

Hubert Schmidt¹, Małgorzata Cieślak², Irena Kamińska³
Instytut Inżynierii Materiałów Włókienniczych, ul. Gdańska 118, 90-520 Łódź

WPLYW STRUKTURY WZMOCNIENIA DYSTANSOWEGO 3-D NA WŁAŚCIWOŚCI KOMPOZYTÓW

Celem pracy było otrzymanie kompozytów, przeznaczonych na elementy konstrukcyjne o małym ciężarze i dobrej izolacji cieplnej. Osiągnięto to w kompozytach, które oprócz wzmocnienia trójwymiarowymi dystansowymi wyrobami włókienniczymi i matrycy z chemoutwardzalnych żywic epoksydowych albo poliestrowych zawierają dużo wolnych przestrzeni. Otrzymano kompozyty o masie objętościowej 200 do 480 kg/m³, zawierające 60 do 85% wolnych przestrzeni. Zużycie żywicy nie przekraczało 350 kg/m³. Oznaczono mechaniczne właściwości kompozytów, takie jak wytrzymałość na ściskanie i zginanie oraz moduły sprężystości.

EFFECT OF 3-D DISTANCE TEXTILE REINFORCEMENT ON MECHANICAL PROPERTIES OF COMPOSITES

Composites consisting of reinforced fibres and a matrix, usually of thermoplastic or chemosetting resin, since a long time are used as construction materials. Recently more and more often woven and knitted spatial textile structures of continuous filament or two-dimensional textiles arranged in layers are used as reinforcement.

The aim of present study was to prepare light composites designed for structural elements satisfying requirements such as good heat insulation and low weight, e.g. boat bodies, heat transporting ducts, motor-car bodies, light roofs and the like. This goal can be reached by composite, being at least three-component, which in addition to polymeric matrix and reinforcement contains many free air spaces. Taking this assumption into consideration, light weight structural composites have been made up of matrices consisting of chemosetting polyester and epoxy resins, reinforced with three-dimensional distance (3-DD) textiles (Fig. 1). Polyester and polyamide 3-DD textiles were used as reinforcement. The composites have weight by volume of 200 to 480 kg/m³ and contain 60 to 85% of empty spaces (Tab. 1). Resin content doesn't exceed 350 kg/m³. Mechanical properties such as compression strength and bending strength of the composites, and their modulus of elasticity have been assessed (Tab. 2). Series of composites were prepared with 3-DD reinforcement and various content of polyester and epoxy resin matrices. Figures 2 and 3 show the relationships between bending strength R_z of such composites (c in Fig. 1), and their ratios of strength to weight by volume, and resin content (% by mass of reinforcement). They are approximately rectilinear. Out of straight line lie only the values for high resin content. The compression strength R_c and ratio of strength to weight by volume in relation to resin content are shown in Figure 4. The strength of composites with epoxy resin matrices as well as the strength of composites with polyester matrices is very similar. Good mechanical properties were obtained with 3-DD knitted fabric made of voluminous polyester or polyamide yarn connected with polyester monofilament (composites a and b in Fig. 1). 3-DD woven fabric reinforced composites (composites d in Fig. 1) have very low mass by volume and high strengths to weight ratios but it was difficult to obtain good impregnation with resin of such reinforcement because of its small elastic recovery.

The performed study made it possible to obtain very light composites with a high elasticity, good compression and bending strengths as well as a high ratio of strength to the weight by volume. Thick and voluminous yarn of joining elements in 3-DD knitted reinforcement provides good compression strength in thick composites, but increases their weight. Fine, smooth yarn reinforcement give light composites with sufficient bending strength.

WSTĘP

Kompozyty złożone z włókien wzmacniających i matrycy polimerowej są coraz częściej stosowane w konstrukcji maszyn, środków transportowych, budownictwie, przemyśle zbrojeniowym i innych. Ze względu na specyficzne cechy, jak: łatwość formowania, duża udatność, wytrzymałość i sprężystość oraz możliwości łatwego dostosowania właściwości kompozytu do konkretnego celu, obszar zastosowań kompozytów wzmacnianych włóknami ciągle rośnie.

