

DOŚWIADCZALNA METODA IDENTYFIKACJI NAPRĘŻEŃ W KOMPOZYTACH

ANDRZEJ BUCHACZ, ANDRZEJ WRÓBEL, MICHAŁ MAJZNER

*Institut Automatykacji Procesów Technologicznych i Zintegrowanych Systemów Wytwarzania,
Politechnika Śląska
e-mail: andrzej.buchacz@polsl.pl, andrzej.wrobel@polsl.pl, majzner.michal@gmail.com*

Streszczenie. Obecnie kompozyty są równorzędnymi materiałami konstrukcyjnymi obok metali oraz ceramiki. Możliwość uzyskania niespotykanych w przypadku tradycyjnych materiałów konstrukcyjnych, parametrów fizycznych skłoniła wielu konstruktorów do częstego ich stosowania. Tematem pracy jest doświadczalna metoda identyfikacji naprężeń w kompozytach. Badania mają na celu porównanie najczęściej stosowanych kompozytów zawierających włókna: szklane, aramidowe i węglowe. Prezentowana metoda badań polega na elektrycznym pomiarze wielkości mechanicznych z zastosowaniem tensometrii elektrooporowej. Celem pracy jest identyfikacja odkształceń różnych materiałów kompozytowych w zależności od liczby warstw, rodzaju materiału, ułożenia włókien oraz użytego lepiszcza. Odkształcenia piętnastu przebadanych próbek kompozytowych zestawiono na wykresach, wskazując próbkę o największych parametrach wytrzymałościowych.

1. ZASADA DZIAŁANIA TENSOMETRÓW OPOROWYCH

Jeżeli drut metalowy zostanie poddany odkształceniu, w granicach sprężystości, nastąpi zmiana jego rezystancji proporcjonalna do odkształcenia. Równanie (1) jest zasadniczym równaniem tensometrii, ponieważ wiąże podstawowe parametry mechaniczne i elektryczne [1, 2]. Sygnał elektryczny jest tym większy, im większe jest mierzone odkształcenie oraz im większy jest współczynnik k , zwany współczynnikiem czułości odkształceniowej tensometru lub stałą tensometru.

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

Wartość współczynnika k jest zależna od zastosowanego stopu metali, z którego wykonany jest drut oporowy i zachowuje stałą wartość w pewnych granicach odkształceń. Materiały stosowane na drut oporowy tensometrów charakteryzują się stałą k w granicach 1,6÷3,6. Ostateczna wartość podawana przez producentów jest także zależna od sposobu ułożenia drutu oraz rodzaju materiału podkładki nośnej [2,3].

2. ŹRÓDŁA BŁĘDÓW POMIAROWYCH

Źródłem błędów czujnika tensometrycznego w trakcie pomiarów może być: temperatura, pełzanie, zmienność izolacji oraz wysoka częstotliwość zmian naprężeń. Wpływ tych zmiennych można zaobserwować na podstawie pojawienia się tak zwanego sygnału pozornego. Wpływ temperatury może spowodować przesunięcie zera poprzez powstanie pozornego wydłużenia oraz zmianę czułości tensometru. Na skutek zmiany temperatury Δt powstaje zmiana oporu tensometru obliczona ze wzoru:

$$\Delta R = R[\alpha_R + k(\alpha_P - \alpha_d)]\Delta t, \quad (2)$$

gdzie:

