ZESZYTY NAUKOWE POLITECHNIKI ŚLĄSKIEJ 1977

Seria: Hutnictwo z. 11 Nr kol. 518

Izabella HYLA
Instytut Inżynierii Materiałowej

WPŁYW ZBROJENIA NA NIEKTÓRE WŁASNOŚCI FIZYKO-MECHANICZNE MATERIAŁU KOMPOZYTOWEGO

Streszczenie. W pracy omówiono wpływ ilości i rodzaju włókien zbrojących na własności fizyko-mechaniczne tworzyw polimerowych ze szczególnym uwzględnieniem zmian ich modułów sprężystości i własności tłumiących.

Materiały kompozytowe stwarzają wyjątkowo duże możliwości w zakresie projektowania nowych tworzyw o określonych własnościach fizyko-mechanicznych, jakich nie posiadają poszczególne komponenty osobno.

W większości przypadków projekty kompozycji materiałowych mają na celu uzyskiwanie materiałów o wytrzymałości właściwej przewyższającej znacznie tradycyjne materiały konstrukcyjne, do których należą metale.

Pod określeniem - "wytrzymałość właściwa", należy rozumieć wytrzymałość materiału odniesioną do jego ciężaru właściwego. Jak wskazują dane literaturowe [3], pręt wykonany np. z kompozytu polimerowo-szklanego może osiągnąć wytrzymałość na zginanie taką, jak pręt stalowy, jeżeli przekrój jego będzie większy od przekroju pręta stalowego o ok. 60%. Pomimo tak wydatnie zwiększonego przekroju będzie on jednak nadal jeszcze o połowę lżejszy od pręta stalowego. Dla zilustrowania zachodzących zależności liczbowych zestawiono w tablicy 1 wytrzymałości właściwe dla niektórych kompozycji polimerowo-szklanych opartych na żywicach poliestrowych i epoksydowych oraz stali i aluminium.

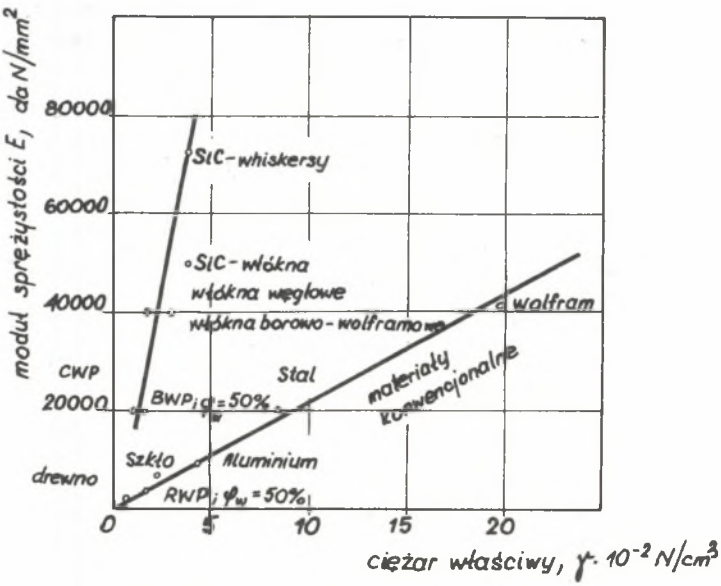
Przytoczone w tablicy dane wskazują na wyraźną przewagę, pod względem wytrzymałości właściwej, materiałów kompozytowych TWS nad tradycyjnymi materiałami metalicznymi.

Bardzo często jednak nowo opracowywane kompozycje materiałowe muszą posiadać oprócz dobrych własności wytrzymałościowych również pewne określone własności fizyczne. Zaprojektowanie takiego materiału wymaga wówczas powiązania ze sobą wielu czynników, jak np. odpowiednich charakterystyk materiałowych komponentów, uwzględnienia mechanizmów ich współdziałania, sposobu obciążenia danego elementu, warunków jego pracy itp. W takich przypadkach ustalenie optymalnych udziałów zbrojenia dla określonych warunków i surowców opiera się w dużej mierze na badaniach laboratoryjnych.

