

Zastosowanie miar topologicznych w ocenie jakości kompozytów włóknistych

Stanisław Płaska¹, Piotr Wolszczak²

Streszczenie

W artykule zaprezentowano metodę oceny jakości kompozytów włóknistych. W prezentowanym przypadku jako kryterium jakości przyjęto równomierność rozmieszczenia ciągłych włókien szklanych obserwowanych w przekroju poprzecznym do kierunku ich ułożenia. Równomierność rozmieszczenia oceniono używając miary entropii topologicznej. Ocenie poddano 3 grupy próbek różniące się udziałem szkła i średnicą włókien. Otrzymane wartości entropii topologicznej dla grup próbek nie różniły się istotnie i można je uznać jako charakteryzujące zastosowany proces technologiczny.

Wstęp

Ze względu na swoje właściwości materiały kompozytowe znajdują coraz szersze zastosowanie w produkcji maszyn i urządzeń [1]. Rozwój technik wytwarzania materiałów kompozytowych pozwala na ich stosowanie w procesach produkcyjnych małych i średnich firm [2, 3]. Stosowana obecnie kontrola jakości materiałów kompozytowych obejmuje kontrolę udziałów fazy zbrojącej i osnowy oraz próby wytrzymałościowe próbek materiału.

Dla kompozytów zbudowanych z włókien szklanych i żywicy charakterystycznym sposobem zniszczenia jest rozwój mikropęknięć [4, 5]. Obecność takich wad jak pęcherze gazowe czy aglomeracje stykających się elementów zbrojących powoduje osłabianie materiału kompozytowego. Na koncentrację naprężeń w warunkach obciążenia wpływa również równomierność rozmieszczenia elementów fazy zbrojącej [6].

Istotnym wydaje się prowadzenie badań w kierunku określenia stopnia nieregularności rozmieszczenia elementów zbrojenia powodującego istotne osłabienie wytrzymałości materiału kompozytowego. W tym celu opracowywane są i testowanego różnego typu miary nieregularności rozmieszczenia.

Przedmiot badań i przygotowanie próbek

Przedmiotem badania są próbki o wymiarach 4x15x120[mm] zbudowane z włókien szklanych ciągłych, żywicy epoksydowej oraz utwardzacza, wykonane metodą przesycania pasm i ręcznego formowania. Próbki tego typu, przygotowywane zgodnie z normą stosowane są jako próbki-świadki w procesie produkcji dźwigarów łopat śmigłowych. Poddaje się je testom wytrzymałościowym na zginanie.

Przygotowano 3 grupy próbek z włókien szklanych typu E, żywicy epoksydowej Epidian 5 i utwardzacza MM (utwardzacz o podwyższonej wytrzymałości w temperaturze Martensa). Grupy próbek były zróżnicowane pod względem średnicy włókien i udziału objętościowego szkła.

Przekroje próbek-świadków w formie zglądów przygotowano do mikroskopowej oceny rozmieszczenia włókien. Przygotowanie polegało m.in. na trawieniu szlifowanej powierzchni zglądu co znacznie poprawiło jakość otrzymanych zdjęć mikrostruktury. Przykładowy widok mikrostruktury kompozytu wzmocnionego włóknami przedstawiono na rys. 1.

Korzystając z obrazów mikroskopowych przygotowano modele struktur próbek kompozytów. Model struktury obejmuje współrzędne lokalizacji (x , y) i średnice (d) wszystkich przekrojów włókien widocznych na obrazie. Modele wygenerowane zostały przy użyciu komputerowego systemu pomiarów wizyjnych opracowanego w Katedrze Automatykacji Politechniki Lubelskiej.

Entropia topologiczna jako właściwość globalna budowy mikrostrukturalnej kompozytu

Równomierność rozmieszczenia włókien oceniana jest na podstawie o pomiarów ilościowych prowadzonych w losowo lub systematycznie rozmieszczonych obszarach testowych lub na podstawie pomiarów geometrycznych otoczenia pojedynczych włókien. Z rejestrowanych wielkości geometrycznych obliczane są statystyki i tworzone rozkłady [7].

