, (8) urządzenie do odpowietrzania żywicy – eksykator (a) i pompa próżniowa (b).



Rys. 9. Pierwotna postać fragmentów tkanin aramidowych do przetwórstwa (a), zamrożony pręt włókna aramidowego oraz półfabrykat ciętego włókna w postaci odciętych krążków (b), włókno aramidowe po procesie cięcia i rozwłókniania (c).

W celu uzyskania kształtek włóknistych do wzmocnienia kompozytów otrzymane z procesu rozwłókniania włókno poddano przeróbce na stanowisku przedstawionym na rys. 10.

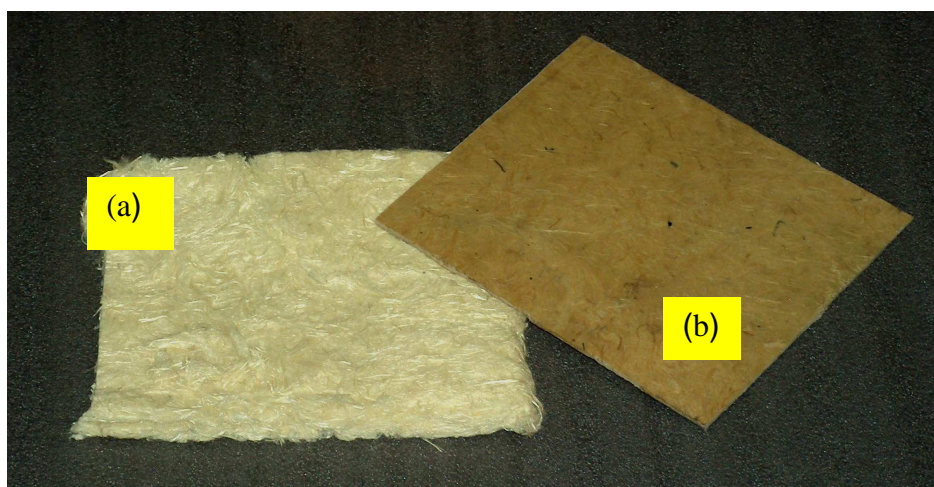


Rys. 10. Fotografia stanowiska do uzyskiwania kształtek włóknistych: (1) zbiornik zawiesiny, (2) zbiornik przelewowy, (3) pompa próżniowa.

Do zbiornika wprowadzano zawsze tę samą naważkę fragmentowanego suchego włókna aramidowego w ilości 50 g. Po umieszczeniu włókna w zbiorniku zalewano je wodą do poziomu, który zapewniał rozproszenie włókna podczas mieszania. W celu dokładnego rozproszenia włókna w wodzie i stworzenia jego chwilowo stabilnej zawiesiny w wodzie włączano mieszadło powietrzne wykonane w postaci układu jednostronnie ślepych rurek z nawierconymi otworami. Zawiesina powstawała podczas intensywnego zasilania mieszadła przez sprężone powietrze. Gwarancją uzyskania mieszaniny o jednorodnym rozkładzie włókien w wodzie było odpowiednie ustawienie strug powietrza. W innych przypadkach następowało zjawisko powodujące aglomerację (skupiska) włókien. Proces mieszania trwał ok. 8 min. Włóczenie próżni odbywało się jeszcze podczas procesu mieszania na czas ok. 1 min. Takie postępowanie miało swoje uzasadnienie, ponieważ włókna powinny osadzać się równoległe do płaszczyzny siatki. Z obserwacji mikroskopowych wynika, że takie założenie było słuszne. Uzyskiwano powtarzalnie strukturę wzmocnienia o budowie quasianizotropowej, tzn. takiej, która wykazywała zorientowanie osadzania się włókna w płaszczyźnie siatki. Wysuszona kształtka stanowiła materiał zbrojący kompozyty. Postać kształtki wzmacniającej przedstawiono na rys. 11 (a).

Włókno występujące w kształtce można ująć w nazewnictwie, jako włókno cięte. Charakter zastosowań ograniczał długość odcinków włókna do min 3 cm. Wynikało to dalszego przetwórstwa oraz z zamierzonych do uzyskania właściwości kompozytu. Dzięki uzyskaniu quasianizotropowej struktury wzmocnienia istniała możliwość wykonania kompozytu o właściwościach zbliżonych do tych, które uzyskuje się przy zastosowaniu włókna ciągłego.

Materiał kompozytowy (rys. 10 b) przeznaczony do badań był wytwarzany w procesie RTM, który zapewniał zachowanie pierwotnej struktury wzmocnienia.



Rys. 11. Aramidowa kształtka włóknista wzmacniająca kompozyty (a) oraz kształtka kompozytowa (b).

