

Wydział Inżynierii Materiałowej i Ceramiki AGH

Fizyczne podstawy technologii materiałowych laboratorium

Ćwiczenie nr 4

Wytwarzanie kompozytów włóknistych

Zagadnienia do przygotowania:

1. Pojęcia ogólne: kompozyt, model równoległy, reguła mieszanin
2. Minimalny i krytyczny udział objętościowy włókien
3. Rodzaje stosowanych włókien i metody ich wytwarzania
4. Materiały stosowane na osnowy polimerowe
5. Metody formowania kompozytów włóknistych

Literatura:

1. M. F. Ashby, D.R.H. Jones: Materiały inżynierskie. Cz. 2. WNT Warszawa 1996
2. K. Konsztowicz: Kompozyty wzmacniane włóknami. Podstawy technologii. Wyd. AGH Kraków 1986
3. D. Żuchowska: Polimery konstrukcyjne. WNT Warszawa 2000
4. I. Gruin: Materiały polimerowe. PWN Warszawa 2003

Cel ćwiczenia

Zastosowanie metody kontaktowej do formowania kompozytów wzmacnianych włóknami ciągłymi oraz wyznaczenie modułu sprężystości otrzymanych kompozytów

Wprowadzenie

a) Pojęcia podstawowe

Kompozyt to materiał składający się z co najmniej dwóch różnych faz, którego właściwości nie są wypadkową właściwości poszczególnych faz. Kompozyt składa się z osnowy (polimerowej, ceramicznej lub metalicznej) oraz fazy wzmacniającej (zdyspergowanej), która może mieć postać włókien, warstw lub cząstek. Mówimy wtedy odpowiednio o kompozytach włóknistych, warstwowych (laminatach) lub kompozytach ziarnistych (cząstkowych). Celem wytwarzania kompozytów jest otrzymanie materiałów o polepszonych właściwościach np. mechanicznych, termicznych czy elektrycznych.

Ostatnio coraz większe znaczenie zyskują tzw. nanokompozyty, czyli materiały, w których faza wzmacniająca (zdyspergowana) ma rozmiary rzędu kilkunastu – kilkudziesięciu nanometrów ($\text{nm} = 10^{-9} \text{ m}$). Mogą one wykazywać właściwości niespotykane w przypadku klasycznych kompozytów i przy znacznie mniejszych udziałach objętościowych fazy zdyspergowanej.

Obecnie najbardziej rozpowszechnionym rodzajem kompozytów są kompozyty włókniste, składające się z osnowy oraz włókien, które oprócz tego, że mogą być wykonane z różnych materiałów to mogą mieć różną postać: włókien długich, włókien krótkich, mat, tkanin itp. Zadaniem osnowy jest nadanie kompozytowi zewnętrznego kształtu, oraz przejęcie obciążenia i przekazanie go włóknom. Z kolei zadaniem włókien jest przenoszenie obciążeń, oraz zwiększenie sztywności osnowy i jej odporności na kruche pękanie.

Typowymi przykładami takich materiałów są kompozyty o osnowach polimerowych wzmacniane głównie włóknami szklanymi, węglowymi i grafitowymi oraz aramidowymi (Kevlar). Do wytwarzania tych kompozytów stosowane są polimery chemo- i termoutwardzalne takie jak żywice epoksydowe, nienasycone żywice poliestrowe, żywice fenolowe i żywice silikonowe oraz polimery termoplastyczne takie jak polistyren, polipropylen, poliamid czy poliwęglan.

Wzmocnienie polimerów włóknami jest bardzo efektywne, ponieważ już przy ich 10% udziale objętościowym obserwuje się znaczną poprawę właściwości mechanicznych i cieplnych materiału.

b) Właściwości mechaniczne kompozytów wzmacnianych włóknami

- Moduł sprężystość (Younga)

Podstawowa zasada wzmacniania włóknami wykorzystuje właściwości **modelu równoległego** tworzywa dwufazowego przy następujących założeniach:

- włókna są jednorodne i ciągłe,
- są rozmieszczone równoległe i równomiernie w całej objętości jednorodnej osnowy,
- włókna są bardzo dobrze związane z osnową.