¹ prof. dr hab. inż. Stanisław Płaska, Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Automatykacji, ul. Nadbystrzycka 36a, 20-618 Lublin

² mgr inż. Piotr Wolszczak, Politechnika Lubelska, Wydział Mechaniczny, Katedra Automatykacji, ul. Nadbystrzycka 36a, 20-618 Lublin, e-mail: p.wolszczak@pollub.pl

Dla rejestrowanych podstawowych wielkości geometrycznych lub topologicznych zazwyczaj wykonywana jest operacja teselacji polegająca na podziale przekroju kompozytu na obszary otaczające pojedyncze włókna. Obszary wydzielane są w formie wieloboków, których krawędzie stanowią odcinki prostopadłe do linii łączących środki sąsiadujących włókien. Krawędzie wieloboków rysowane są w punkcie dzielącym na dwie równe części dystans pomiędzy środkami lub krawędziami włókien. Przykład podziału przedstawia rys. 2.

W prezentowanym przykładzie jako miarę rozmieszczenia przyjęto entropię topologiczną opisaną w pracy [8], wyrażoną wzorem:

$$S = -\sum_{n=1}^k p_n \ln p_n \quad [8],$$

w którym p_n oznacza częstość wystąpienia wieloboku o liczbie boków równej n .

Charakteryzuje ona losowość położenia środków włókien opierając się na kształtach wieloboków teselacji.

W badaniach symulacyjnych wykazano, że kształt wieloboków teselacji ma wpływ na rozkład naprężeń na granicy interfejsy oddzielającej fazy zbrojenia i osnowy [8, 9].

Przykładowe wyniki rozmieszczenia włókien

Rys. 1 i Rys. 2 prezentują obrazy przekrojów o ekstremalnych wartościach entropii topologicznej.

Rys. 1 Widok wycinka mikrostruktury kompozytu (a) o wartości entropii topologicznej $S=1,59$ oraz modelu (b) obserwowanego układu włókien i wieloboków teselacji

Rys. 2 Widok wycinka mikrostruktury kompozytu (a) o wartości entropii topologicznej $S=1,06$ oraz modelu (b) obserwowanego układu włókien i wieloboków teselacji

Analizowane grupy próbek zróżnicowane były objętościową zawartością szkła (48 i 31 [%]) oraz średnicą włókien zbrojących (10 i 16 [μm]). Średnie wartości entropii dla próbek użytych w eksperymencie zawierały się w zakresie od 1,32 do 1,41. Wartości podstawowych statystyk dla entropii topologicznej poszczególnych grup próbek przedstawia **Błąd! Nie można odnaleźć źródła odwołania..**

Tabela I: Statystyki wartości entropii topologicznej dla poszczególnych grup próbek

Numer grupy	Średnica włókien	Udział objętościowy szkła	Średnia entropia topologiczna	Odchylenie standardowe	Minimum	Maksimum
	[μm]	[%]	\bar{S}	σ_S	S_{\min}	S_{\max}
1	16	48	1,32	0,11	0,94	1,63
2	10	48	1,34	0,12	1,01	1,71
3	10	31	1,41	0,10	1,13	1,66

Porównując otrzymane wartości miary rzeczywistych próbek z wartościami symulowanymi przedstawionymi w pracy [8] określić można podobieństwo do zaprezentowanych w niej modeli rozmieszczenia włókien. Wartość topologicznej miary rozmieszczenia sugeruje podobieństwo do modelu o nazwie „Hard-core 2”, zaprezentowanego na Rys. 3.

Rys. 3 Przykład rozmieszczenia włókien zbrojenia w kompozycie wygenerowany wg modelu typu „Hard-core” [8]

W modelu tym wszystkie włókna były o jednakowej średnicy, a pozycje włókien generowane były z ograniczeniem minimalnej odległości środków włókien równej średnicy włókien. Oznacza to, że dopuszczano obecność stykających się włókien.

Otrzymane wyniki wyraźnie odróżniają model rzeczywistego rozmieszczenia włókien w badanych próbkach od modelu czysto losowego i klastrowego, w którym włókna tworzą wyraźne skupiska, a wartość entropii topologicznej osiągała wartości ponad 1,5.

