

Kazimierz Puciłowski¹

Politechnika Białostocka, Katedra Mechatroniki, ul. Wiejska 45C, 15-351 Białystok

Jan Lewiński, Wilhelm M. Orsetti²

Politechnika Warszawska, Instytut Mechaniki i Konstrukcji, ul. Narbutta 85, 02-542 Warszawa

BADANIE KOMPOZYTÓW POZA GŁÓWNYMI OSIAMI ANIZOTROPII

W pracy przedstawiono analizę komputerową granicznych stanów brzegowych (z wykorzystaniem systemu ADINA) rozciąganych próbek anizotropowych. Zaproponowano też uproszczoną metodę postępowania w przypadku prowadzenia badań dla próbek niespełniających ustalonych gabarytów.

TESTING OF COMPOSITES OUTSIDE THE PRINCIPAL AXES OF ANISOTROPY

Actual way of applying the load in uniaxial tension testing produces a complex stress state in the measurement part of the specimen.

In the work, a computer analysis of the influence of boundary fixing methods of the specimen (free and fixed edge) with the use of the computational system ADINA, is presented. The nature of strains as well as the local Poisson's ratio is given, for the short fixed specimen (Fig. 1), for the long fixed specimen (Fig. 2) and the specimen with free edge (Fig. 3), respectively. In Fig. 4 the dependency of the global Poisson's ratio on the specimen's length and distance from the fixed edge. It is concluded that for correct results the specimen with the ratio of gauge length to width over 10 should be applied.

A practical method of testing when the specimen do not fulfill the above condition is also given.

WSTĘP

Często popełnianym błędem w trakcie badań eksperymentalnych materiałów anizotropowych na kierunkach niepokrywających się z głównymi osiami anizotropii jest nieuwzględnienie sposobu rzeczywistego przyłożenia obciążenia. W przypadku badań na rozciąganie niemożliwe jest stworzenie warunków mocowania próbki tak, by odkształcenie jej zezwalało na założenie jednoosiowego stanu naprężenia.

Niżej przedstawiono analizę komputerową granicznych stanów brzegowych (brzeg swobodny i utwierdzony) z wykorzystaniem systemu ADINA.

Przedstawiono również przybliżoną metodę badań rozciągania krótkich próbek anizotropowych, umożliwiającą technicznie poprawne oznaczenie interesujących nas stałych materiałowych.

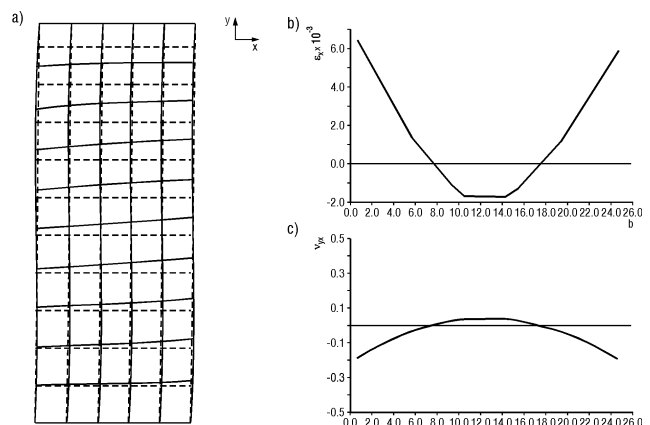
ANALIZA KOMPUTEROWA

Do analizy przyjęto kompozyt epoksydowo-węglowy złożony z pięciu jednokierunkowo wzmocnionych warstw elementarnych o ułożeniu $[+25^\circ, -25^\circ, 0, -25^\circ, +25^\circ]$. Obliczenie prowadzono przy przyjęciu następujących właściwości warstwy elementarnej:

$$E_{11} = 129,6 \text{ GPa}; G_{66} = 5,06 \text{ GPa}; \nu_{21} = 0,308$$

$$E_{22} = 9,2 \text{ GPa}; G_{44} = 3,05 \text{ GPa}; \nu_{23} = 0,476$$

Analizowano próbki o szerokości 25 mm i różnych długościach, poddając je stałemu odkształceniu wzdłuż długości próbki.



