
WYBRANE PROBLEMY INŻYNIERSKIE

ZESZYTY NAUKOWE
INSTYTUTU AUTOMATYZACJI PROCESÓW TECHNOLOGICZNYCH
I ZINTEGROWANYCH SYSTEMÓW WYTWARZANIA

POMIARY ODKSZTAŁCEŃ LAMINATU WZMACNIANEGO MATAMI Z WŁÓKNA SZKLANEGO

Sebastian Paździor¹, Sławomir Żółkiewski²

Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania, Wydział
Mechaniczny Technologiczny, Politechnika Śląska,
ul. Konarskiego 18A, 44-100 Gliwice.

¹sebapaz559@student.polsl.pl, ²slawomir.zolkiewski@polsl.pl.

Streszczenie: W pracy przedstawiono metodologię badań elementów konstrukcyjnych wykonanych z kompozytów laminarnych. Wykonano próbkę z laminatu wzmocnianego włóknem szklanym oraz zmierzono wartość jej odkształcenia przy różnym obciążeniu za pomocą tensometów elektrycznych foliowych. W celu weryfikacji wyników utworzono model próbki, a następnie, stosując metodę elementów skończonych zmierzono jej odkształcenia. Symulację przeprowadzono w oprogramowaniu Unigraphics NX przy użyciu modułu Advanced Simulation.

1. Wstęp

Laminat jest to kompozyt, powstający z połączenia dwóch lub więcej materiałów o różnych właściwościach mechanicznych, fizycznych i technologicznych. Składnik wzmocniający (tzw. zbrojenie) jest układany w postaci warstw (łac. lamina – cienka blaszka, płytka), między którymi znajduje się wypełnienie, spełniające rolę lepiszcza. Warstwy wzmocnienia mogą być w postaci włókien ciągłych, ułożonych jednokierunkowo tkanin lub mat z włókna ciętego. Laminat, ze względu na swoją strukturę, ma dobrą wytrzymałość w kierunku włókien, ale słabą wytrzymałość w kierunku prostopadłym do warstw.

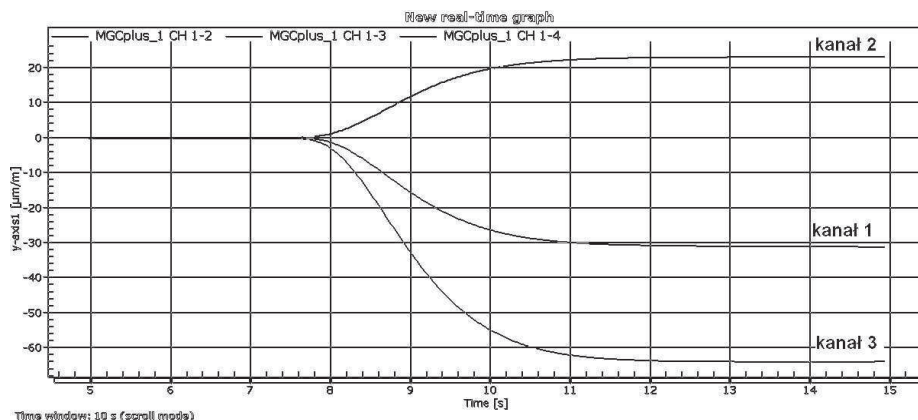
Badaną próbkę wykonano metodą kontaktową z czterech warstw maty szklanej o gramaturze 450 g/m², splocie skośnym, znajdującej się w osnowie żywicy epoksydowej epidian 6 oraz stalowego płaskownika o grubości 0,5 mm. Laminowanie ręczne (metoda kontaktowa) realizowane jest przez warstwowe nakładanie mat lub tkanin z włókien wzmocniających na prostą jednostronną formę i przesycanie ich kompozycją żywicy, na przykład za pomocą pędzla. Wyrób powstaje bez stosowania wysokich temperatur i ciśnienia.

2. Pomiary odkształceń

Odkształcenia zmierzono, korzystając z elektrooporowych czujników tensometrycznych. W pomiarach tensometrycznych wykorzystuje się zjawisko zmiany oporu elektrycznego drutu na skutek zmiany jego długości:

$$\frac{\Delta R}{R} = k \cdot \varepsilon, \quad (1)$$

gdzie: k - stała tensometru, ε - odkształcenie, $\frac{\Delta R}{R}$ - względna zmiana oporu tensometru.