α_R – temperaturowy współczynnik oporu tensometru,

α_P – współczynnik wydłużenia podłoża,

α_d – współczynnik wydłużenia liniowego,

k – stała tensometru,

R – opór właściwy tensometru [Ω],

ΔR – zmiana oporu tensometru [Ω],

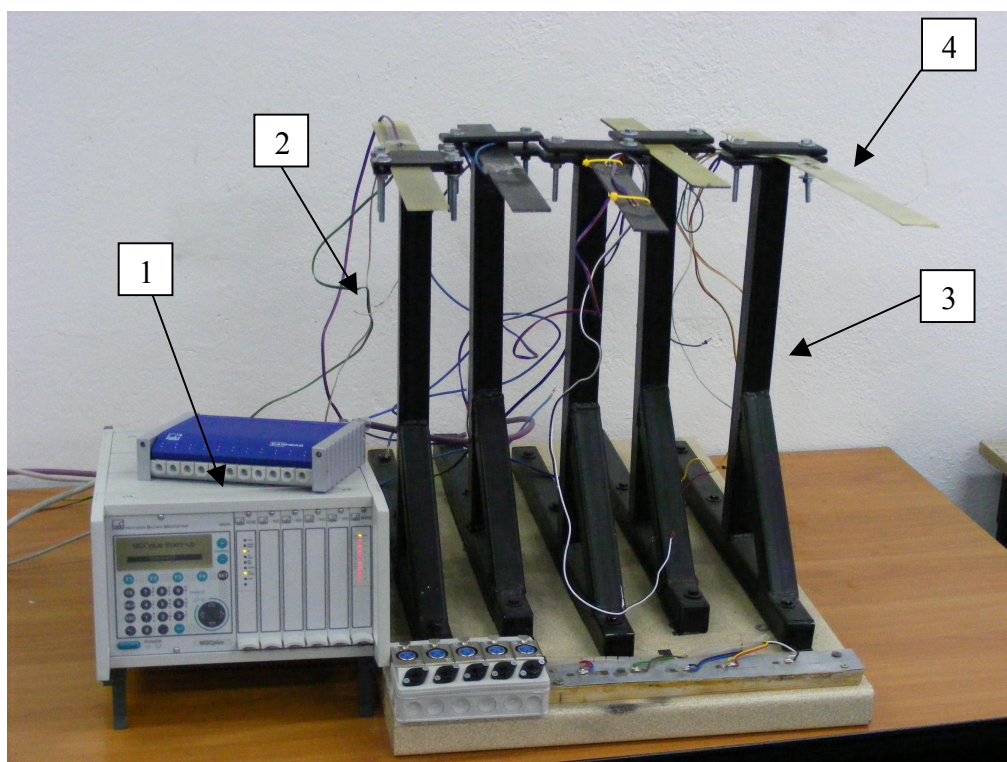
po przekształceniach błąd w postaci pozornego wydłużenia wynosi:

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta R}{R} \frac{1}{k} = \left(\frac{1}{k} \alpha_{R+P} - \alpha_d \right) \Delta t. \quad (3)$$

Dokładność naklejenia tensometru ma znaczący wpływ na powstawanie zakłóceń związanych z pełzaniem kleju. W trakcie procesu twardnienia kleju opór tensometru ulega zmianie. W trakcie pomiarów naprężeń szybkozmiennych mogą wystąpić dwa charakterystyczne zjawiska: uszkodzenie czujnika oraz błąd amplitudy. Pierwsze zjawisko występuje w momencie zmęczenia kleju lub przez powstanie przerwy w obwodzie, w punkcie łączenia drutu tensometrycznego. Natomiast błąd amplitudy charakteryzuje się pozorną zmianą stałej k .

3. STANOWISKO POMIAROWE

Stanowisko laboratoryjne, złożone ze wzmacniacza tensometrycznego MGCplus oraz CanHEAD (1) firmy HBM i przyłącza z wtyczkami (2), pięciu stojaków do mocowania belek (3), oraz próbek w postaci belek kompozytowych (4) przedstawiono na rys. 3.1.



Rys. 3.1. Stanowisko badawcze

MGCplus jest uniwersalnym, laboratoryjnym wzmacniaczem do pomiaru siły, naprężeń, odkształceń, przyspieszenia, momentu obrotowego, temperatury, ciśnienia, napięcia, natężenia prądu, częstotliwości, rezystancji. Idealnie nadaje się do pomiarów, gdzie kluczowymi parametrami jest wysoka rozdzielczość i stabilność podczas wykonywania pomiarów długotrwałych. Wzmacniacz ma budowę modułową. W zależności od stosowanej wersji ma możliwość podłączenia od 2 do 10 kart pomiarowych.