Tablica 1

Wytrzymałość właściwa niektórych materiałów niemetalicznych i metali

Rodzaj badanej wielkości	Żywica poliestrowa		Żywica epoksydowa		Stal konstrukcyjna	Aluminium (stopy)
	Tkanina szklana	Mata szklana	Tkanina szklana	Włókno szklane ciągłe (równoległe)		
Gęstość	1,5 do 2,1	1,5 do 1,9	1,7 do 1,9	1,7 do 1,9	7,85	2,7 do 2,8
Wytrzymałość na rozciąganie	10 do 24	5 do 15	12 do 25	40 do 46	8 do 11	3 do 10
Wytrzymałość na ściskanie	10 do 28	10 do 20	20 do 33	28 do 35	3,5 do 5,5	3 do 10
Wytrzymałość na zginanie	12 do 30	8 do 15	17 do 33	45 do 55	10 do 14	3 do 16



Rys. 1. Zestawienie modułów sprężystości i ciężarów właściwych niektórych materiałów konstrukcyjnych

CWP - polimer wzmocniony włóknem węglowym, BWP - polimer wzmocniony włóknem borowym, RWP - polimer wzmocniony włóknem szklanym (rowing), φ_w - procentowy udział objętościowy włókien wzmacniających

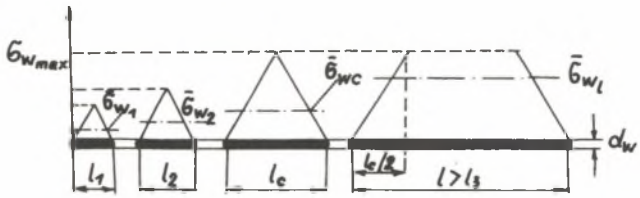
Na rys. 1 zestawiono wartości modułów sprężystości oraz ciężarów właściwych dla niektórych materiałów najczęściej używanych jako elementy zbrojące w kompozycjach materiałowych. Na rysunku tym podano również odnośne wielkości dla niektórych tradycyjnych materiałów konstrukcyjnych i niektórych kompozycji materiałowych. Jak wynika z przytoczonego wykresu, najlepszych efektów umocnienia można oczekiwać, stosując do zbrojenia wiskery lub włókna SiC. Ze względów ekonomicznych najczęściej jednak stosowanymi kompozycjami są kompozycje polimerowo-szklane (TWS-y).
Włóknem szklanym lub kuleczkami szklanymi zbroi się zarówno termoplasty jak i duroplasty.

Z uwagi jednak na różnice w technologii przetwórstwa tych dwóch grup tworzyw termoplasty zbrojone są przede wszystkim włóknami krótkimi, natomiast duroplasty - włóknami ciągłymi. Uzyskiwane efekty zbrojenia są zatem również różne. W referowanej pracy zwrócono szczególną uwagę na zależność sztywności kompozytu i jego współczynnika tłumienia od ilości i rodzaju zbrojenia.

Termoplasty zbrojone włóknem szklanym

Tworzywa termoplastyczne zbroi się włóknami krótkimi. Długości włókien zależą od technologii zbrojenia i wahają się w granicach 0,1 do 0,5 mm, 3 do 4 mm oraz 10 do 12 mm. Wprowadzane są do granulatu, który następnie przerabia się na gotowe produkty, najczęściej w oparciu o metodę wtrysku. Uniemożliwia to nadanie włóknom zbrojącym jakiejś określonej orientacji, a zatem efekty umocnienia zależą tu jedynie od rodzaju włókien, ich ilości i długości.

Przy włóknach krótkich, wysoką wytrzymałosc włókien można wykorzystać dopiero wówczas, gdy jego długość przekroczy tzw. długość krytyczną - l_c [1], rys. 3.



$$\bar{\sigma}_w = \sigma_{wmax}(1 - l_c)$$

Rys. 2. Rozkład naprężeń wzdłuż włókien krótkich podczas rozciągania l_c - krytyczna długość włókna, $\bar{\sigma}_w$ - naprężenie średnie w włóknach

Długość ta zależy zarówno od średnicy włókna, jak również od własności mechanicznych włókien i osnowy[1].
Dla idealnie plastycznej osnowy zależność ta może być wyrażona następującym związkiem

$$\frac{l_c}{d_w} = \frac{\sigma_{w\,max}}{2\,\tau_{oe}} \tag{1}$$

gdzie:

l_c - długość krytyczna włókna,

d_w - średnica włókna,

σ_{wmax} - doraźna wytrzymałość na rozciąganie dla włókna,

τ_{oe} - granica plastyczności dla osnowy przy ścinaniu.

