

MECHANIKA

CZASOPISMO TECHNICZNE
TECHNICAL TRANSACTIONS
MECHANICS

WYDAWNICTWO
POLITECHNIKI KRAKOWSKIEJ

1-M/2009
ZESZYT 3
ROK 106
ISSUE 3
YEAR 106

RAFAŁ CHATYS*

WERYFIKACJA MODELI HOMOGENIZACJI OKREŚLAJĄCYCH WŁAŚCIWOŚCI MECHANICZNE LAMINATU PRZY CIĘCIU STRUMIENIEM WODY

VERIFICATION OF THE HOMOGENIZATION MODELS DESCRIBING THE MECHANICAL PROPERTIES OF THE LAMINAT DURING THE WATERJET CUTTING

Streszczenie

W pracy badano wpływ kąta cięcia strumieniem wody z prędkością 3 000m/s na własności mechaniczne kompozytu włóknistego. Analizie poddano kompozyt formowany techniką infuzji (RIM). Stwierdzono największą wydajność kształtowania wymiarowego przy próbkach ciętych strumieniem wody pod kątem 45°. Zamodelowane współczynniki stałych technicznych kompozytu o podstawie polimerowej poprzez regułę mieszanin, model Abolinsh'a, model Wilczyńskiego – Lewińskiego, czy model HRT, posłużyły w szacowaniu własności mechanicznych kompozytu., poprzez destrukcyjne zniszczenie krytycznej warstwy w laminacie.

Słowa kluczowe: formowanie żywicy metodą RIM, cięcie strumieniem wody, kompozyt warstwowy, modelowanie

Abstract

In the paper the impact of the cutting angle of the water jet at the velocity 3000m/s on mechanical properties of the fibrous composite has been investigated. The composite formed with the RIM method has been analysed. The highest efficiency of dimensional shaping has been found for samples cut with the water jet at the angle of 45°. Modelled technical constants of the composites of matrix polymers with the mixing rule, Abolinsh's model, Wilczyński – Lewiński model and HRT model have been used to determine mechanical properties through the destruction of the critical layer

Keywords: composite materials, strength, Resin Injection Molding (RIM), modeling, waterjet - abrasive water suspension jet

* Dr inż. Rafał Chatys, Wydział Mechatroniki i Budowy Maszyn, Politechnika Świętokrzyska w Kielcach.

1. Wprowadzenie

Kompozyty warstwowe złożone z osnowy i wzmocnienia wymagają coraz większej informacji odnośnie własności mechanicznych komponentów materiału. Ilość istniejących w literaturze modeli homogenizacji jest bardzo duża [1-4], w których wartości stałych materiałowych znacznie różnią się między sobą ($E_1, E_2, G_{12}, G_{32}, \nu_{12}$).

Weryfikacje doświadczalne pozwalają stwierdzić, że żaden z dotychczasowych modeli nie opisuje z należytą dokładnością wszystkich wartości stałych materiałowych. Dlatego też jedyną wiarygodną metodą uzyskania tych danych jest doświadczenie. Wynika to z przebiegu procesu technologicznego, nierównomiernego (w całej objętości) ułożenia włókien, lokalnych nieciągłości włókien, braku przylegania na granicy włókno-matryca, jak również imperfekcji w matrycach w postaci pustek, mikropęknięć, czy szczelin [5, 6].

Dla wyznaczenia 5 stałych materiałowych dla monotropowego kompozytu najczęściej stosuje się próby statycznego (quasi) rozciągania [7], ścinania i zginania.

Celem niniejszej pracy jest zapoznanie się z modelami homogenizacji prowadzącymi do wyznaczenia stałych materiałowych, oraz analiza wpływu kąta ułożenia na własności mechaniczne kompozytu polimerowego wytworzonego techniką infuzji.

2. Metodyka i przebieg badań

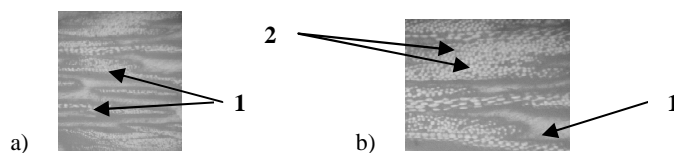
Przedmiotem badań był kompozyt warstwowy wytworzony techniką infuzji w Centrum Kompozytów firmy „Bella”, których parametry technologiczne przedstawiono w pracach [8, 9]. Z uzyskanej płyty laminatu (z żywicą Polimal 109-32K i wzmocnieniem w postaci tkaniny szklanej 2-kierunkowej $\pm 45^\circ$ o gramaturze 800g/m^2 firmy SAERTEX) o grubości ok. $1.8\pm 2,0$ mm, wycięto próbki według normy PN – EN 10002–1+AC1. Statyczną próbę rozciągania przeprowadzono na maszynie wytrzymałościowej INSTRON 4502 w Laboratorium Wytrzymałości Materiałów – Centrum Laserowych Technologii Metali Politechniki Świętokrzyskiej. Próbki z otrzymanego laminatu $\pm 45^\circ$ cięto pod różnymi kątami z prędkością $3\ 000\text{m/s}$ co przedstawia tabela 1.