Wnioski

Zgodnie z wynikami pracy [8] próbki rzeczywiste bardzo rzadko są czysto przypadkowe lub doskonale regularne. W ocenie wpływu rozmieszczenia włókien zbrojenia na właściwości wytrzymałościowe materiałów kompozytowych uwagą należy objąć modela, które w dostatecznym stopniu opisują właściwości materiałów rzeczywistych. Stosowane modele powinny w taki sposób charakteryzować budowę mikrostrukturalną kompozytów, aby możliwe było za pomocą niewielkiego obszaru modelowego scharakteryzowanie budowy mikrostruktury.

Literatura

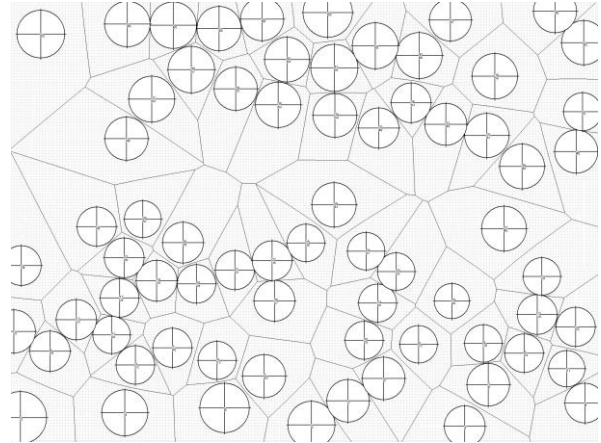
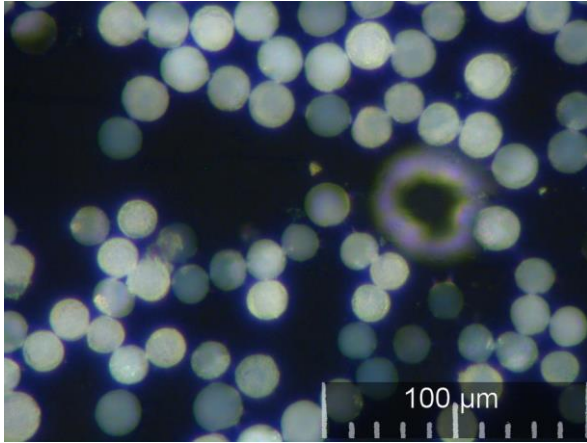
- 1 Jones R.: Mechanics of composite materials. Taylor & Francis, Inc., USA 1999.
- 2 Biuletyn informacyjny IRC: Holenderski ośrodek IRC zachęca klientów do planowania innowacji. CORDIS – Articles on Innovation. <http://cordis.europa.eu/aoi/article.cfm?article=1741&lang=pl>, Listopad 2006.
- 3 Kurzeja L.: Wytwarzanie i stosowanie usieciowanych polimerów. Chemik, t. 57 s. 162; 2004.
- 4 Pyrz R., Vejen N.: Transverse crack growth in glass/epoxy composites with exactly positioned long fibres. Part I: experimental. Composites: Part B 32, s. 557-564, 2001.
- 5 Pyrz R., Vejen N.: Transverse crack growth in glass/epoxy composites with exactly positioned long fibres. Part II: numerical. Composites: Part B 33, s. 279-290, 2002.
- 6 Ganguly P., Poole W.J.: Influence of reinforcement arrangement on the local reinforcement stresses in composite materials. Journal of the Mechanics and Physics of Solids. Nr 52, s. 1355-1377, 2004.
- 7 Kurzydłowski K.J., Ralph B.: The quantitative description of the microstructure of materials. CRC Press, 1995.
- 8 Pyrz R., Bochenek B.: *Topological disorder of microstructure and its relation to the stress field*. Int. J. Solids Structures t. 35, nr 19, s. 2413-2427, 1998.
- 9 Al-Osatt A., Jasiuk I.: Crack initiation and propagation in materials with randomly distributed holes. Engineering Fracture Mechanics, t. 58, nr 5-6, s.395-420, 1997.