W przypadku osnowy sprężystej zależność ta natomiast wyraża się związkiem podanym przez Sattona [1]

$$\frac{l_c}{d_w} = 8{,}40\,\frac{1}{\Gamma} \tag{2}$$

$$\Gamma = \left\{ \frac{24(G_w/E_w)\left[1 + (V_w/V_o)(E_w/E_o)\right]}{1-3(G_w/G_o) + 2(G_w/G_o)\left[(V_w^{-3/2}-1)/(V_w^{-1} - 1)\right]} \right\}^{1/2} \tag{3}$$

gdzie:

G - moduł sprężystości postaciowej,

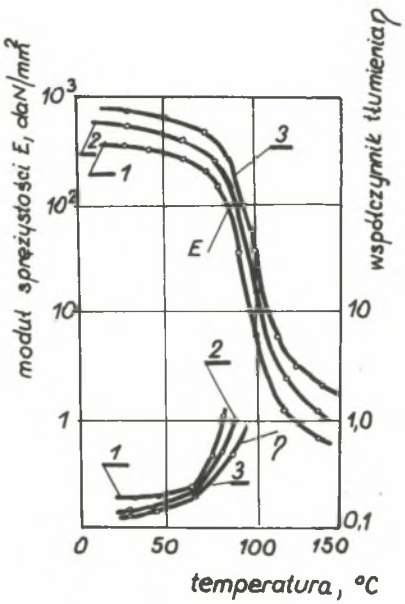
E - moduł sprężystości Younga; indeksy "w" i "o" oznaczają odpowiednio - włókno i osnowę,

V_w - procentowy udział objętościowy włókien.

Jak wskazują wyniki uzyskane zarówno z badań własnych jak i danych literaturowych, zbrojenie termoplastów włóknem szklanym podnosi ich ciężar właściwy stosunkowo nieznacznie, natomiast wyraźnie podwyższa moduł sprężystości kompozytu, a co za tym idzie również jego sztywność, bardzo znacznie zmniejsza wydłużenie przy zerwaniu (szczególnie w tworzywach o budowie częściowo krystalicznej) oraz poprawia odporność cieplną. Wpływ ilości zbrojenia na wielkość współczynnika tłumienia w zakresie normalnych temperatur pracy tworzywa jest niewielki. Z uwagi jednak na to, że własności

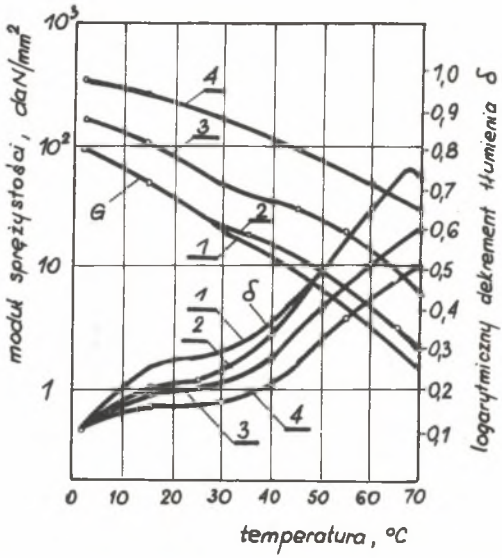
[1] Pod określeniem "osnowa" należy rozumieć tutaj materiał wiążący niekiedy określany również nazwą - matryca.

mechaniczne termoplastów zależą bardzo mocno od temperatury, na rys. 3 i 4 przedstawiono wykresy obrazujące zmianę zarówno modułu sprężystości jak i własności tłumiących przy podwyższaniu temperatury, powyżej temperatury pokojowej, dla dwóch termoplastów o różnej budowie wewnętrznej.



Rys. 3. Zależność modułu sprężystości i współczynnika tłumienia od temperatury w amorficznym tworzywie termoplastycznym
1 - PCV, 2 - PCV + 25% cięż. zbrojenia, 3 - PCV + 40% cięż. zbrojenia

Z przytoczonych wykresów wyraźnie widać, że dodatek włókien szklanych nie tylko polepsza własności mechaniczne, ale w dużym stopniu zmniejsza wrażliwość tworzywa na podwyższone temperatury.
Dla pełniejszego zobrazowania zachodzących zmian w tworzywach termoplastycznych na skutek zbrojenia ich włóknem szklanym, w tablicy 2 zebrano niektóre dane opisujące własności fizyczne i mechaniczne przykładowo wybranych tworzyw termoplastycznych zbrojonych i niezbrojonych.