Tabela 1

Własności mechaniczne laminatu o różnej architekturze ułożenia wzmocnienia

Lp.	Kąt ułożenia	σ_{\max} [MPa]	E [MPa]
1.	0°	169,4768	5784,19
2.	45°	214,6091	6770,00
3.	90°	170,3513	5678,37

Technologia cięcia strumieniem wody jest obecnie najnowocześniejszym i niezwykle dokładnym sposobem obróbki materiałów w porównaniu z metodami konwencjonalnymi cięcia materiałów konstrukcyjnych. Różnice w wartościach σ i Δl wynikają, między innymi, z występowania defektów objętościowych w badanych próbkach. Rozrzut wartości charakterystyk wytrzymałościowych spowodowany kątem cięcia wzmocnienia oraz aspektami technologicznymi procesu infuzji spowodował nagromadzenie się defektów i uszkodzeń w strukturach otrzymanych materiałów (rys. 1).



Rys. 1. Mikrostruktury defektów w laminacie w postaci braku matrycy na granicy włókno-matryca (a) oraz lokalnych nieciągłości włókien (b) z pustkami (1) i mikroszczelinami (2)

Fig. 1. Microstructures of defects in laminate in form of the missing parts in the matrix in the fiber – matrix border line (a) and local non-continuities of fibers (b) with voids (1) and microcracks (2)

Tabela 2

Zamodelowane stałych inżynierskich poprzez modele homogenizacji w próbkach z różnymi kątami cięcia strumieniem wody ($v=3000\text{m/sek}$)

Stałe inżynierskie	Kąt cięcia	Reguła mieszanin [3]	Model Abolinsz'a [1]	Model Wilczyński-Lewiński [2]	Model HRT [4]
E_1 , [GPa]	0^0	4,88 (5,29)	4,36 (5,29)	4,88 (5,29)	4,71 (5,31)
	45^0	4,29	4,29	4,29	4,63
	90^0	4,72	4,72	4,72	5,06
E_2 , [GPa]	0^0	3,96 (4,09)	4,07 (5,33)	4,17 (4,89)	0,96 (1,83)* 7,7E-06 (4,88)**
	45^0	3,94	4,05	4,12	0,93* 7,7E-06**
	90^0	4,11	4,25	4,39	1,06* 7,7E-06**
G_{12} , [GPa]	0^0	1,97 (1,97)	1,54 (1,97)	2,43 (2,43)	2,71 (2,71)* 0,36 (0,36)**
	45^0	1,97	1,52	2,43	2,71* 0,36**
	90^0	1,97	1,62	2,43	2,71* 0,36**
G_{32} , [GPa]	0^0	1,89 (1,89)	1,54 (1,67)	2,97 (2,97)	-
	45^0	1,89	1,61	2,97	-
	90^0	1,89	1,53	2,97	-
ν_{12}	$0^0, 45^0, 90^0$	0,58 (0,58)	0,33 (0,33)	0,31 (0,31)	0,33 (0,33)* 0,32 (0,32)**

* $k=0$ - w których włókna są odseparowane od siebie, ** $k=1$ - włókna stykają się ze sobą

W celu porównania własności mechanicznych zaprojektowanego materiału wykorzystując modele homogenizacji wyznaczone zostały wartości eksperymentalnych (w nawiasach) z zamodelowanymi stałe inżynierskie dla kompozytu wytworzonego techniką infuzji (tabeli 2). Dane z obliczeń stałych technicznych zamieszczone w tabeli 2 wykazują wysoką zgodność wartości modułu Young'a (E_1) i G_{12} oraz liczby Poissona (ν_{12}) we wszystkich zastosowanych modelach. Pozostałe stałe materiałowe (E_2 , G_{32}) wykazują znaczny rozrzut

z wartościami eksperymentalnymi. Moduł E_2 laminatu 2-kierunkowego $\pm 45^\circ$ ciętego pod kątem 45° posiada 94% zgodność wartości otrzymanej z eksperymentu z wartością zamodelowaną modelem Wilczyński-Lewiński, czy HRT (dla struktur gdzie włókna stykają się ze sobą). Pozostałe modele o 10% przekraczają (Abolinsh'a) lub o 20% poniżają (mieszanin) wartość E_2 przy kącie cięcia 45° .