Rys. 1. Rozciągana krótka próbka z utwierdzonym brzegiem: a) kształt próbki, b) rozkład odkształceń poprzecznych, c) lokalny współczynnik Poissona

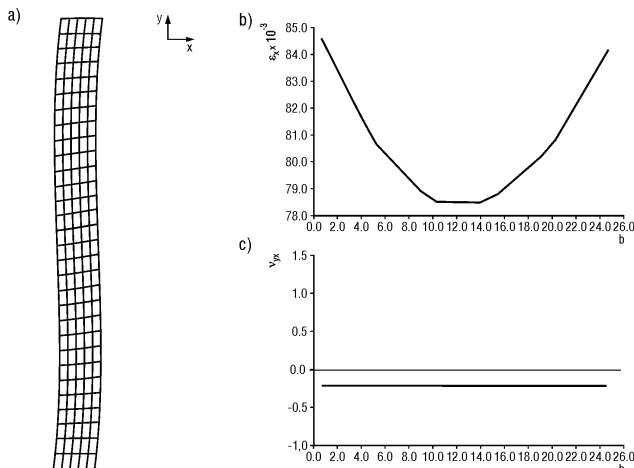
Fig. 1. Tension of short specimen with fixed edge: a) shape of specimen, b) distribution of transverse strains, c) distribution of local Poisson's ratio

Na rysunku 1 przedstawiono wyniki obliczeń dla próbki krótkiej ($l = 60 \text{ mm}$) z utwierdzonymi brzegami. Rysunek 1a przedstawia kształt rozciąganej pod kątem

¹ dr hab. inż., prof. PB, ² dr inż.

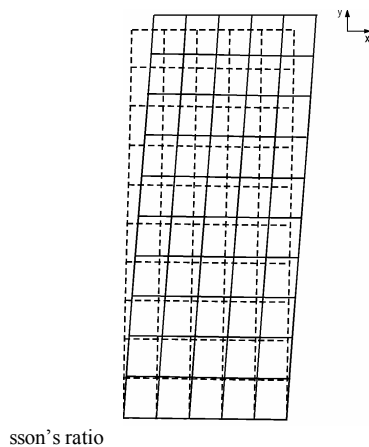
45° do osi głównych anizotropii próbki po odkształceniu, zmianę lokalnych odkształceń poprzecznych (rys. 1b) oraz lokalnego współczynnika Poissona (rys. 1c) w funkcji szerokości próbki. Należy zwrócić uwagę na zmianę znaku odkształcenia poprzecznego i oczywiście współczynnika Poissona wzdłuż szerokości próbki.

Na rysunku 2 zaprezentowano analogiczne wielkości dla rozciąganej próbki długiej ($l = 250$ mm). Zwraca uwagę ustalenie wartości lokalnego współczynnika Poissona wzdłuż szerokości próbki oraz jednakowy znak odkształceń poprzecznych.



Rys. 2. Rozciągana długa próbka z utwierdzonym brzegiem: a) kształt próbki, b) rozkład odkształceń poprzecznych, c) lokalny współczynnik Poissona

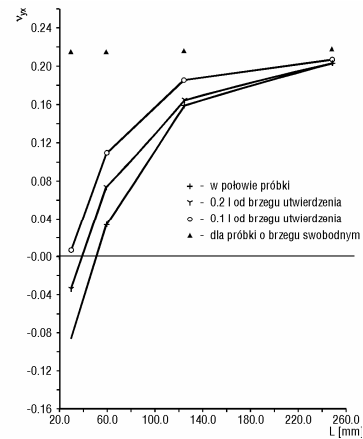
Fig. 2. Tension of long specimen with fixed edge: a) shape of specimen, b) distribution of transverse strains, c) distribution of local Poisson's ratio



Rys. 3. Odkształcenie próbki o brzegu swobodnym
Fig. 3. Strains in specimen with free edge

Na rysunku 3 pokazano kształt rozciąganej pod kątem 45° w stosunku do głównych osi anizotropii próbki o brzegu swobodnym. Jest rzeczą oczywistą, że zarejestrowano wtedy stałe odkształcenie poprzeczne i stałą wartość lokalnego współczynnika Poissona wzdłuż szerokości próbki.

Rysunek 4 przedstawia zmianę globalnego współczynnika Poissona w funkcji długości pomiarowej próbki. Poszczególne krzywe oznaczają pomiar odkształcenia poprzecznego w różnych odległościach od brzegu próbki. Próbki z brzegiem utwierdzonym: + – środek próbki, Y – 0,2 l; O – 0,1 l; ▲ – próbka



z brzegiem swobodnym.