Rys. 3.2. Badane próbki kompozytowe

Stosując zainstalowaną kartę komunikacyjną, istnieje możliwość rozbudowy układu pomiarowego o wzmacniacze CanHEAD. Podstawową zaletą jest możliwość podłączenia tensometrów w postaci ćwierć mostka.

4. PRZYGOTOWANIE PRÓBEK DO BADAŃ

Do wykonania próbek zastosowano pięć rodzajów włókien. Przygotowano z nich 15 próbek, o różnej grubości. Rodzaje włókien przedstawiono w tabeli 4.1 [4]. Jako rdzeń, na którym naklejano włókno szklane, zastosowano płaskownik z blachy ocynkowanej o grubości 0,5mm. Jako osnowę zastosowano żywicę epoksydową EPIDAN 6 wraz z utwardzaczem PAC.

Tabela 4.1. Rodzaje włókien użyte do wykonania kompozytów






| | | |
|----|--|---|
| A. | Włókno szklane o gramaturze $600 \left[\frac{g}{m^2} \right]$, |  |
| B. | Włókno diolenowe (poliestrowe) o gramaturze $200 \left[\frac{g}{m^2} \right]$, |  |
| C. | Włókno węglowe o gramaturze $180 \left[\frac{g}{m^2} \right]$, |  |
| D. | Włókno szklane o gramaturze $200 \left[\frac{g}{m^2} \right]$, |  |
| E. | Włókno szklane o gramaturze $500 \left[\frac{g}{m^2} \right]$, |  |

Tabela 4.2. Zestawienie próbek

| L.p. | Numer próbki | Nazwa włókna | Orientacja włókien | Całkowita grubość [mm] |
|------|--------------|--|--|------------------------|
| 1. | A1 | Włókno szklane o gramaturze $600[\frac{g}{m^2}]$, | $(0^\circ, 180^\circ)$ | 3,8 |
| 2. | A2 | | $(0^\circ, 90^\circ, -90^\circ, 180^\circ)$ | 5,2 |
| 3. | A3 | | $(0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -90^\circ, -45^\circ, 180^\circ)$ | 7,0 |
| 4. | B1 | Włókno diolenowe (poliestrowe) o gramaturze $200[\frac{g}{m^2}]$, | $(0^\circ, 180^\circ)$ | 2,0 |
| 5. | B2 | | $(0^\circ, 90^\circ, -90^\circ, 180^\circ)$ | 2,8 |
| 6. | B3 | | $(0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -90^\circ, -45^\circ, 180^\circ)$ | 3,8 |
| 7. | C1 | Włókno węglowe o gramaturze $180[\frac{g}{m^2}]$, | $(0^\circ, 180^\circ)$ | 2,0 |
| 8. | C2 | | $(0^\circ, 90^\circ, -90^\circ, 180^\circ)$ | 2,3 |
| 9. | C3 | | $(0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -90^\circ, -45^\circ, 180^\circ)$ | 3,1 |
| 10. | D1 | Włókno szklane o gramaturze $200[\frac{g}{m^2}]$, | $(0^\circ, 180^\circ)$ | 2,5 |
| 11. | D2 | | $(0^\circ, 90^\circ, -90^\circ, 180^\circ)$ | 2,9 |
| 12. | D3 | | $(0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -90^\circ, -45^\circ, 180^\circ)$ | 3,5 |
| 13. | E1 | Włókno szklane o gramaturze $500[\frac{g}{m^2}]$, | $(0^\circ, 180^\circ)$ | 3,5 |
| 14. | E2 | | $(0^\circ, 90^\circ, -90^\circ, 180^\circ)$ | 5,0 |
| 15. | E3 | | $(0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, -90^\circ, -45^\circ, 180^\circ)$ | 6,1 |