Proces wykonywania kształtek kompozytowych rozpoczynał się od przygotowania odpowiedniej ilości kompozycji epoksydowej i jej odpowietrzeniu oraz nagrzania formy do wymaganej temperatury. Tak przygotowaną kompozycję przenoszono do dozownika. Dozownik był ogrzewany oporowo poprzez autotransformator. Dzięki temu utrzymywano kompozycję w stanie bardzo niskiej lepkości

Dozownik był połączony ze sprężarką. Pompowanie kompozycji do gniazda formującego, w którym znajdowała się kształtka wzmacniająca wymuszone było ciśnieniem powietrza wywieranym na lustro kompozycji znajdującej się w dozowniku. Dozowanie żywicy było prowadzone do momentu pojawienia się jej śladów w płaszczyźnie podziału formy, po przeciwnej stronie od punktu zasilania poprzez specjalne przeszlifowania przelewowe o grubości 0,1 mm i szerokości 5 mm. Ważnym elementem w systemie zasilania było zastosowanie

przewężki w postaci „pletwy”. Takie rozwiązanie pozwalało na podawanie żywicy w postaci płaskiej strugi obejmującej poprzeczny przekrój zbrojenia, przez co kształtkę wzmacniającą zasilano żywicą epoksydową jednocześnie w całym przekroju. Przykładową kształtkę kompozytową przedstawiono na rys. 11 (b).

Parametry cyklu prasowania kształtek kompozytowych były następujące:

1. Wstępne ciśnienie zamknięcia formy – 1,5 bar.
2. Ciśnienie zasilania kompozycją epoksydową – ok. 2 bar.
3. Temperatura formy:
 - kompozycja 1 – 150° C
 - kompozycja 2 – 140° C
 - kompozycja 3 – 180° C
4. Ciśnienie prasowania (każdej kompozycji) – ok. 3 bar.
5. Czas prasowania (utwardzanie do rozformowania):
 - kompozycja 1 – 8 h
 - kompozycja 2 – 6 h
 - kompozycja 3 – 6 h

Dotwardzanie każdej z kompozytowych kształtek przebiegało w temperaturze 150° C, w czasie 5 h.

5. Wnioski

1. W pracy wykazano możliwość adaptacji technologii RTM do wykonywania kompozytów osnowie polimerowej, na bazie wzmocnienia w postaci quasianizotropowego układu krótkich włókien aramidowych.
2. Opracowano technologię uzyskiwania spójnych kształtek wzmacniających z zawiesiny wodnej krótkich włókien aramidowych pochodzących z recyklingu odpadowych tkanin aramidowych z produkcji kamizelek kuloodpornych. Quasianizotropia budowy kształtki wzmacniającej polega na warstwowym ułożeniu włókien.
3. Uzyskano kompozyty w osnowie trzech rodzajów termoutwardzalnych kompozycji epoksydowych.
4. Określono parametry wymagane w procesie przetwórstwa termoutwardzalnych kompozycji epoksydowych wzmacnianych krótkim włóknem aramidowym w osnowie żywicy epoksydowej.
5. Wykonano oryginalne oprzyrządowanie technologiczne do przetwórstwa krótkiego włókna aramidowego z zawiesiny wodnej do postaci kształtek wzmacniających. Określono parametry technologiczne procesu oraz wykonano spójne kształtki wzmacniające z odzyskanego materiału włóknistego.
6. Wykonano oprzyrządowanie umożliwiające wykonanie kompozytów metodą RTM w skali laboratoryjnej. Formy są oryginalną konstrukcją. Poprzez zastosowanie zamiast przewężki pletwy wtryskowej uzyskano wypełnienie jednorodne formy (w całej objętości gniazda formującego).
7. Wykonano szereg próbek kompozytów w postaci płyt o formacie A – 4, które będą przeznaczone do przeprowadzenia badań strukturalnych i wytrzymałościowych, których wyniki zostaną przedstawione w kolejnej publikacji.

8. Proces technologiczny wykonania włóknistych kształtek wzmacniających zawiesiny wodnej jest ekologiczną technologią, w której medium – woda jest zamknięta w stałej cyrkulacji.

Literatura

- [1] KEVLAR® Aramide Fiber – Technical Guide – Du Pont 1992.

Wykonano w ramach projektu badawczego własnego nr T 00C 02 27

THE TECHNOLOGICAL WORK OVER THE PRODUCTION OF POLYMER COMPOSITES REINFORCED BY SHORT ARA- MIDE FIBERS

The results of technological work over the production of polymer composites reinforced by short aramide fibers are presented in the paper. The aramide fibers were obtained as nascent waste material at the manufacture of ballistic panels to bullet-proof vests and from panels for which the useful service life has already passed. The technology RTM (Resin Transfer Molding) and the epoxy plastics in three kinds of the composition were used as polymer warp to manufacture composites. The waste aramide fibers appeared in the form of fragments of fabrics. The fragmentation of fabrics into the form of fibrillated short fibers is carried out by cutting frozen waste material in the hydrous warp in the form of rods. (Patent No 195366)

The defibered aramide fibers were reprocessed into the form of flat solid pieces. The pieces having the size A - 3 were formed from the hydrous suspension on the special standing. Dried pieces created ready composite reinforcing panels. Pieces have the quasianisotropic structure and the fibers are arranged into flat layers. A final operation was the pressing of composite shaped pieces in the mould. In accordance with the RTM process a reinforcing shaped piece was closed in the mould and the thermo set epoxy resin was injected into the warmed mould to impregnate reinforcing material. After curing the shaped piece was removed from the mould. The shaped pieces were destined to manufacture a testing lot for strength and structural tests. Results of these tests will be presented in next papers.