Na podstawie tego modelu można powiedzieć, że moduł kompozytu włóknistego rozciąganego wzdłuż kierunku ułożenia włókien (E_{kII}) jest sumą modułu włókna (E_w) i modułu osnowy (E_o) zgodnie z równaniem (**prawo mieszanin**):

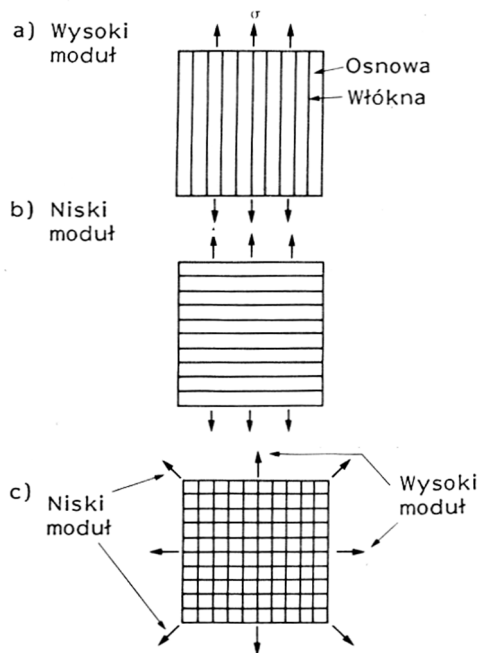
$$E_{kl} = V_w E_w + (1 - V_w) E_o \quad (1)$$

gdzie: V_w – udział objętościowy włókien

Z kolei moduł tego materiału rozciąganego w kierunku poprzecznym ($E_{k\perp}$) ułożenia włókien jest opisywany przy pomocy **modelu szeregowego**:

$$\frac{1}{E_{k\perp}} = \frac{V_w}{E_w} + \frac{1 - V_w}{E_o} \quad (2)$$

Wartości modułu poprzecznego są dużo niższe niż modułu równoległego, co oznacza, że taki jednoosiowy kompozyt wykazuje silną **anizotropię** właściwości (Rys.1 a,b). Ułożenie włókien na krzyż (Rys.1c) powoduje, że moduły w kierunkach 0 i 90° są równe (i duże), ale moduły w kierunku 45° wciąż są bardzo małe.



Rys.1 Rozciąganie kompozytu włóknistego:
 a) wzdłuż kierunku ułożenia włókien,
 b) w poprzek kierunku ułożenia włókien,
 c) laminat $0 - 90^\circ$ ma kierunek o małym module i kierunek o dużym module [1]

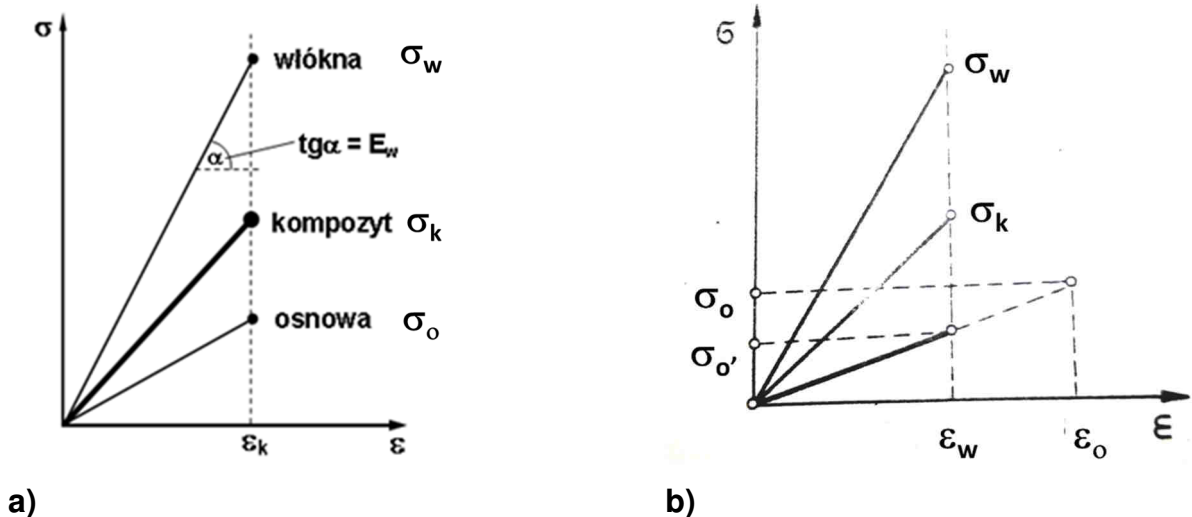
- Wytrzymałość na rozciąganie

Właściwości wzmacniające włókien przejawiają się tym, że ze wzrostem ich udziału objętościowego i modułu sprężystości wzrasta – zgodnie z „prawem mieszanin” – skuteczność kompozytu w przenoszeniu obciążeń.