Zwiększenie kąta cięcia z 45° do 90° lub cięcie w kierunku ułożenia włókien (0°) próbki z laminatu dwuwarstwowego, ilustruje różnicę w obliczonych wartości E_2 do 20%. Natomiast wartość E_1 (w kierunku ułożenia włókien) zamodelowane modelami homogenizacji (mieszanin, Wilczyński-Lewiński, Abolinsh'a, czy HRT) nie pokrywa się z eksperymentalnymi, a jego różnica sięga 16%. Zwiększenie kąta cięcia strumieniem wodnym do 45° i 90° niweluje i zwiększa różnicę wartości stałej technicznej E_1 odpowiednio o ok. 8% i 17% w porównaniu z cięciem w kierunku włókien.

3. Wnioski

W wyniku przeprowadzonych badań i analiz stwierdzono:

- zmiany właściwości mechanicznych warstw w odniesieniu do działania obciążenia przy cięciu w różnych kierunkach kompozytu dwukierunkowego;
- wzrost σ i E kompozytu warstwowego ciętego strumieniem wody pod kątem 45° odpowiednio o 16% i 15% niż po cięciu pod kątami 0° i 90° ;
- zgodność stałych technicznych (G_{12} , G_{32} , ν_{12}) otrzymanych z modelowania eksperymentalnych modeli homogenizacji (Mieszanin, Wilczyński-Lewiński, Abolinsh'a, ...), czego nie można powiedzieć o wartościach E_1 i E_2 ;
- 94% zgodność wartości E_2 otrzymanej z eksperymentu i obliczeń modelem Wilczyński-Lewiński i HRT, przy cięciu laminatu pod kątem 45° ;
- przekroczenie o 10% i понижение o 20% wartość E_2 przy kącie cięcia 45° odpowiednio modelem Abolinsh'a i mieszanin;
- różnicę w obliczonych wartościach stałej technicznej E_2 do 20% przy zwiększeniu kąta cięcia z 45° na 90° i w kierunku ułożenia włókien (0°);
- różnicę zamodelowaną 16% wartości E_1 w porównaniu z eksperymentalną.

Literatura

- [1] А бо л и н ь ш П.С., *Тензор податливости однонаправленного армированного упругого материала*, Механика Полимеров, №4, 1965, 52-59.
- [2] W i l c z y ń s k i A., L e w i ń s k i J., *Predicting the properties of unidirectional fibrous composite with monotropic reinforcement*, Composite Science and Technology, №z. 55/1995, 139-143.
- [3] J o n e s R. M., *Mechanics of Composite Materials*, Taylor&Francis, London 1999.
- [4] Z o h d i T., W i l g g e r s P., *Aspects of the computational testing of the mechanical properties of microheterogeneous material samples*, Internat. J. of Nim. Metch. in Eng. 50/2001, 2573-2599.

- [5] Fish J. editor, *Computational advances in modeling composites and heterogeneous materials*, J. Computer Meth. Appl. Mech. Engeng, 1999, 172 (1-4).
- [6] Chatys R., *Modeling of Mechanical Properties with the Increasing Demands in The Range of Qualities and Repeatability of Polymers Composites Elements*, Monograph Polymers and Constructional Composites, 36-47.
- [7] Chatys R., Chatys I., Kleinhofs M., *Modelling the Effect of the Service Conditions on the Strength of Fiber Glass-Reinforced Polymer-Matrix Composite*, Materials XI Seminar „Plastics in machine design”, Cracow 2006, 123-126.
- [8] Chatys R., *Effect of Technological Aspects on the Mechanical Properties of Polymer Composites of the Reinforced of Glass Fibers*, Scientific Conference „Nets and installations from the plasmas”, 19-21.10.2005, Beskid/k.Ustroń, 43-48.
- [9] Jorż K., Chatys R., *The influence of the technological parameters on the Quality of Reinforced Polymer-matrix Composite Materials Produced by the Injection Methods*, „Terotechnologia'2006”, Journal ”Mechanics”, N₀. 87, Kielce, 27-29.09.2006.