Rys. 4. Zmiana modułu sprężystości i dekrementu tłumienia w polietylenie wzmocnionym włóknem szklanym

1 - Polietylen bez wzmocnienia, 2 - PE + 15% cięż. wzmocnienia, 3 - PE + 25% cięż. wzmocnienia, 4 - PE + 40% cięż. wzmocnienia

Tablica 2

Własności niektórych tworzyw termoplastycznych niewzmocnionych i wzmocnionych włóknem szklanym (krótkim) [2], [6]

Własności	Termoplastyczne tworzywa amorficzne				Termoplastyczne tworzywa częściowo krystaliczne	
	Polistyren		SAN - kopolimer styrenu z akrylonitrylem		Poliamid 6,6	
	Niewzmocniony	Wzmocniony	Niewzmocniony	Wzmocniony	Niewzmocniony	Wzmocniony
1	2	3	4	5	6	7
Zawartość włókna szklanego	0	30	0	35	0	35
Gęstość, g/cm³	1,05	1,30	1,08	1,36	1,15	1,4
Wytrzymałość na rozciąganie daN/cm²	500	1100	800	1200	suchy 850 wilgotny 650	2100 1600
Moduł sprężystości daN/cm²	3300	9500	40000	140000	suchy 29000 wilgotny 19000	110000 100000
Wydłużenie przy zerwaniu %	3	0,7	5	2,7	suchy 50 wilgotny 200	5 5

cd. tablicy 2

1	2	3	4	5	6	7
Udarność daN/cm^2	17	20	5	2,5	suchy 2,5 wilgotny 18	13 14
Odporność cieplna wg ISO/R75, ^oC	80-90	95-105	90	105	100	200
Współczynnik rozszerzalności liniowej 10^{-6} na 1^oC	70	20	70	25	70 do 100	20 do 30
Graniczna temp. pracy krótkotrw. ^oC	75/80	95/80	95/85	100/85	160/100	170/100
Chłonność wody %	0,2		0,4	0,6	7 do 10	5

Żywica epoksydowa zbrojona włóknem szklanym i stalowym

Badaniom poddano próbki, w których osnowę z żywicy epoksydowej Epidian 53 zbrojono włóknami szklanymi ciągłymi i krótkimi oraz ciągłymi włóknami stalowymi.

Podstawowe dane odnośnie użytych materiałów zebrano w tabl. 3. Włókna krótkie posiadały długość ok. 10 mm i były, podobnie jak włókna ciągłe, ułożone równolegle do kierunku dłuższej osi próbki. Długość włókien krótkich bardzo znacznie przewyższała długość krytyczną, co pozwalało w pełni wykorzystać dobre własności mechaniczne włókien zbrojących.

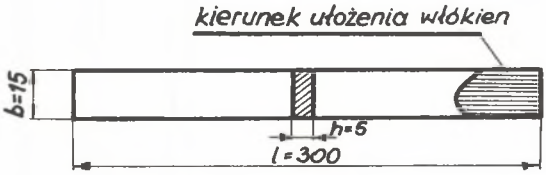
Tablica 3

Dane dotyczące badanych materiałów

Materiał	Typ	Producent	Sposób przygotowania	Ciężar wł. N/cm^3	Średnica włókna d µm	Wytrzymałość na rozciąg. σ_w daN/mm^2	Moduł sprężystości E daN/mm^2
1	2	3	4	5	6	7	8
Drut stalowy, mosiądzowany	C-stal	Nat.Standard, Kidderminster	Drut stalowy mocowany na osnowie	7,8	250	270	21000
Włókno szklane	Roving 2001	Huta Szkła Krosno	Pasmo rowingu z włókien szklanych szkła E	2,5	9-10	80-120	7000

cd. tablicy 3

1	2	3	4	5	6	7	8
Żywica epoksydowa	Epidian E-53	Z-dy Chemicz. Sarzyna	Ciecz lepka zmieszana z utwardzaczem Z-1	1,16	-	-	350



Rys. 5. Próbka stosowana w badaniach

Do badań użyto próbek w kształcie beleczek o przekroju prostokątnym, których wymiary i symbole oznaczeń pokazano na rys. 5.

Próbki wykonywano zalewając płynną żywicą, zmieszaną z utwardzaczem, włókno ułożone w specjalnych formach równolegle do dłuższej osi próbki.

Przyjęto w badaniach, że zachowując we wszystkich próbkach jednakowe (stosunkowo niewielkie) przekroje oraz równomierne rozłożenie zbrojenia w przekroju, zmianę modułu sprężystości E przyjmie się jako miarę zmian sztywności kompozytu (EWS). Wyznaczano moduł sprężystości zarówno przy rozciąganiu jak i przy zginaniu.

Biorąc pod uwagę małą wrażliwość żywic epoksydowych na zmiany temperatury, pomiary modułu sprężystości oraz współczynnika tłumienia η przeprowadzono tylko w temperaturze pokojowej ($t = 22^{o}C$).