Rys. 4. Zmiana globalnego współczynnika Poissona w funkcji długości próbki

Fig. 4. Variation of the local Poisson's ratio in a function of the specimen's length

Przy próbkach, w których długość pomiarowa ponad 10-krotnie przekracza ich szerokość, dla badanego kompozytu, różnica pomiędzy próbkami z brzegiem utwierdzonym i swobodnym jest mniejsza niż 5%. Ciekawym spostrzeżeniem jest również fakt, iż najmniejszy błąd pojawia się przy pomiarze najbliższej brzegu utwierdzonego.

PROPOZYCJA TECHNICZNEJ METODY BADAŃ NA ROZCIĄGANIE PRÓBEK KRÓTKICH

W praktyce inżynierskiej często zmuszeni jesteśmy badać próbki krótkie. Niżej omówiono zasadę pomiaru prowadzącą do technicznie poprawnych wyników.

Jeśli w trakcie rozciągania dokonamy pomiaru pełnego stanu odkształcenia ε_{ij} (np. za pomocą rozety tenzometrycznej), to możemy zapisać

$$\left. \begin{matrix} \varepsilon_1^{\phi} \\ \varepsilon_2^{\phi} \\ \varepsilon_6^{\phi} \end{matrix} \right\} = f_i [E_{11}, E_{22}, \nu_{21}, G_{66}, \sigma_1, \sigma_2, \sigma_6] \quad (1)$$

W układzie równań (1) 4 niewiadome (E_{11}, E_{22}, ν_{21} - wyznaczone w trakcie rozciągania próbek w osiach głównych anizotropii) nie pozwalają na rozwiązanie. Ponieważ jednak wyżej omówione badania metodą MES potwierdzają możliwość przyjęcia założenia upraszcza-

jącego $\sigma_2 = 0$, układ (1) staje się układem rozwiązywalnym.

Jako przykład ilustrujący poprawność takiego rozumowania przytoczono wyniki badań kompozytu epoksydowego z włóknem węglowym o strukturze (+30, -30, 0, -30, +30). W celu weryfikacji otrzymanych wyników badania przeprowadzono dla dwu kątów rozciąganych próbek $\varphi_1 = 37^\circ$ i $\varphi_1 = 45^\circ$ w stosunku do głównej osi anizotropii rozciąganych próbek naprężeniem σ_0 . Wyniki przedstawiono w tabeli 1.

TABELA 1. Wyniki pomiarów i obliczeń dla uproszczonej metody badań próbki krótkiej

TABLE 1. The results of measurements and calculations for technical method of testing short specimens

φ	E_{11}	E_{22}	ν_{21}	G_{66}	$\left \frac{\sigma_6}{\sigma_0} \right $
stopnie	GPa		–	GPa	–
37	101,0	10,2	0,317	22,55	0,41
45				22,62	0,12

Należy zwrócić uwagę na fakt, że oznaczając G_{66} z jednoosiowego stanu naprężenia (nie uwzględniając „utwierdzenia” brzegu próbki), popełnilibyśmy błąd > 30%.

PODSUMOWANIE

Z przedstawionej analizy komputerowej wynika, że badania na rozciąganie kompozytów poza głównymi osiami anizotropii wymagają stosowania długości pomiarowej próbki ponad 10-krotnie przekraczającej jej szerokość. W przypadku niemożliwości zachowania tego warunku możemy zastosować zasady przedstawionej technicznej metody badań rozciągania anizotropowych próbek krótkich.

LITERATURA

- [1] Wilczyński A.P., A basic theory of reinforcement for unidirectional fibrous composites, *Comp. Sc. Technol.* 1990, 38.
- [2] Puciłowski K., Przewidywanie wybranych właściwości kompozytów w mechanice technicznej, WPW, Warszawa 1990.
- [3] Chabrowski A., Sa'adeh R., Puciłowski K., Oznaczenie stałych materiałowych na kierunkach nie pokrywających się z głównymi osiami anizotropii, *Symposium nt. Kompozyty i kompozycje polimerowe*, Szczecin 1994.

Recenzent
Andrzej P. Wilczyński