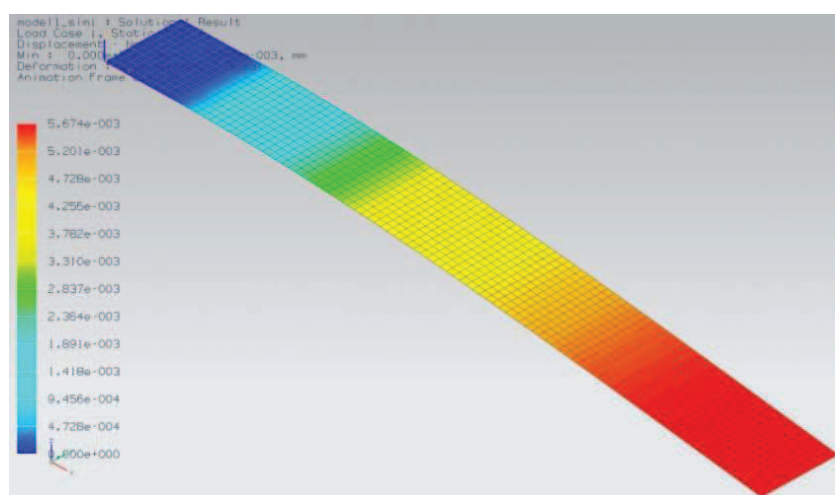


Rys.1. Wykres odkształcenia próbki obciążonej odważnikiem 50g (kanał 1– tensometr wklejony między warstwami maty szklanej, kanał 2– tensometr od strony płaskownika, kanał 3 - tensometr od strony laminatu)

Tor pomiarowy składa się z tensometrów, podłączonych do wzmacniacza pomiarowego HBM CANHEAD, wzmacniacza laboratoryjnego HBM MGC Plus oraz komputera z oprogramowaniem Catman Easy AP wraz z wzmacniaczem. Program Catman umożliwia łatwą konfigurację, analizę oraz wizualizację pomiarów na przykład w postaci rysowanych w czasie rzeczywistym wykresów liniowych (rys.1.). Ponadto pozwala na zapis wyników przeprowadzonej analizy w różnych formatach, w tym MS Excel.

Tab. 1. Stabelaryzowane wartości odkształceń

Obciążenie	Kanał 1	Kanał 2	Kanał 3
	µm/m		
50g	-31,2	22,9	-64
70g	-42,9	32	-88,6
100g	-60,9	45,5	-124,7
200g	-119,9	89,4	-247
300g	-176,6	130,7	-361,7



Rys.2. Symulacja obciążenia próbki siłą 0,49 N

W celu weryfikacji wyników przeprowadzono analizę MES wirtualnego modelu próbki. Porównanie ich przedstawiono w tabeli 2. Symulację przeprowadzono w module Advanced Simulation oprogramowania Unigraphics NX 6.0. Metoda elementów skończonych jest to matematyczna metoda obliczeń fizycznych, opierająca się na podziale obszaru na skończone elementy uśredniające stan fizyczny ciała i przeprowadzaniu faktycznych obliczeń tylko dla

węzłów tego podziału. Poza węzłami wyznaczana właściwość jest przybliżana na podstawie wartości w najbliższych węzłach. Przykładowy wynik symulacji przedstawiono na rys. 2.

Tab. 2. Porównanie wyników pomiarów rzeczywistych i symulacji MES

Obciążenie	Odształcenia		Błąd	
	Pomiar rzeczywisty	Symulacja MES	Bezwzględny	Względny
[g]	[μm]		[μm]	[%]
50	5,5	5,67	0,17	3,1
70	7,68	7,94	0,26	3,4
100	10,92	11,35	0,43	3,9
200	21,46	22,69	1,23	5,7
300	31,37	34,04	2,67	8,5

3. Podsumowanie

Przedstawiona metodologia badań opiera się na porównaniu odształceń, występujących w elemencie rzeczywistym oraz modelu matematycznym próbki o prostych kształtach. Uzyskanie zbliżonych wartości wyników pozwala założyć, że dla bardziej skomplikowanych elementów odształcenia również będą bliskie rzeczywistym, co eliminuje konieczność tworzenia oraz badania obiektów rzeczywistych, wykonanych z tego samego materiału kompozytowego.