Dążenie do obniżenia ciężaru w konstrukcjach lotniczych doprowadziło do zastosowania nowoczesnych kompozytów, wzmocnionych wysoko wytrzymałymi włóknami, np. węglowymi. Uzyskano przez to duży stosunek wytrzymałości i sprężystości do masy objętościowej kompozytu. Porównanie wybranych właściwości kompozytu włókno węglowe-żywica epoksydowa z właściwościami stopu aluminiowego przedstawia poniższe zestawienie [1]:

¹ dr inż., ² dr inż., ³ mgr inż.

Kompozyt	Masa właściwa $\text{g} \cdot \text{cm}^3$	Wytrzymałość MPa	Wytrzymałość/ masa właściwa $\text{MPa/g} \cdot \text{cm}^3$
Włókno węglowe-żywica epoksydowa	1,6	700	438
Stop aluminiowy	2,7	414	153

Inną drogą do zwiększenia tego stosunku jest odpowiednie ukształtowanie wewnętrznej warstwy kompozytu, np. przez wprowadzenie profili falistych [2] lub struktur typu plastra miodu [3]. Istotą takiego rozwiązania jest utworzenie w kompozycie możliwie dużo wolnych przestrzeni przy maksymalnym zachowaniu wytrzymałości. Tego typu strukturę kompozytu postanowiono utworzyć, wykorzystując trójwymiarowe dystansowe wyroby włókiennicze.

CEL I ZAKRES PROJEKTU

Celem projektu badawczego było opracowanie optymalnych konstrukcji kompozytów wzmocnionych trójwymiarowym wyrobem włókienniczym, umożliwiającym łatwe formowanie, z żywicy chemoutwardzalnej, zawierających niewypełnione przestrzenie. Dzięki takiej budowie zużycie polimeru na matrycę znacznie się

zmniejszy i uzyska się kompozyt o dużo mniejszej masie objętościowej od kompozytu litego.

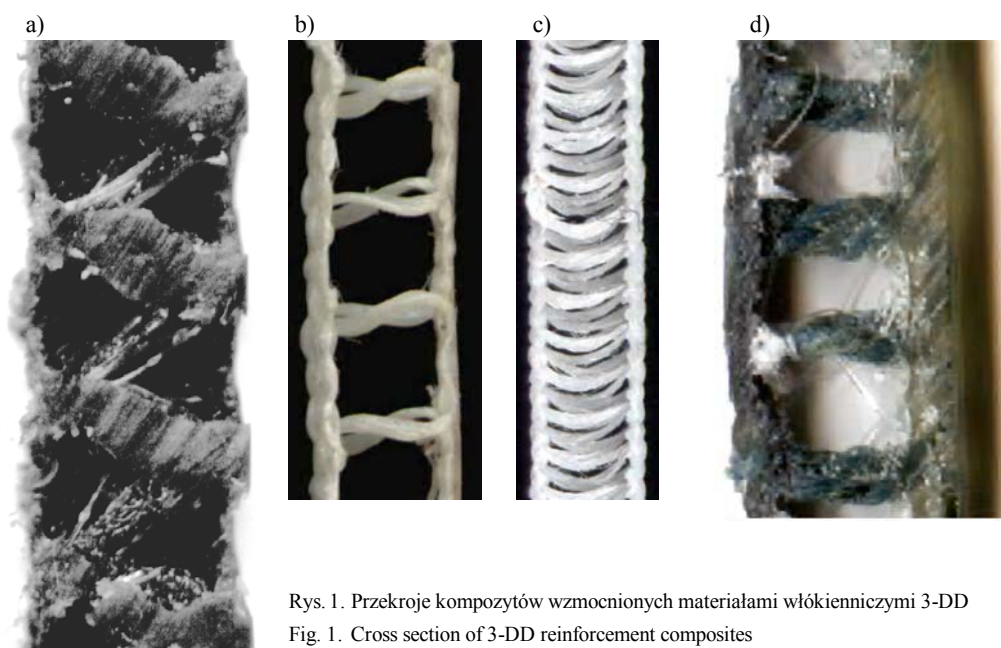
Istota projektu polegała na utworzeniu sztywnego kompozytu wzmocnionego gotowym wyrobem włókienniczym o strukturze przestrzennej zbliżonej do ramownicy, w której dwie zewnętrzne warstwy dzianiny lub tkaniny połączone są łącznikami z nici. Warstwy zewnętrzne i łączniki usztywnione są tym samym polimerem. Taka konstrukcja kompozytu zapewnia masę objętościową znacznie mniejszą od masy objętościowej i włókien, i polimeru matrycy oraz dobre właściwości mechaniczne. Siły odkształcające w takim układzie są przenoszone przez sztywne łączniki na obie zewnętrzne powierzchnie kompozytu, powodując rozciąganie jednej i ściskanie drugiej powierzchni, podobnie jak oddziałują obciążenia w stalowych konstrukcjach ramowych. Zaletą takich kompozytów, oprócz ich małej masy objętościowej, a tym samym dużego stosunku wytrzymałości do masy, jest łatwe nadawanie dowolnych kształtów po napawaniu wzmocnienia żywicą, a przed jej utwardzeniem. Można też nanosić żywicę na dystansowy wyrób włókienniczy nałożony na formę i następnie utwardzenie kompozytu. W zależności od kształtu wytwarzanych przedmiotów i warunków technicznych można stosować jeden lub drugi sposób wytwarzania wyrobów kompozytowych.