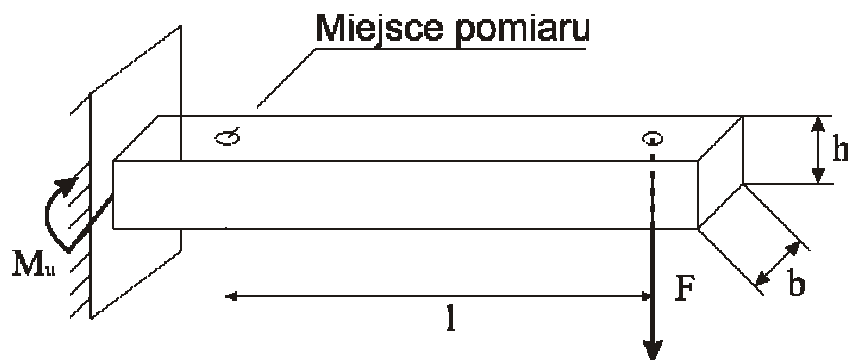


Rys. 4.1. Kompozytowe belki zastosowane do badań

Na rysunku 4.1 przedstawiono część wykonanych próbek kompozytowych, wraz z naklejonymi tensometrami.

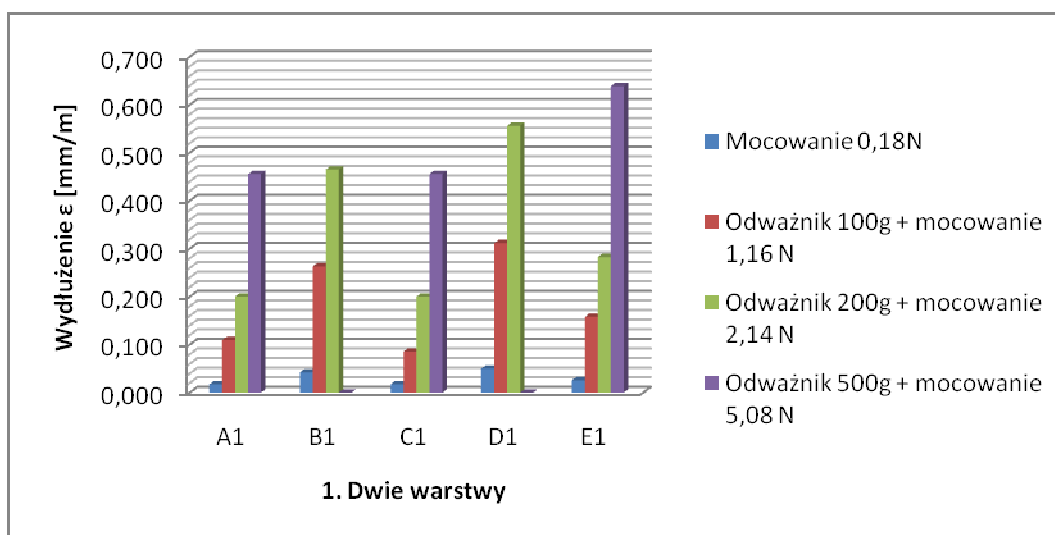
5. ZESTAWIENIE WYNIKÓW BADAŃ

Zakres badań obejmował testy piętnastu próbek kompozytowych oraz jednej belki stalowej o znanych parametrach materiałowych. Belka stalowa stanowiła próbkę porównawczą, którą zastosowano do porównania wyników odkształceń materiałów kompozytowych. Sposób zadawania obciążeń oraz postać geometryczna badanych próbek zostały przedstawione na rys. 5.1.