Do badań użyto laminatu wzmocnianego włóknem szklanym, który nie należy do materiałów o najwyższych parametrach wytrzymałościowych. Jego wytrzymałość na zginanie jest zbliżona do drewna, które zastępuje na przykład w łódkach, żaglówkach i kajakach. Najważniejszymi czynnikami decydującym o wykorzystaniu laminatów szklanych jest odporność na korozję, dlatego wykorzystuje się je do budowy zbiorników na płyny, oraz cena, która w przypadku zbiornika ze stali z wykładziną gumową jest 2,5 razy wyższa niż zbiorników z laminatu.

Literatura

1. Wilczyński A.: Polimerowe kompozyty włókniste. Warszawa: WNT, 1996.
2. Hyla I., Śleziona J.: Kompozyty elementy mechaniki i projektowania. Gliwice: Wyd. Pol. Śl., 2004.
3. Burczyński T., Beluch W., John A.: Laboratorium z wytrzymałości materiałów. Gliwice: Wyd. Pol. Śl., 2002.
4. Dobrzański L. A.: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. Warszawa: WNT, 2002.
5. Leda H.: Kompozyty polimerowe z włóknami ciągłymi. Poznań: Wyd. Pol. Pozn., 2000.
6. www.hbm.com.pl

THE METHODOLOGY OF STRUCTURAL RESEARCH OF LAMINAR COMPOSITES

Summary: In this work the methodology of structural elements tests made of laminar composites was presented. In order to do the research a sample made of laminate reinforced with glass fiber was created. Afterwards, the measurements of its deformation with different loads with electrical foil strain gauges were done. To verify the results there was performed a virtual model of the sample and its FEM analysis. The Finished Element Method simulation was carried out in the Unigraphics NX application by the Advanced Simulation module.

POMIARY ODKSZTAŁCEŃ LAMINATU WZMACNIANEGO MATAMI Z WŁÓKNA SZKLANEGO

SEBASTIAN PAŹDZIOR¹, SŁAWOMIR ŻÓŁKIEWSKI²

Instytut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania

¹sebapaz559@student.polsl.pl

²slawomir.zolkiewski@polsl.pl

Celem pracy jest analiza możliwych zastosowań kompozytów laminarnych jako materiałów konstrukcyjnych. W skład analizy wchodzi wykonanie próbki z laminatu oraz pomiar jej odkształceń przy różnym obciążeniu za pomocą tensometrów elektrycznych foliowych. Tensometry te cechuje duża dokładność i możliwość pomiaru bardzo małych odkształceń. Mogą być one dokonywane w znacznej odległości od elementu badanego. Poza tym, istnieje możliwość niemal równoczesnego pomiaru odkształceń w wielu punktach konstrukcji. Ponadto, ze względu na pomijalną bezwładność układu pomiarowego, doskonale nadają się do pomiarów odkształceń szybkozmiennych. W tensometrach elektrycznych oporowych wykorzystuje się zjawisko zmiany oporu elektrycznego drutu na skutek zmiany jego długości. W przenoszeniu odkształceń z obciążonego elementu uczestniczy cały tensometr zespolony z badanym elementem specjalnym klejem.

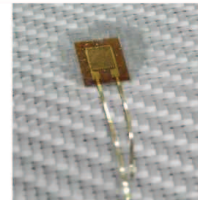
$$\frac{\Delta R}{R} := k \cdot \epsilon$$

Zależność pomiędzy zmianą oporności a odkształceniem tensometru

Korzystając z prawa Hooke'a można obliczyć naprężenia:

$$\sigma := E \cdot \epsilon := \frac{E}{k} \cdot \frac{\Delta R}{R}$$

gdzie:
R- rezystancja tensometru,
k- stała tensometru,
E- odkształcenie,
E- moduł Younga



Próbka wykonana została metodą kontaktową z czterech warstw maty szklanej znajdującej się w osnowie żywicy epoksydowej oraz stalowego płaskownika o grubości 0.5 mm. Laminowanie ręczne (metoda kontaktowa) realizowane jest przez warstwowe nakładanie mat lub tkanin z włókien wzmacniających na prostą jednostronną formę i przesykanie ich kompozycją żywicy np. za pomocą pędzla. Wyrób powstaje bez stosowania wysokich temperatur i ciśnienia.