Udział objętościowy włókien kompozytach może wynosić nawet 80%. Korzystnie jest także, gdy wartość modułu sprężystości włókien wielokrotnie przewyższa wartość modułu osnowy. W przypadku żywic wzmacnianych włóknami szklanymi, gdzie stosunek $E_w/E_o \approx 20$ zaledwie dziesięcioprocentowy udział włókien przenosi 70% całości obciążenia.

Wytrzymałość idealnego kompozytu (σ_k), w którym odkształcenie zniszczenia (ϵ_k) jest takie samo jak odkształcenie zniszczenia (zerwania) włókien jak i osnowy ($\epsilon_k = \epsilon_w = \epsilon_o$) można zgodnie z prawem mieszanin zapisać jako (Rys. 2a):

$$\sigma_k = \sigma_w V_w + \sigma_o (1 - V_w) \quad (3)$$



Rys.2 Zależność naprężenie-odkształcenie dla kompozytu o włóknach ciągłych:

a) $\epsilon_k = \epsilon_w = \epsilon_o$, b) $\epsilon_o > \epsilon_w$ [2]

W praktyce często mamy do czynienia z kompozytów o ciągliwej osnowie (np. żywica) wzmacnianej kruchymi włóknami (np. szklanymi), dla których $\epsilon_o > \epsilon_w$ (Rys. 2b). W takim przypadku zniszczenie kompozytu zapoczątkowuje się we włóknach przy odkształceniu ϵ_w i doprowadza do zniszczenia osnowy i całego kompozytu przy naprężeniu w osnowie σ_o' niższym od jej wytrzymałości σ_o [2].

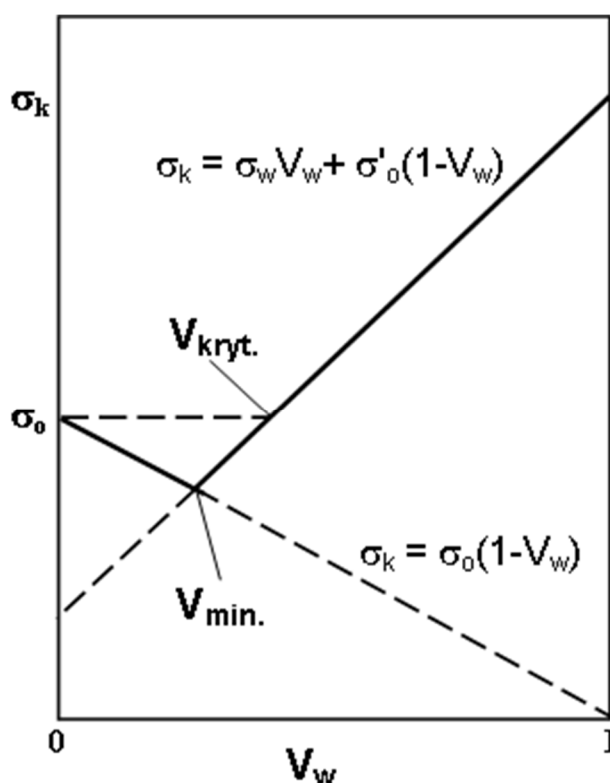
Oznaczając przez σ_o' naprężenie w osnowie, przy którym zachodzi zniszczenie włókien, można prawo mieszanin przedstawić w postaci:

$$\sigma_k = \sigma_w V_w + \sigma_o' (1 - V_w) \quad (4)$$

Stosuje się ono jedynie w przypadku, gdy w osnowie znajduje się na tyle duża ilość włókien, by mogły one decydować o wytrzymałości kompozytu. Jeżeli ilość włókien jest niewystarczająca, to przy założeniu, że $\epsilon_o > \epsilon_w$ włókna mogą nie powstrzymać odkształcenia osnowy, ulegną zerwaniu a osnowa nadal będzie przenosić obciążenie aż do jej zniszczenia. Z tego powodu kompozyty z osnową plastyczną muszą zawierać pewną minimalną objętość włókien, począwszy od której stosuje się prawo mieszanin. W celu wyznaczenia tej minimalnej objętości włókien zakłada się, że gdy włókien jest bardzo mało, to w pewnych granicach obciążeń działają one jak wtrącenia obcej fazy, które osłabiają kompozyt, a jego wytrzymałość zależy od udziału objętościowego i wytrzymałości osnowy (5):

$$\sigma_k = \sigma_o(1-V_w) \quad (5)$$

Mimo, że włókna pękają wcześniej od osnowy, to ze zwiększeniem ich udziału objętościowego, gdy jest ich wystarczająco dużo by zaczęły wzmacniać osnowę może, zgodnie z równaniem (4) dochodzić do podnoszenia wytrzymałości kompozytu. Na Rys. 3 przedstawiono proste opisane równaniami 4 i 5. Punkt ich przecięcia oznacza **minimalny udział objętościowy** włókien (V_{min}) powyżej którego wytrzymałość kompozytu zaczyna wzrastać. Realne wzmocnienie kompozytu zachodzi jednak dopiero, gdy udział objętościowy włókien przekroczy **wartość krytyczną** (V_{kryt}) powyżej której wytrzymałość kompozytu (σ_k) przekroczy wytrzymałość osnowy (σ_o). (Rys.3).



Rys.3. Objętość minimalna i krytyczna włókien w osnowie plastycznej

- Odporność na pęknięcie

Kompozyty wzmocniane włóknami długimi mogą cechować się podwyższoną odpornością na pęknięcie. Jest to związane z mechanizmami podwyższania energii pęknięcia występujących w tych materiałach a związanych m.in. z wytrzymałością granicy rozdziału włókno-osnowa oraz z właściwościami mechanicznymi włókien takimi jak wytrzymałość czy moduł Younga. Typowym mechanizmem jest wyciąganie zerwanych włókien (ang. „pull out”) z matrycy, który wymaga wykonania dodatkowej pracy a tym samym pochłania energię pęknięcia.

c) Włókna wzmacniające

Włókna wzmacniające mogą być wykonane z różnych materiałów np. z celulozy, szkła, polimerów syntetycznych, grafitu, metali. Właściwości przykładowych włókien zebrano w Tabeli 1.

Tabela 1. Właściwości niektórych włókien i osnowy

Material	Moduł sprężystości, E [GPa]	Wytrzymałość na rozciąganie [MPa]	Gęstość ρ [g/cm ³]
Włókno			
Węglowe typu 1	390	2200	1,95
Węglowe typu 2	250	2700	1,75
Celulozowe	60	1200	1.61
Szklane typu E	76	1400-2500	2,56
Kevlar (włókna aramidowe)	125	2760	1,45
PAN	10	500	1.15
Osnowa			
Żywica epoksydowa	4	60	1,3
Żywica poliestrowa	3	60	1,2

Pojedyncze włókna mają średnice rzędu kilku – kilkunastu mikrometrów i w związku z tym ich bezpośrednie użycie przy wytwarzaniu kompozytów jest utrudnione dlatego też kompozyty otrzymuje się stosując różnego rodzaju materiały włókniste. Poniżej przedstawiono formy włókien szklanych stosowanych do wzmacniania tworzyw:

- **roving** – to płaskie pasmo złożone z kilkuset pojedynczych włókien połączonych bez skrętu i powleczonych substancjami chemicznymi zapewniającymi ich zlepienie oraz lepszą przyczepność do osnowy w kompozycie.

- **mata nietkana** - to warstwy nieplecionych włókien łączone chemicznie (lepione) lub mechanicznie o właściwościach anizotropowych. Najczęściej używane są rovingowe maty lepione. Maty charakteryzują się nierównomiernym rozkładem grubości i gęstości na całej powierzchni

- **tkaniny** – wyrabiane są na normalnych krosnach bawełnianych lub jedwabniczych, Przy otrzymywaniu laminatów (tworzyw warstwowych) istotne znaczenie posiada typ ich splotu. Wpływa on również na ich właściwości wytrzymałościowe.

d) Osnowy polimerowe

Polimery wzmacniane włóknami są najstarszymi i najpowszechniej stosowanymi materiałami kompozytowymi. Materiały stosowane na osnowy kompozytów organicznych stanowią zarówno polimery termoplastyczne, jak i polimery utwardzalne.