Wyznaczanie modułu sprężystości E

Moduł sprężystości dla laminatu epoksydowo-szklanego wyznaczano różnymi metodami:

- rachunkowa,
- z próby statycznego rozciągania,
- z próby statycznego zginania,
- w oparciu o pomiar częstości drgań rezonansowych.

Stosując pierwszą z wymienionych metod moduł sprężystości E obliczono w oparciu o regułę mieszania

$$E_k = \sum_{i=1}^{n} \varphi_i E_i \tag{4}$$

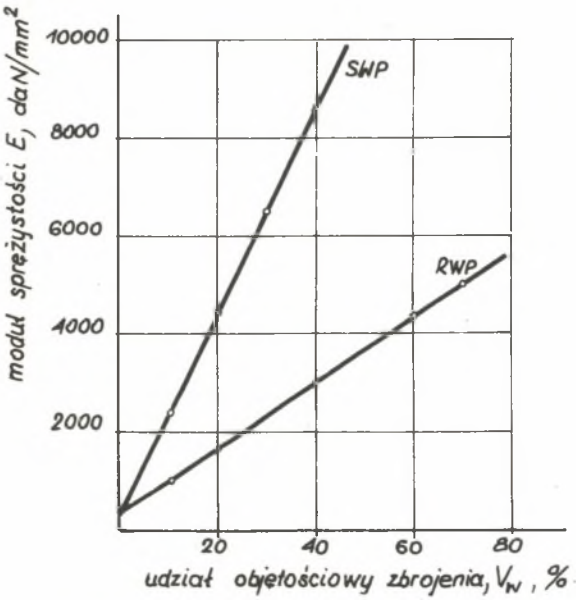
gdzie:

E_k - moduł sprężystości materiału kompozytowego,

E_i - moduł sprężystości poszczególnych komponentów,
φ_i - procentowy udział objętościowy komponentów w kompozycji.

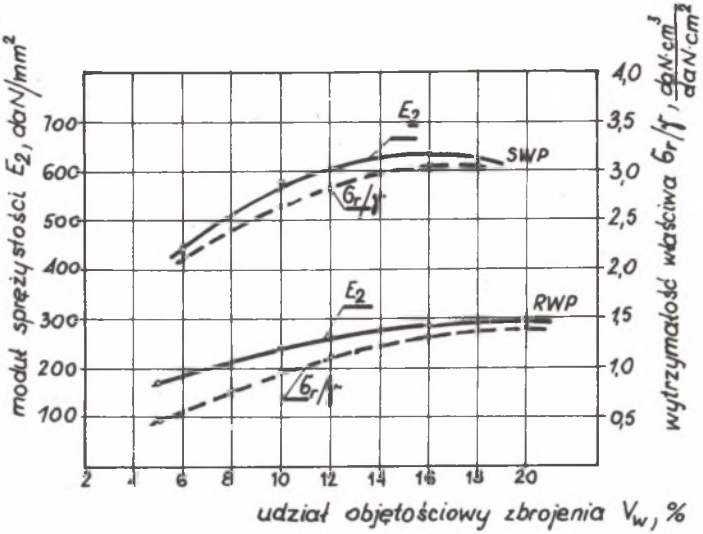
Opierając się na równaniu (4), obliczono moduł sprężystości dla kompozytu zbrojonego włóknem szklanym ciągłym (Roving 2001) oraz drutem stalowym o średnicy $\emptyset = 0{,}250$ mm, dla różnych udziałów objętościowych. Wyniki przedstawiono w formie wykresów na rys. 6, przyjmując dla $\varphi_w = 0$ moduł sprężystości przy rozciąganiu dla żywicy Epidian 53, który wynosi 350 daN/mm^2. Równanie (4) uwzględnia jedynie zmianę modułu sprężystości E wynikającą ze zmiany ilości fazy zbrojącej.

Nieuwzględnianie pozostałych czynników związanych z różnymi własnościami łączonych materiałów powoduje, że otrzymane wartości obliczeniowe znacznie odbiegają od wartości uzyskiwanych z pomiarów. Dla porównania, pomiar modułu sprężystości dokonano także w oparciu o statyczną próbę rozciągania, a uzyskane wyniki przedstawiono w formie wykresów na rys. 7 (E_2) nanosząc na nim równocześnie wykresy zmian wytrzymałości właściwej tworzywa w funkcji udziału fazy zbrojącej.