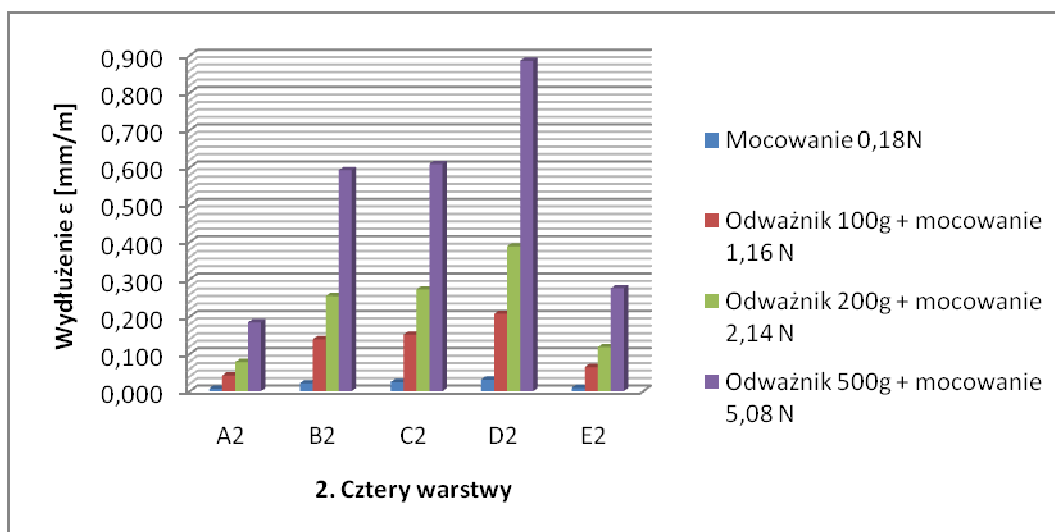


Rys. 5.1. Postać analizowanego układu

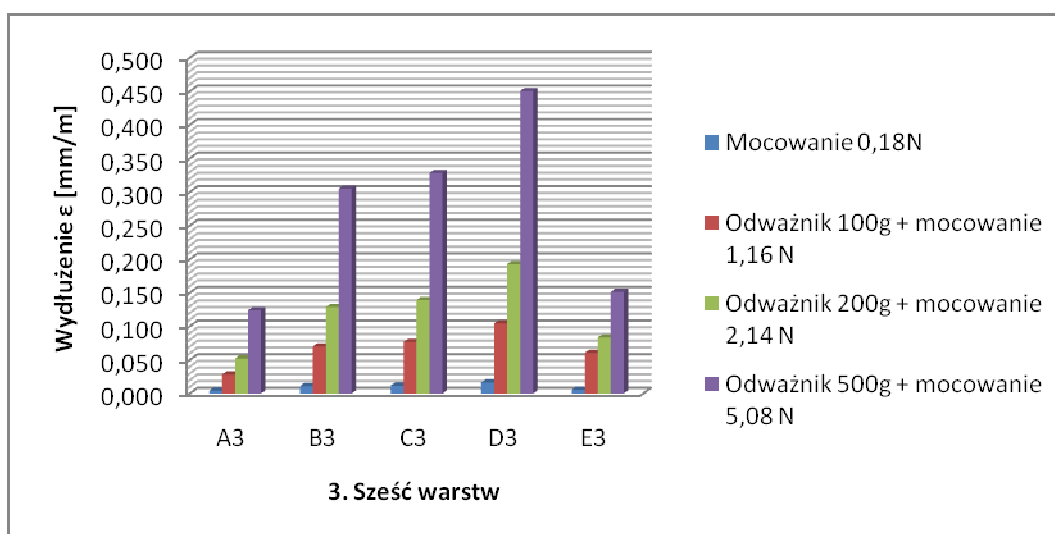
Badaniu podlegała belka utwierdzona jednostronnie o długości $l=0,21$ [m], szerokości $b=0,04$ [m], i grubości $h=0,0025$ [m]. Wyniki przedstawiono na trzech kolejnych rysunkach oznaczonych numerami 5.2, 5.3, 5.4. Przedstawiają one odkształcenia poszczególnych próbek, przy różnej sile obciążającej. Jednocześnie w tabeli 5.1 zestawiono wszystkie wartości odkształceń. Próbki oznaczone symbolami B1 oraz D1, nie zostały w pełni przebadane, gdyż zadając największe obciążenie wartość pomiaru wykraczała poza skalę. W tym przypadku odkształcenie przekraczało granicę plastyczności.