W warunkach podwyższonej temperatury polimery termoplastyczne mięknią do stanu plastycznego a nawet płynnego a przy chłodzeniu twardnieją. Dzięki tym własnością wyroby z tych polimerów formuje się metodami wytłaczania, wtryskiwania i prasowania. Do najbardziej znanych tworzyw w tej grupie zaliczyć można polietylen, polipropylen, polichlorek winylu, poliamidy, polimetakrylan metylu, polistyren i poliwęglany. Z uwagi na właściwości i wynikając stąd metody formowania, do wzmacniania termoplastów używa się tylko włókien krótkich.

Kompozyty organiczne otrzymuje się głównie z żywic utwardzanych charakteryzujących się budową w postaci sieci przestrzennej, złożonych z makrocząsteczek poprzeplatanych z sobą i połączonych wiązaniami atomowymi. Dzięki takiej budowie żywice utwardzalne (duroplasty) są nietopliwe i nierozpuszczalne. Polimery, w których sieciowanie przestrzenne zachodzi tylko pod wpływem temperatury, nazywają się termoutwardzalnymi i do najważniejszych zaliczyć tu trzeba fenoplasty (żywice fenolowe i nowolakowe) i aminoplasty (żywice mocznikowe i melaminowe). Polimery, w których wytwarzanie trójwymiarowej sieci przestrzennej zachodzi pod wpływem czynnika sieciującego w postaci związku chemicznego, nazywają się chemoutwardzalnymi i do tej grupy zaliczają się żywice poliestrowe i epoksydowe. Właściwości tych polimerów zebrano w Tabeli 1.

e) Wybrane metody formowania kompozytów polimerowych

Techniki formowania kompozytów polimerowych często bazują na półproduktach polimer-napełniacz takich jak:

-**preimpreganty** (inaczej **prepregi**), to tkaniny bądź pasma rovingu impregnowane lub pokrywane roztworem żywicy, która następnie jest poddawana wstępnemu – niecałkowitemu sieciowaniu.

-**tłoczywa**, czyli mieszaniny polimeru chemoutwardzalnego (żywicy) z utwardzaczem (czynnikiem sieciującym), napełniaczem włóknistym i/lub proszkowym oraz różnymi dodatkami. Tłoczywa mogą być sypkie, lub o konsystencji kitu.

-**granulaty**, są otrzymywane w wyniku mieszania stopionego polimeru termoplastycznego z włóknistymi napełniaczami oraz wytłaczania przez odpowiednie dysze i cięcie na krótkie kawałki.

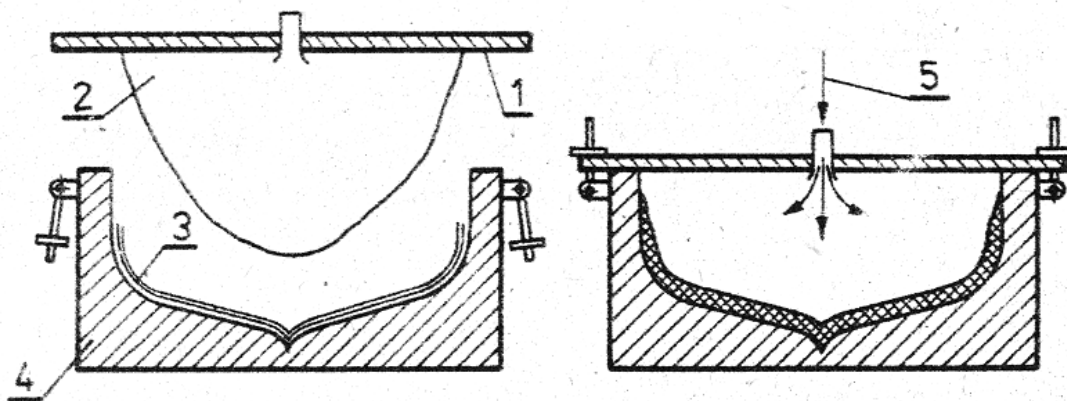
Istnieje wiele metod formowania/kształtowania wyrobów kompozytowych. Poniżej wymieniono tylko kilka wybranych.