Rys. 6. Zależność modułu sprężystości od procentowego udziału objętościowego zbrojenia. Wartości modułu E zostały obliczone w oparciu o równanie (4)

RWP - żywica wzmocniona włóknem szklanym (roving), SWP - żywica wzmocniona włóknem stalowym



Rys. 7. Zmiana modułu sprężystości E oraz wytrzymałości właściwej w zależności od udziału objętościowego zbrojenia. Wartości uzyskano z statycznej próby rozciągania

RWP - żywica wzmocniona włóknem szklanym (roving), SWP - żywica wzmocniona włóknem stalowym

Statyczną próbę rozciągania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej ZDM 2,5/91 VEB LEIPZIG przy zakresie pomiarowym 1000 i 2000 kG.

W trzech punktach prostoliniowego wykresu rozciągania pomierzono wartości siły i wydłużenia oraz obliczono dla tych wartości moduł sprężystości E zgodnie z równaniem

$$E = \frac{\Delta P \cdot l}{\Delta l \cdot A_o} \tag{5}$$

gdzie:

ΔP - przyrost siły, daN,

l - długość pomiarowa próbki, mm,

Δl - przyrost długości, mm,

A_o - początkowe pole przekroju próbki, mm^2.

Na rys. 8 przedstawiono zmianę modułu sprężystości E wraz ze zmianą fazy zbrojącej, opierając się na wynikach statycznej próby zginania (E_3) oraz pomiaru częstości drgań rezonansowych (E_4). Zgodnie z instrukcją do aparatury pomiarowej, firmy BRÜL a. KJEAR, z której korzystano, moduł sprężystości badanego materiału można wyznaczyć z zależności

$$E = 48\,\pi^2 \frac{l^4 f_n^2}{h^2 \cdot k_n^4} \tag{6}$$

gdzie:

E - moduł sprężystości dla dynamicznego zginania (przy częstości rezonansowej drgań), daN/m^2,

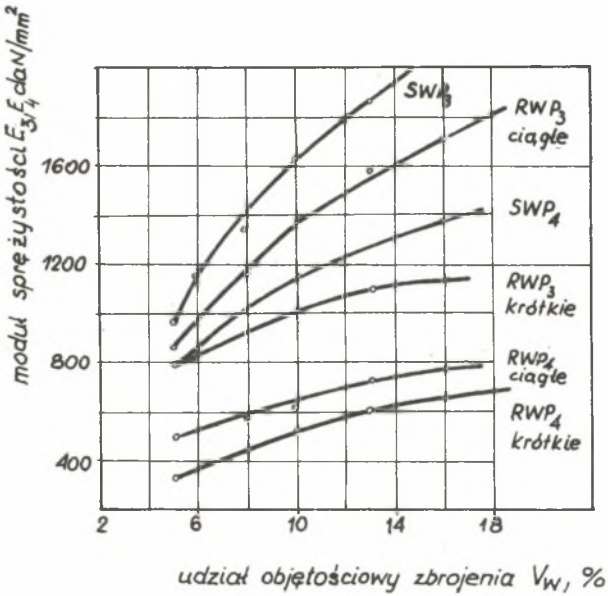
ϱ - ciężar właściwy badanego materiału, daN/m^3,

l - długość próbki, m,

h - grubość próbki, m,

k_n - współczynnik określony dla danych warunków pomiaru,

f_n - częstość rezonansowa drgań, Hz.



Rys. 8. Zależność modułu sprężystości E od udziału objętościowego zbrojenia. Wartości uzyskane ze statycznej próby zginania posiadają indeks 3, natomiast z pomiaru częstości rezonansowej - indeks 4

Jak wiadomo jednak, podczas próby zginania siły poprzeczne prowadzą do pewnego dodatkowego odkształcenia przez ścinanie, co wywiera również swój wpływ na wielkość obliczanego modułu sprężystości. Wpływ ten można uwzględnić obliczając tzw. rzeczywisty moduł sprężystości z zależności

$$E = \frac{l_s^3}{4b \cdot h^3 \left(\frac{f}{P} - \frac{3}{8 \cdot b \cdot G} \cdot \frac{l_s}{h}\right)} \tag{7}$$

gdzie:

l_s - odległość pomiędzy podporami,
b - szerokość próbki,
h - grubość próbki,
f - strzałka ugięcia,
G - poprzeczny moduł sprężystości warstwy górnej.

$$G \approx \frac{G_o}{1 - \varphi_w} \tag{8}$$

$$G_o = \frac{E_o}{2(1 + \mu_o)} \tag{9}$$

gdzie:

G_o - moduł sprężystości postaciowej dla żywicy,

E_o - moduł sprężystości Younga dla żywicy,

μ_o - liczba Poissona dla żywicy (dla badanej żywicy $\mu_o = 0{,}36$).