Na wzmocnienie kompozytów zastosowano dzianiny dystansowe trójwymiarowe z ciągłych włókien poli-

TABELA 1. Charakterystyka kompozytów wzmocnionych żywicą E-53

TABLE 1. Characteristics of 3-DD reinforced composites

Próba Sample	Żywica Resin	Wzmocnienie Reinforcement	Grubość Thickness mm	Masa pow. Weight by area g/m^2	Naniesienie Resin content %	Masa objętościowa Weight by volume kg/m^3	Zużycie żywicy Resin consumption kg/m^3	Udział wolnej przestrzeni Free space volume %
1	E-53	Dzianina a	8,7	3600	563,8	413,8	351,5	65,9
2	E-52		8,0	2163	328,7	270,5	200,7	78,1
3	109		8,4	2983	450,0	355,1	290,5	69,6
4	E-53	Dzianina z łączn. PAd	10,0	4693	380,5	469,3	371,6	61,2
5	E-53	Tkanina b	6,5	1302	180,1	200,4	128,8	84,0
6	109		6,1	1580	240,0	259,0	183	78,3
7	E-52	Dzianina c	4,5	1351	71,6	300,3	125,3	76,8
8	E-52		4,5	1449	84,1	322,1	147,2	75,0
9	E-52		4,5	1911	143,7	424,7	249,7	66,3
10	E-52		4,5	1895	175,0	421,1	267,9	66,4
11	E-52		4,5	1710	148,2	371,8	222,0	70,5
12	E-53		4,5	1826	165,1	405,9	252,8	67,7
13	E-52		4,5	1955	183,7	425,0	275,2	66,0
14	E-53		4,5	2207	220,3	479,8	330,0	61,4
15	GE 122		4,5	1584	129,9	352,0	189,9	68,8
16			4,5	1692	145,5	376,0	222,9	65,7
17			4,5	1905	176,5	423,3	270,2	63,5
18	146A		4,5	1632	136,9	362,7	209,6	66,0
19			4,5	1784	159,0	396,4	243,3	63,8
20			4,5	1838	166,7	408,4	255,3	62,7
21	109			4,5	1545	124,2	343,3	190,2



Rys. 1. Przekroje kompozytów wzmocnionych materiałami włókienniczymi 3-DD
Fig. 1. Cross section of 3-DD reinforcement composites

TABELA 2. Właściwości mechaniczne kompozytów z wzmocnieniem 3-DD
TABLE 2. Mechanical properties of 3-DD reinforced composites

Próba Sample	Żywica Resin	Wytrzymałość na ściskanie Compression strength R_s , MPa		Moduł na ściskanie Compression modulus E_s , MPa		$\frac{R_s}{m_v}$ kPa kg/m ³	Wytrzymałość na zginanie Bending strength R_z , MPa		Moduł na zginanie Bending modulus E_z MPa		$\frac{R_z}{m_v}$ kPa kg/m ³
		R_s	CV, %	E_s	CV, %		R_z	CV, %	E_z	CV, %	
1	E-53	13,9	9,3	10,5	2,2	33,6	10,1	3,6	333,5	11,9	48,3
2	Ep	3,54	9,14	25,3	8,09	13,1	0,37	2,5	128,8	16,8	1,37
3	109	8,9	31,3	8,2	15,9	25,1	5,0	13,4	22,0	24,5	14,1
4	E-53	9,0	9,05	47,9	17	19,2	12,3	15,6	940	14,2	26,2
5	E-53	2,04	18,7	2,7	9,6	10,2	8,43	14,9	375,6	9,8	46,8
6	109	2,09	14,3	4,33	15,1	8,07	7,46	12,2	491	18,7	31,1
14	E-53	9,54	7,5	36,4	13,6	19,9	41,0	7,7	634,7	10,5	85,5
17	GE122						22,9	9,2	0,558	14,1	54,1