Metoda kontaktowa – czyli formowanie ręczne, polega na ułożeniu warstwy odpowiednio przyciętej maty lub tkaniny w formie, nasyceniu każdej warstwy żywicą za pomocą pędzla lub szczotki i odciśnięciu nadmiaru żywicy wałkiem. Metodę tą stosuje się do niewielkiej produkcji prototypów lub wyrobów o bardzo dużych wymiarach. Zalety metody kontaktowej polegają na łatwości wykonania form i niskiej

cenie oprzyrządowania, a zasadniczymi wadami są małe wytrzymałości tak produkowanych laminatów oraz niewielki udział objętościowy wzmocnienia.

Metoda natryskowa – jest stosowana do formowania dużych powierzchni o niezbyt skomplikowanym kształcie. Włókna w formie ciętego rovingu i osnowa (żywica) są jednocześnie natryskiwane przy pomocy specjalnie skonstruowanych pistoletów. Metoda ta jest wydajniejsza i mniej pracochłonna od metody kontaktowej. Wadą jest mała efektywność zbrojenia (przypadkowo ułożone nieciągle włókna) i mała dokładność.

Formowanie ciśnieniowe z workiem – polega na ułożeniu w formie kilku warstw mat lub tkanin i zalaniu całości żywicą a następnie umieszczeniu na powierzchni folii rozdzielającej np. z celofanu. Następnie opuszcza się pokrywę, dokręca i wprowadza do worka sprężone powietrze (Rys. 4). Metoda ta jest wydajniejsza od wyżej wymienionych ze względu na dokładniejsze przesycenie tkaniny żywicą i większym wytrzymałością formy umożliwiającą otrzymanie tworzyw o większym udziale wzmocnienia i bardziej równomiernych właściwościach. Stosuje się ciśnienia rzędu 0,2-0,4 MPa.

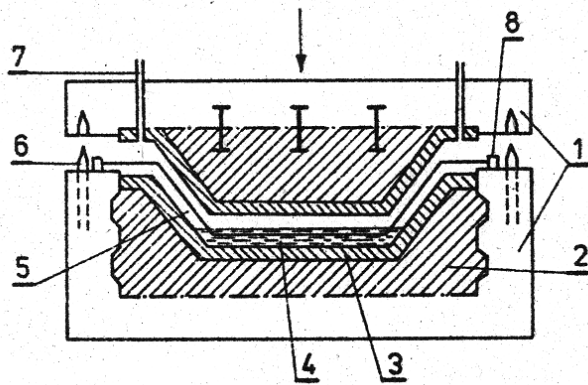


a)

b)

Rys.4 Schemat formowania metodą ciśnieniową z workiem. Forma: a) przed zamknięciem, b) po zamknięciu; 1 – pokrywka, 2 – worek, 3 – wyrób, 4 – forma, 5 – doprowadzenie sprężonego powietrza [2]

Formowanie tłoczne tworzyw chemoutwardzalnych na zimno - Jest to najprostsza i stosunkowo tania metoda prasowania żywic polegająca na zastosowaniu sztywnej formy dwuczęściowej. W matrycy układa się zbrojenie szklane w postaci warstw mat lub tkanin i wlewa odpowiednią ilość żywicy. Formę zamyka się i utrzymuje pod ciśnieniem 0,3-1,2 MPa. Nadmiar żywicy usuwany jest kanałami i po podniesieniu stempla otrzymuje się wyroby obustronnie gładkie (Rys.5).



Rys.5 Prasowanie laminatu na zimno z użyciem sztywnej formy: 1) fundamenty żelbetowe matrycy i stempla, 2) warstwa utwardzonej kompozycji poliestrowej z wypełniaczem, 3) zewnętrzna warstwa formy z laminatu, 4) ciepla żywica z utwardzaczem, 5) zbrojenie z włókien, 6) kołki prowadzące, 7) odpływ nadmiaru żywicy, 8) uszczelka

Wykonanie ćwiczenia

Ćwiczenie składa się z trzech części:

- a) Wytwarzanie kompozytu wzmocnianego włóknami ciągłymi
- b) Wytwarzanie kompozytu wzmocnianego tkaniną
- c) Wyznaczanie modułu Younga kompozytów włóknistych

Za uszkodzenie urządzeń wykorzystywanych podczas ćwiczenia Student ponosi odpowiedzialność finansową

Osnowę kompozytu stanowi żywica epoksydowa (Epidian 5 + utwardzacz Z-1), natomiast fazę wzmocniającą włókna PAN (poliakrylonitryl) w formie rovingu.