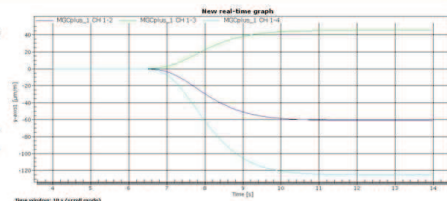
Tor pomiarowy składa się z tensometrów podłączonych do wzmacniacza pomiarowego HBM CANHEAD, wzmacniacza laboratoryjnego HBM MGC Plus oraz komputera z oprogramowaniem Catman podłączonego za pomocą portu USB do wzmacniacza.

Wzmacniacz pomiarowy HBM CANHEAD posiada 10 kanałów z kompensacją rezystancji przewodów, dodatkowy kanał kompensacji temperaturowej oraz 7 stopniowe cyfrowe filtry.



Wzmacniacz MGCplus jest modułowym wzmacniaczem pomiarowym o nowoczesnej konstrukcji, przeznaczonym do współpracy z prawie wszystkimi rodzajami czujników. Jego dokładność wynosi 0,03% (możliwa również 0,0025%). Wzmacniacz wyposażony jest w port USB umożliwiający pełną sterowność z komputera.

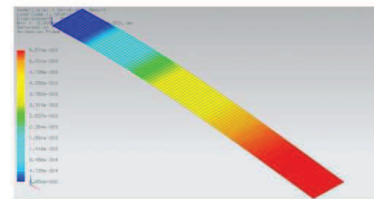
Pakiet oprogramowania Catman Easy AP pozwala na łatwą konfigurację, analizę oraz wizualizację pomiarów na przykład w postaci wykresów liniowych. Ponadto umożliwia zapis wyników przeprowadzonej analizy w różnych formatach, w tym MS Excel.



Obciążenie	Odkształcenia		Błąd	
	Pomiar rzeczywisty	Symulacja MES	bezwzględny	względny
[g]	[µm]		[µm]	[%]
50	5.496	5.674	0.178	3.238719
70	7.68	7.943	0.263	3.424479
100	10.92	11.35	0.43	3.937729
200	21.456	22.69	1.234	5.751305
300	31.368	34.04	2.672	8.518235

Porównanie wyników pomiarów rzeczywistych i symulacji MES

W celu weryfikacji wyników utworzony został model próbki. Następnie, wykorzystując Metodę Elementów skończonych zmierzone zostały jej odkształcenia. Symulacja została przeprowadzona w oprogramowaniu Unigraphics NX 6.0 przy użyciu modułu Advanced Simulation. Metoda Elementów Skończonych jest to matematyczna metoda obliczeń fizycznych opierająca się na podziale obszaru, na skończone elementy uśredniające stan fizyczny ciała i przeprowadzaniu faktycznych obliczeń tylko dla węzłów tego podziału. Poza węzłami wyznaczana właściwość jest przybliżana na podstawie wartości w najbliższych węzłach.



Ciągle rosnące wymagania konstrukcyjne powodują coraz szersze zastosowanie materiałów kompozytowych oraz stopniowe wypieranie tradycyjnych materiałów. Laminaty z włókna szklanego nie należą do materiałów o najwyższych parametrach wytrzymałościowych. Ich wytrzymałość na zginanie jest zbliżona do drewna, które z powodzeniem zastępują np. w konstrukcjach łodek, żaglówek i kajaków. Najważniejszym czynnikiem decydującym o wykorzystaniu laminatów szklanych jest odporność na korozję, dlatego są one chętnie wykorzystywane do budowy zbiorników na płyny. Drugim równie ważnym czynnikiem jest cena, która dla zbiornika ze stali z wykładziną gumową jest 2,5 razy wyższa niż dla zbiorników z laminatu.

Literatura:

Wilczyński A.: Polimerowe kompozyty włókniste. WNT, Warszawa 1996.
Hyla I., Sleziona J.: Kompozyty elementy mechaniki i projektowania. Wyd. Pol. Śląskiej, Gliwice 2004.
Burczyński T., Beluch W., John A.: Laboratorium z wytrzymałości materiałów. Wyd. Pol. Śląskiej, Gliwice 2002.
Dobrzański L. A.: Podstawy nauki o materiałach i metaloznawstwo. WNT, Warszawa 2002.
Leda H.: Kompozyty polimerowe z włóknami ciągłymi. Wyd. Pol. Poznańskiej, Poznań 2000.
www.hbm.com.pl