estrowych i poliamidowych oraz tkaninę dystansową z ciągłych włókien poliestrowych, a na matryce żywice chemoutwardzalne nienasycone poliestrowe i epoksydowe. W wyniku badań wstępnych i licznych prób z różnymi rodzajami dystansowych wyrobów włókienniczych okazało się, że stosunkowo dobre właściwości mechaniczne mają kompozyty wzmocnione wyrobami dystansowymi, w których w odpowiedni sposób połączone są przędze wielowłókienkowe z grubym monofilamentem [4, 5]. Przędza wielowłókienkowa wchłania znaczną ilość żywicy i po jej utwardzeniu tworzy sztywną konstrukcję łączników i dwóch płaskich warstw zewnętrznych, zaś sprężysty monofilament zapewnia zachowanie dystansu między warstwami zewnętrznymi podczas napawania żywicą i formowania kompozytu.

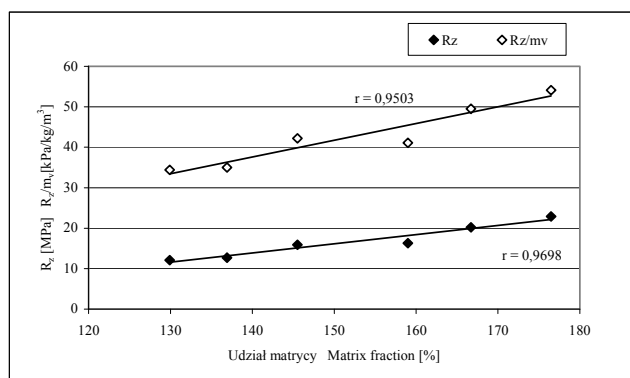
Wytworzono kilka rodzajów kompozytów o strukturach pokazanych na rysunku 1. Są to kompozyty z matrycą z żywicy epoksydowej albo poliestrowej wzmoc-

nione trójwymiarowymi dystansowymi wyrobami włókienniczymi: dzianiną z przędzy PET 330 dtex f124 łączonej z monofilamentem PET 33 dtex (a), tkaniną z przędzy poliestrowej 1060 dtex f256 (b), dzianiną z przędzy PET teksturowanej 167 dtex f32 (c), dzianiną z monofilamentu PET przeszywaną przędzą PA skręcaną 3400 dtex (d).

Charakterystykę szeregu kompozytów o różnej konstrukcji wzmocnienia i różnym udziale żywic tworzących matryce podano w tabeli 1, a wyniki oceny właściwości mechanicznych wybranych kompozytów zamieszczono w tabeli 2.

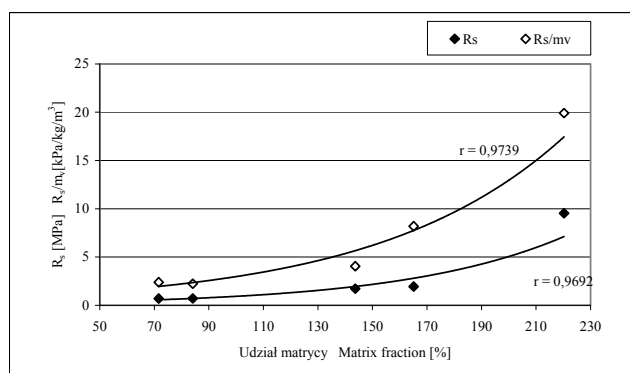
Od ilości żywicy naniesionej na dystansowy wyrób włókienniczy zależą takie właściwości kompozytu, jak: masa powierzchniowa i objętościowa, udział wolnej przestrzeni oraz wytrzymałość mechaniczna. Z kolei ta ilość ograniczona jest zdolnością przędzy wzmacniającej do wchłaniania żywicy, czyli masą liniową przę-