Włókna PAN są prekursorem do syntezy włókien węglowych.

a) Wytwarzanie kompozytu wzmocnianego włóknami ciągłymi

Celem tej części ćwiczenia jest zapoznanie się z metodą formowania kompozytów włóknistych metodą kontaktową

Sposób postępowania:

1. Obliczenia ilości włókien oraz żywicy koniecznej do sporządzenia kompozytu o podanym udziale objętościowym włókien

- W celu wyznaczenia masy **1 mb** włókien należy zmierzyć i zważyć z dokładnością do **0,01g** odpowiedni odcinek rovingu
- Obliczyć długość oraz **masę** włókna potrzebnego do wykonania **15** zwoi na zwijarce. Średnica bębna zwijarki wynosi **110 mm**
- Obliczyć masę żywicy potrzebną do sporządzenia kompozytu o **udziale objętościowym** włókien wskazanym przez prowadzącego. Do obliczeń przyjmij gęstość rzeczywistą żywicy epoksydowej równą **1,20 g/cm³** oraz gęstość rzeczywistą włókien PAN równą **1,15 g/cm³**.
- Obliczyć ilość potrzebnej żywicy (Epidian 5) oraz utwardzacza (Z-1) potrzebną do sporządzenia mieszaniny o stosunku wagowym żywica/utwardzacz równym **100:10**. Wynik przedstawić prowadzącemu do sprawdzenia.

2. Wykonywanie kompozytów

- Na bęben zwijarki nawinąć folię celofanową i przytwierdzić ją przy pomocy taśmy klejącej.
- Odmierzyć ilość włókna potrzebną do wykonania kompozytu i po odcięciu ze go szpuli przytwierdzić jego koniec do celofanu za pomocą taśmy klejącej.
- Nawinąć włókno starając się uzyskać równoległe ciasno leżące zwoje. Po nawinięciu całego odcinka jego koniec przytwierdzić do celofanu taśmą klejącą.
- Sporządzić mieszaninę żywicy z utwardzaczem w plastikowym pojemniku. W pierwszej kolejności należy naważyć utwardzacz przy pomocy strzykawki 10 ml. Następnie do tego samego naczynia odważyć odpowiednią ilość żywicy i całość energicznie wymieszać.
- Całość żywicy rozprowadzić na powierzchni włókien przy pomocy pędzelka, tak aby pokryła wszystkie włókna na całej długości.
- Pozostawić włókna nasycone żywicą na nawijarce przez **1 godzinę**, a następnie delikatnie je rozciąć razem z celofanem, rozprostować i przymocować za pomocą taśmy klejącej do przygotowanej drewnianej podkładki i umieścić w suszarce nastawionej na **50°C**. **Na podkładce należy napisać, jaki udział objętościowy włókien ma wykonany kompozyt.**

b) Wytwarzanie kompozytu wzmocnianego tkaniną (opcjonalnie)

Celem tej części ćwiczenia jest zapoznanie się z metodą formowania kompozytów włóknistych metodą kontaktową

Sposób postępowania:

1. Wykonanie tkaniny

- Szklaną płytkę należy owinać folią spożywczą i jej brzegi zamocować przy pomocy taśmy klejącej. Następnie należy opleść ją w poprzek rovingiem ok. **15 – 20** razy. Pasma rovingu powinny być nawijane „luźno” – tak aby był pomiędzy nimi pewien odstęp. Początek jak i koniec pasma należy przymocować taśmą klejącą do płytki.

- Z pasma rovingu uciąć **10-15** odcinków o długości **ok. 10 cm** a następnie kolejno przepleść je przez nawinięte pasmo rovingu. Odcinki powinny być przeplatane na przemian pod i nad nawiniętym pasmem rovingu. Kolejny odcinek powinien zaczynać się przeciwnie od poprzedniego – tak aby w efekcie powstała tkanina. Po przepleceniu wszystkich odcinków rovingu należy dosunąć do siebie wszystkie pasma, tak aby uzyskać w miarę „zbitą” tkaninę.