Application of topological measure in quality estimation of fibers composites materials

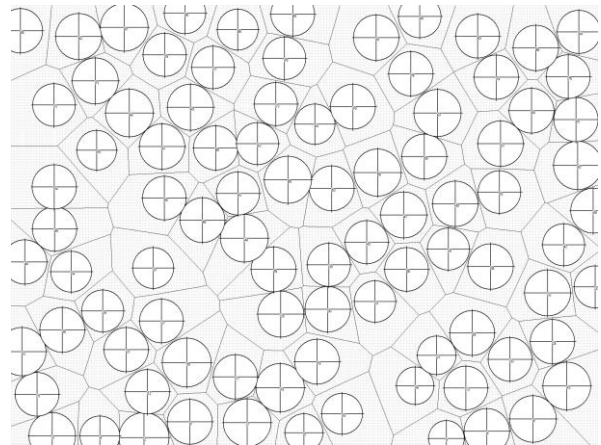
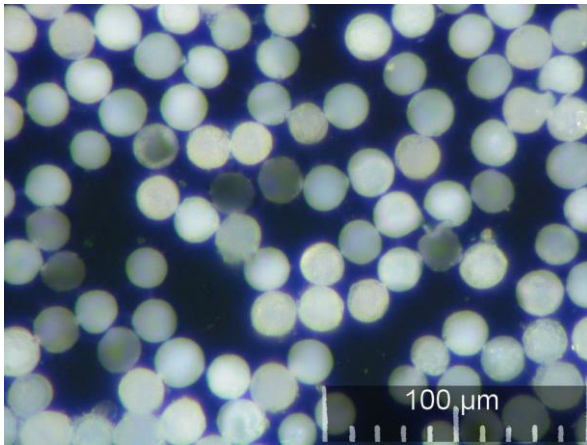
Summary

In his paper quality method of quality estimation of fibers composites materials is presented. As quality criterion the uniformly distribution of long glass-fibers in perpendicular plane is defined. For estimation of fibers distribution the topological entropy is applied. In this case three groups of samples are examined. These groups are differ in properties: volume percentages of glass phase and fibers diameters. Obtained topological entropy results for different groups are not essentially vary and it is possibility to admit them as characteristically for technological process.

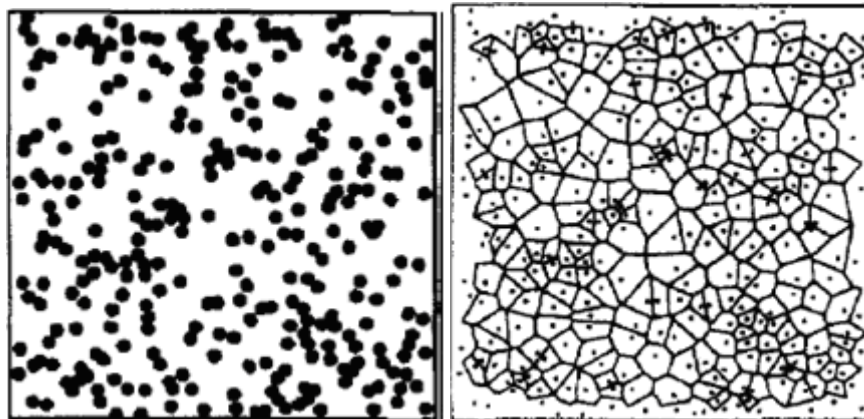
W artykule zaprezentowano metodę oceny jakości kompozytów włóknistych. W prezentowanym przypadku jako kryterium jakości przyjęto równomierność rozmieszczenia ciągłych włókien szklanych obserwowanych w przekroju poprzecznym do kierunku ich ułożenia. Równomierność rozmieszczenia oceniono używając miary entropii topologicznej. Ocenie poddano 3 grupy próbek różniące się udziałem szkła i średnicą włókien. Otrzymane wartości entropii topologicznej dla grup próbek nie różniły się istotnie i można je uznać jako charakteryzujące zastosowany proces technologiczny.



Rys. 4 Widok wycinka mikrostruktury kompozytu (a) o wartości entropii topologicznej $S=1,59$ oraz modelu (b) obserwowanego układu włókien i wieloboków teselacji



Rys. 5 Widok wycinka mikrostruktury kompozytu (a) o wartości entropii topologicznej $S=1,06$ oraz modelu (b) obserwowanego układu włókien i wieloboków teselacji



Rys. 6 Przykład rozmieszczenia włókien zbrojenia w kompozycie wygenerowany wg modelu typu „Hard-core” [8]