dzy, jej puszystością i wypełnieniem wyrobu wzmacniającego. Na masę objętościową kompozytu duży wpływ ma struktura wzmocnienia, tj. grubość oraz gęstość łączników i warstw zewnętrznych. Tak więc kompozyt wzmocniony dzianiną z monofilamentem, przesywany grubą przędzą PA (rys. 1, kompozyt d), mimo stosunkowo małej gęstości łączników, ma bardzo dużą masę objętościową, natomiast wzmocnienie tkaniną 3-DD z gładkiej przędzy PET (rys. 1, kompozyt b) daje kompozyty o najmniejszej masie objętościowej mimo stosunkowo dużego naniesienia żywicy. Zużycie żywicy i udział wolnej przestrzeni wynikają z ilości naniesionej żywicy i masy objętościowej wzmocnienia. Kompozyty (próby 7-21 w tabeli 1; rys. 1, kompozyt c) ze wzmocnieniem z dzianiny, mimo wygiętych łączników, ale dużej ich gęstości i małej długości, mają stosunkowo dużą wytrzymałość zarówno na zginanie, jak i na ściskanie. Kompozyty wzmocnione dzianiną (próby 1-3 w tabeli 1; rys. 1, kompozyt a) o ukośnym ułożeniu łączników i dużej grubości kompozytu dobrą wytrzymałość uzyskują dopiero przy dużej zawartości polimeru w matrycy.



Rys. 3. Zależność wytrzymałości na zginanie R_z i stosunku wytrzymałości do masy objętościowej R_z/m_v od udziału matrycy poliestrowej

Fig. 3. Bending strength R_z and ratio of strength to weight by volume R_z/m_v versus polyester matrix fraction



Rys. 4. Zależność wytrzymałości na ściskanie R_s i stosunku wytrzymałości do masy objętościowej R_s/m_v od udziału matrycy epoksydowej

Fig. 4. Compression strength R_s and ratio of strength to weight by volume R_s/m_v versus epoxies matrix fraction

Zależności wytrzymałości kompozytu na zginanie i stosunku wytrzymałości do masy objętościowej od ilości naniesionej żywicy są pokazane na rysunkach 2 i 3. W kompozytach o podobnej strukturze wzmocnienia (kompozyty 7-21 tab. 1) wytrzymałość na zginanie rośnie w przybliżeniu liniowo z ilością naniesionej żywicy zarówno epoksydowej, jak i poliestrowej. Kompozyty z matrycami z żywic epoksydowych są bardziej odporne na zginanie od kompozytów z matrycami z żywic poliestrowych, ale te różnice są niewielkie. Podobną zależność dla wytrzymałości na ściskanie kompozytów z matrycami z żywic epoksydowych pokazuje rysunek 4. Z rozrzutu poszczególnych punktów pomiarowych wynika, że różnice właściwości fizycznych żywic tworzących matryce, takich jak lepkość czy też czas żelowania, nie mają dużego wpływu na wytrzymałość kompozytów. Przebiegi zależności stosunku wytrzymałości do masy objętościowej kompozytu mają podobny charakter.

WNIOSKI

W wyniku pracy otrzymano lekkie kompozyty o masie objętościowej od 200 do 480 kg/m³, o dużej sprężystości, stosunkowo dobrej wytrzymałości na ściskanie i zginanie oraz dużym stosunku wytrzymałości do masy objętościowej. Zużycie żywicy i włókna na wytworzenie kompozytów wzmocnionych 3-DD jest 3÷5 razy mniejsze niż w przypadku kompozytów litych. Wytrzymałość na zginanie i na ściskanie jest zależna od długości, grubości i gęstości łączników oraz od ich ułożenia w stosunku do zewnętrznych powierzchni kompozytu.

Praca finansowana ze środków KBN, projekt badawczy nr 7 T08E 015 17.

LITERATURA

- [1] Composites 1999, 31, s.61.
- [2] Lee S., Xieng Y., Benak T.J., J. Health Sci. and Eng. of Composite Materials 1997, 6, 1, 37.
- [3] Informacja firmy ICOM Composites S/S Jernet 33, DK-6000 Kolding Dania.
- [4] Schmidt H., Kamińska I., Fibres & Textiles in Eastern Europe 1999, 7, 6, 57.
- [5] Schmidt H., Kamińska I., Lao M., Vlákná a Textil 2001, 8, 154.

Recenzent
Izabella Krucińska