2. Wykonanie kompozytu

- Oszacować masę tkaniny. W tym celu należy wyznaczyć długość odcinków rovingu, które wchodzi w jej skład.

- Obliczyć masę żywicy potrzebną do wykonania kompozytu o udziale objętościowym włókien równym **50%**.

- Sporządzić ok. **1 - 2** gramy mieszaniny żywicy przy założeniu, że stosunek wagowy żywicy do utwardzacza wynosi **100:10**. Przed rozprowadzeniem po tkaninie żywicę należy energicznie wymieszać.

- Płytkę z kompozytem umieścić na wadze a następnie **ostrożnie** naważyć na tkaninę odpowiednią ilość żywicy i delikatnie rozprowadzić ją po całej tkaninie. Następnie kompozyt wraz płytką umieścić w suszarce nastawionej na **50°C**. **Na płytce należy napisać jaki udział objętościowy włókien ma wykonany kompozyt.**

c) Wyznaczanie modułu Younga kompozytów włóknistych

Celem tej części ćwiczenia jest zmierzenie modułu Younga kompozytów włóknistych metodą statyczną przy użyciu uniwersalnej maszyny wytrzymałościowej oraz porównanie tej wartości z wartością teoretyczną.

Sposób postępowania:

1. Przygotowanie próbek do badań

- Ze sporządzonych uprzednio kompozytów wzmacnianego włóknami ciągłymi oraz wzmacnianego tkaniną należy wyciąć nożyczkami **5** próbek o długości **ok. 8 cm** oraz szerokości **ok. 5 mm**. Należy zwrócić uwagę, żeby próbki były jednolite, to znaczy pozbawione pęknięć, rozwarstwień itp., oraz żeby miały zbliżoną szerokość na całej swej długości. Przed przystąpieniem do wycinania próbek należy odkleić kompozyt od folii celofanowej.

2. Rozciąganie próbek

- Uniwersalną maszynę wytrzymałościową (**Z2.5, Zwick-Roell**) oraz program uruchamia i obsługuje prowadzący

UWAGA! Przed przystąpieniem do pomiarów należy upewnić się, czy program prawidłowo wskazuje odległość między uchwytami. Odległość wyświetlana na ekranie powinna w przybliżeniu odpowiadać tej zmierzonej suwmiarką.

- Zmierzyć szerokość oraz grubość próbek przy pomocy suwmiarki

- Próbki należy zamontować w uchwytach maszyny wytrzymałościowej tak aby były maksymalnie naciągnięte (wyprostowane) i pionowe

- Należy rozciągnąć w zakresie odkształceń sprężystych (maksymalne wydłużenie ok. 5%) przynajmniej po 5 próbek z danego kompozytu i odczytać i zanotować podawaną przez program wartość modułu Younga

Opracowanie wyników części „a”, „b” i „c” ćwiczenia

Opisać zastosowaną metodą otrzymywania kompozytów włóknistych zwracając uwagę na jej zalety i wady.

Obliczyć wartości średnie oraz odchylenia standardowe modułu Younga badanych kompozytów. Porównać wartości modułu Younga dla kompozytów wzmacnianych włóknami ciągłymi i tkaninami – uwzględniając udziały objętościowe włókien.

Na podstawie znajomości udziału objętościowego włókien wyliczyć teoretyczną wartość modułu Younga dla kompozytu wzmacnianego włóknami ciągłymi i porównać ją z wartością zmierzoną. W obliczeniach teoretycznych należy posłużyć się parametrami mechanicznymi włókien i osnowy zawartych w Tabeli 1.

Zagrożenia

- Wszelkie czynności związane z żywicą, utwardzaczem oraz włóknami PAN należy wykonywać w fartuchu ochronnym i jednorazowych rękawicach ochronnych, gdyż substancje te łatwo przenikają przez skórę i mogą powodować objawy alergiczne.
- Należy zachować szczególną ostrożność przy użytkowaniu maszyny wytrzymałościowej, gdyż nieprawidłowo obsługiwana może doprowadzić to poważnego uszkodzenia ciała.
- Próbkę należy umieścić w uchwycie pomiarowym a po pomiarze z niego usunąć przy użyciu odpowiedniej pincety.
- Mocowania próbki w uchwycie oraz uruchomienia programu pomiarowego dokonuje **jedna** osoba.