Jak wynika z równania (7), wielkość wpływu odkształcenia przez ścinanie zależy od ilorazu l_s/h oraz od tego, w jakim stosunku pozostaje współczynnik $\beta = \frac{3}{8b \cdot G} \cdot \frac{l_s}{h}$ do ilości f/p. Jeżeli iloraz f/P przewyższa znacznie wartość β, to wpływ sił poprzecznych jest pomijalnie mały. Zależy to również w dużej mierze od ilorazu l_s/h.

Dla uchwycenia wpływu sił poprzecznych na wartość modułu sprężystości badanych materiałów podano w tablicy 4 wartości modułów sprężystości z uwzględnieniem poprawki β i bez tej poprawki. Jak widać z przytoczonych danych, przy dużym stosunku ls/h, jaki przyjęto w pomiarach, wpływ sił poprzecznych jest pomijalnie mały przy niewielkich udziałach objętościowych fazy zbrojącej. Zaczyna się nieco mocniej zaznaczać przy wzroście udziału objętościowego zbrojenia.

Tablica 4

Wpływ sił poprzecznych na wartość modułu sprężystości

$l_s/h = 60$				
Materiał	Oznaczenia	$\varphi_w = 5\%$	$\varphi_w = 10\%$	$\varphi_w = 16\%$
Żywica E-53 wzmacniana włóknem szkl. ciągłym (Roving 2001)	G, daN/mm^2	136	143	153
	f/P, mm/daN	4,27	2,46	1,44
	β	0,0102	0,0098	2243
	E, daN/mm^2	863	1356	2243
	E_β, daN/mm^2	778	1352	2316
Żywica E-53 wzmacniana włóknem szkl. nieciągłym (Roving 2001)	G, daN/mm^2	136	143	153
	f/P, mm/daN	6,63	4,15	2,51
	β	0,0102	0,0098	0,0092
	E, daN/mm^2	500	798	1542
	E_β, daN/mm^2	500	800	1325

Wyznaczanie współczynnika tłumienia

Współczynnik tłumienia η wyznaczano w oparciu o pomiar szybkości zaniku drgań rezonansowych po wyłączeniu wzbudzenia, posługując się zależnością:

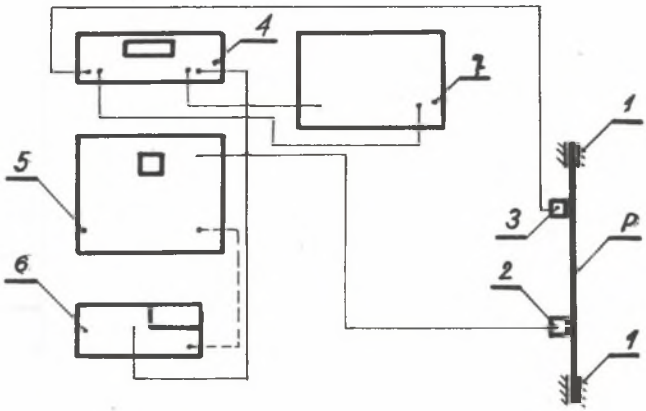
$$\eta = \frac{D}{27,3 \cdot f_n} \tag{10}$$

gdzie:

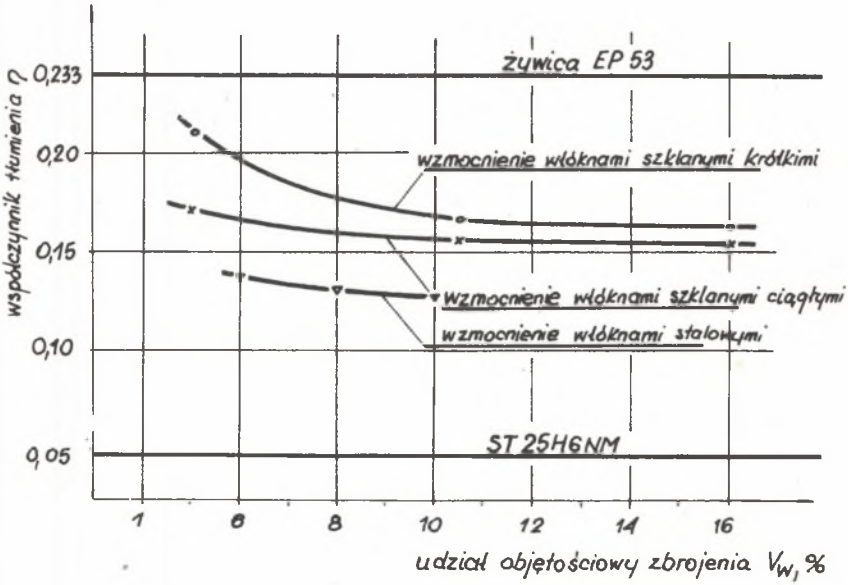
η - współczynnik tłumienia,
D - szybkość zaniku drgań rezonansowych, dB/s,
f_n - częstość rezonansowa, Hz.