Rys. 5.2 Wykres przedstawiający wydłużenie kompozytów dwu warstwowych



Rys. 5.3 Wykres przedstawiający wydłużenie kompozytów cztero warstwowych



Rys. 5.4 Wykres przedstawiający wydłużenie kompozytów sześciowarstwowych

Tabela 5.1. Zestawienie wyników odkształceń wszystkich próbek

| L.p. | Sposób zadawania siły | Mocowanie | Odważnik 100g + mocowanie | Odważnik 200g + mocowanie | Odważnik 500g + mocowanie |
|------|-----------------------|-----------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| | Siła [N] | 0,18 | 1,16 | 2,14 | 5,08 |
| 1. | A1 | 0,017 | 0,110 | 0,200 | 0,455 |
| 2. | B1 | 0,042 | 0,263 | 0,465 | 0,000 |
| 3. | C1 | 0,017 | 0,086 | 0,200 | 0,455 |
| 4. | D1 | 0,050 | 0,312 | 0,556 | 0,000 |
| 5. | E1 | 0,026 | 0,158 | 0,283 | 0,639 |
| 6. | A2 | 0,007 | 0,042 | 0,078 | 0,185 |
| 7. | B2 | 0,022 | 0,140 | 0,255 | 0,593 |
| 8. | C2 | 0,024 | 0,152 | 0,273 | 0,609 |
| 9. | D2 | 0,031 | 0,207 | 0,389 | 0,886 |

| | | | | | |
|-----|----|-------|-------|-------|-------|
| 10. | E2 | 0,009 | 0,065 | 0,118 | 0,276 |
| 11. | A3 | 0,004 | 0,028 | 0,052 | 0,124 |
| 12. | B3 | 0,011 | 0,070 | 0,129 | 0,305 |
| 13. | C3 | 0,012 | 0,077 | 0,139 | 0,328 |
| 14. | D3 | 0,016 | 0,94 | 0,193 | 0,450 |
| 15. | E3 | 0,006 | 0,061 | 0,083 | 0,151 |

Najlepsze wyniki osiągnięto w przypadku włókien o największej gramaturze. W ramach przyszłych badań planuje się również przeprowadzenie testów związanych ze ścieralnością, co ostatecznie pozwoli porównać standardowe materiały i materiały kompozytowe.

6. WNIOSKI

W ramach prezentowanej tematyki przebadano tkaniny powszechnie stosowane do wytwarzania laminatów, takie jak włókno szklane, włókno węglowe oraz poliestrowe. Zróżnicowanie próbek polegało głównie na zastosowaniu różnej liczby warstw zbrojenia. Dalsze badania w zakresie kompozytów powinny być prowadzone w celu wyznaczenia stałych materiałowych żywicy epoksydowej EPIDIAN 6 wraz z utwardzaczem PAC, co pozwoli na symulację materiałów kompozytowych metodami numerycznymi.

Praca była prowadzona jako część programu badawczego o numerze PBR-8/RMT-2/2009

LITERATURA

1. Styburski W.: Przetworniki tensometryczne : konstrukcja, projektowanie, użytkowanie. Warszawa : WNT, 1971.
2. Roliński Z.: Tensometria oporowa : podstawy teoretyczne i przykłady zastosowań. Warszawa : WNT, 1981.
3. Łapiński M.: Pomiary elektryczne i elektroniczne wielkości nieelektrycznych. Warszawa : WNT, 1974.
4. Hyla, I., Śleziona J.: Kompozyty : elementy mechaniki i projektowania. Gliwice : Wyd. Pol. Śl., 2004.

EXPERIMENTAL METHOD FOR STRESS IDENTIFICATION IN COMPOSITES

Summary. Nowadays, composites have become an equivalent construction material next to the metals, plastics and ceramics. The possibility of obtaining unusual, for traditional construction materials, the physical properties prompted many manufacturers to the interest in this material. Topic of this article is the experimental method of identifying stress in composites. The study aims to compare the most commonly used composites such as fiberglass, aramid fiber and carbon fiber. The presented method of measuring is based on an electric measurements of mechanical quantities using strain gages. The paper is focused on strain identification of different composite materials, where the parameters are: number of layers, type of material, location of fibers and binder used. Deformation of fifteen composite samples, designated retaining technique, are summarized in graphs indicating the sample with the highest strength of materials.