Badania przeprowadzono na próbkach identycznych jak przy wyznaczaniu modułu sprężystości, wykorzystując do pomiarów aparaturę firmy BRÜEL and KJAER. Schemat stanowiska pomiarowego pokazano na rysunku 9: próbkę P o wymiarach 5x15x300 mm mocowano w uchwytach (1). Na próbce umieszczano głowicę wzbudzającą (2) i odbierającą (3). Impuls o zmiennej częstotliwości podawany był z generatora (5) pozwalającego na płynną zmianę częstotliwości, do głowicy wzbudzającej (2). W wyniku działania zmiennego pola magnetycznego próbka zostaje pobudzona do drgań, których częstotliwość i przebieg odbierała głowica odbierająca (3). Impuls z głowicy odbierającej po-

dawany jest na wzmacniacz (4), a z niego na rejestrator (6). W celu wyciszenia szumów stosowano filtr (7).



Rys. 9. Schemat zestawu aparatury pomiarowej
P - próbka, (1) - uchwyty, (2) - głowica wzbudzająca, (3) - głowica odbierająca, (4) - wzmacniacz, (5) - generator, (6) - rejestrator, (7) - filtr



Rys. 10. Zależność współczynnika tłumienia od udziału objętościowego zbrojenia dla różnych rodzajów włókien

Wyniki pomiarów przedstawiono w formie wykresów na rys. 10.

Jak wynika z przedstawionych wykresów, wśród przebadanych materiałów kompozytowych najwyższy współczynnik tłumienia, przy tym samym udziale objętościowym zbrojenia, posiadają kompozyty zbrojone włóknem szklanym nieciągłym.

Wnioski

Przeprowadzone badania, zarówno laboratoryjne jak i literaturowe wskazują na to, że zbrojąc włóknem szklanym termoplasty podnosimy przede wszystkim ich odporność cieplną i wraz z tym wytrzymałość w podwyższonej temperaturze; natomiast zbrojąc żywice otrzymujemy materiał konstrukcyjny anizotropowy, o wytrzymałości właściwej znacznie przewyższającej konwencjonalne materiały konstrukcyjne, dużej odporności cieplnej, dobrej sztywności i stosunkowo bardzo dobrych własnościach tłumiących. Z uwagi jednak na anizotropię otrzymanego materiału te interesujące efekty wzmocnienia związane są ściśle z kierunkiem obciążenia w stosunku do kierunku zbrojenia.

Z uwagi na to, że zbrojenie włóknem nieciągłym pozwala na uzyskanie materiału kompozytowego o gorszych modułach sprężystości, ale lepszym współczynniku tłumienia, wybór ilości i rodzaju zbrojenia należy ustalić w aspekcie warunków pracy danego kompozytu.

LITERATURA

[1] Broutman L.J., Krock R.H.: Modern Composite Materials, Addison-Wesley Publishing Company, 1967.

[2] Saechtling H., Zebrowski W.: Tworzywa Sztuczne - Poradnik, N.T. Warszawa, 1967.

[3] Hagen H.: Glasfaserverstärkte Kunststoffe, Springer-Verlag, Berlin (Göttingen), Heidelberg, 1961.

[4] Kleinbolz R.: VDJ-Z, Nr 5, 1974.

[5] Kmitta S., Kunststoffe: Bd64, 1974, H7,

[6] Ehrenstein G.W., Kunststoffe, Bd60, 1970, H 12.

[7] Oleesky S.S., Mohr J.G.: Handbook of Reinforced Plastics, New York, Reinhold Publishing Corp. 1964.

ВЛИЯНИЕ АРМИРОВАНИЯ НА НЕКОТОРЫЕ СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Р е з ю м е

В статье рассмотрено влияние количества и сорта армирующих волокон на физико-механические свойства полимерных материалов со специальным учётом изменений их модулов упругости и демпфирующих свойств.

INFLUENCE OF THE REINFORCEMENT ON SOME PROPERTIES OF THE COMPOSITE MATERIAL

S u m m a r y

The influence of the quantity and kind of reinforcing fibres on the physical and mechanical properties of polymer materials with special respect to modifications of elasticity moduli and damping capacities has been discussed in the paper.