

Е.А. Абраменко, Н.Н. Минакова

Анализ макроструктуры нанокompозита по обобщенному топологическому параметру

На сегодняшний день создание наноиндустрии является важным и перспективным для большинства развитых стран. Успешно развивается получение новых материалов с использованием нанонаполнителей, способных на порядки изменять свойства исходных материалов [1].

В рамках указанного направления ведутся работы по созданию методов экспериментов, позволяющих исследовать структуру и свойства композиционных материалов с наноструктурным наполнителем. Такие методы исследования представляют большой интерес, прежде всего в связи с тем, что позволяют не только исследовать полученные материалы, но и создать модель, способную предсказать структуру материала, обладающего определенными, заранее заданными, свойствами.

В данной работе поставлена задача разработки компьютерного метода, позволяющего различать

изображения макроструктур композиционных материалов с наноструктурными компонентами.

Были исследованы микрофотографии композиционных материалов, представляющие собой полиэтилен высокого давления с добавлением микрочастиц наполнителя. Использовались различные наполнители – алюминий (AL), оксид алюминия (AL_2O_3) и нитрат алюминия (ALN), полученные в НИИ высоких напряжений г. Томска. Концентрации изменялись следующим образом: 0,75; 1,5 и 3% (см. рис. 1).

Все операции с изображениями, а также вычисление всех параметров проводились при помощи высокоуровневого языка математического моделирования MATLAB. Предварительно проводилась обязательная работа по улучшению исходных изображений: уровни всех гистограмм были приведены к общему среднему значению [2, 3]. Затем исходные снимки были пере-

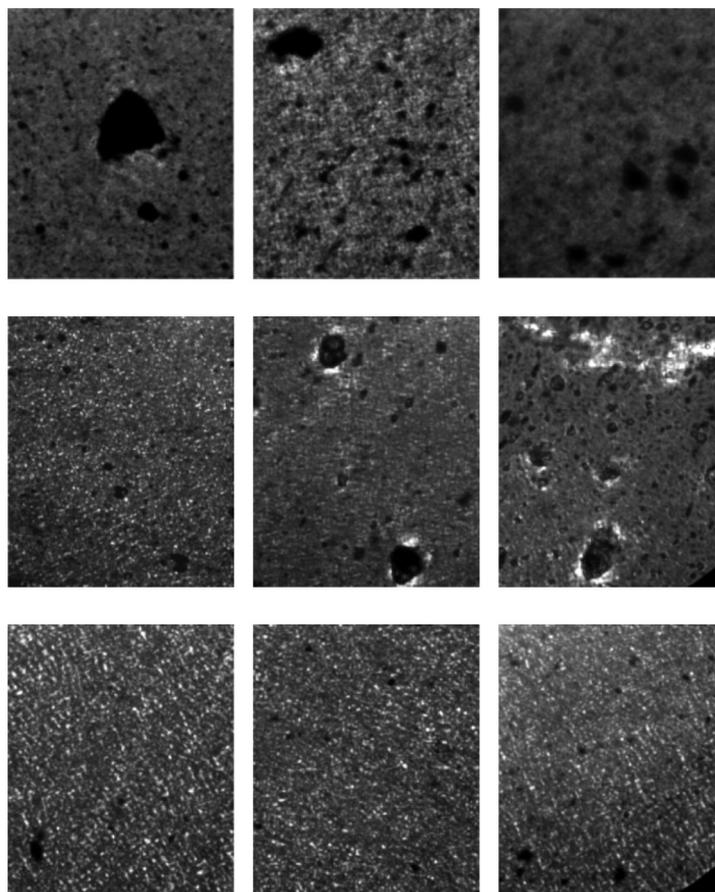


Рис. 1. Изображения макроструктуры нанокompозитов (фотографии получены в НИИ высоких напряжений, Томск)

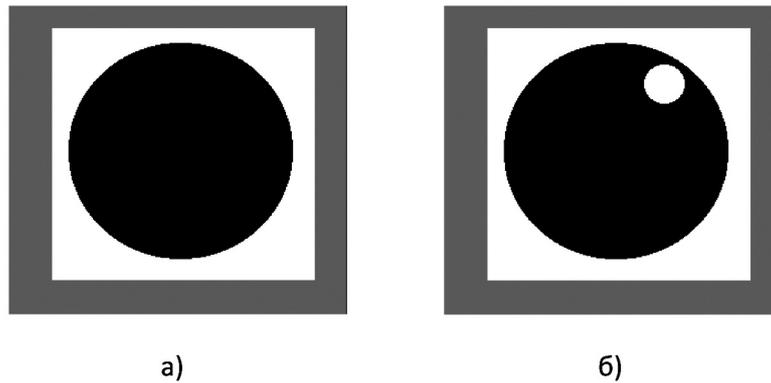


Рис. 2. Значение числа Эйлера в случае: а) 0; б) 1

ведены в черно-белый режим, где белый цвет соответствует полимерной матрице, а черный – объектам наполнителя.

Для анализируемых изображений был подсчитан коэффициент заполненности, который равен отношению площади объекта к площади ограничивающего его прямоугольника. В таблице 1 приведены полученные значения.

Таблица 1
Значение коэффициента заполненности при разных концентрациях наполнителя

Концентрация	AL	AL2O3	ALN
0,75	0,9467	0,9790	0,9789
1,5	0,9705	0,9534	0,9781
3	0,9511	0,9542	0,9622

Оказалось, что значения выбранного параметра для анализируемых изображений макроструктуры различаются слабо, т.е. практически невозможно распознать фотографии материалов с различной концентрацией наполнителя. Можно полагать, что из-за схожести объектов на изображении по форме отношение их площадей к площади ограничивающего прямоугольника мало отличается.

Далее было подсчитано значение эксцентриситета эллипса по алгоритму [4], реализованному с помощью специальной функции в MATLAB. Значение также оказалось малоинформативным (см. табл. 2).

Таблица 2
Значение эксцентриситета эллипса с главными моментами инерции, равными главным моментам инерции объектов

Концентрация	AL	AL2O3	ALN
0,75	0,5765	0,5800	0,5788
1,5	0,5738	0,5554	0,5818
3	0,5724	0,5869	0,5635

Далее определялась еще одна топологическая характеристика изображения – число Эйлера. Исполь-

зован следующий алгоритм: черно-белое изображение сканируется поточечно; каждый черный пиксель относится к объекту (в нашем случае – это наполнитель), каждый белый – к «дырке» (т.е. к полимерной матрице). Затем от полученного количества объектов отнимается полученное количество «дырок», причем сам фон также считается за «дырку». Результат данной операции равен числу Эйлера.

Для выявления возможности оценки исследуемых изображений через число Эйлера рассматривались модельные структуры (рис. 2–4).

На рисунке 2а изображен целый объект (без «дырки») – число Эйлера равно нулю; 2б – объект с «дыркой» – число Эйлера равно 1.

На рисунках 3 и 4 приведены изображения модельного распределения частиц наполнителя в композитах [5, 6]. В данных случаях число Эйлера равно –8 и –3 соответственно. Опираясь на полученный результат, можно полагать, что число Эйлера является обобщенной характеристикой топологии структуры и напрямую связано с концентрацией объекта исследования.

Анализ выбранных объектов исследования (рис. 1), показал, что важным моментом при подсчете числа Эйлера является правильность выбора уровня порога яркости, по которому происходит отнесение точек из градаций серого к черному или белому цвету. Опытным путем были установлены оптимальные

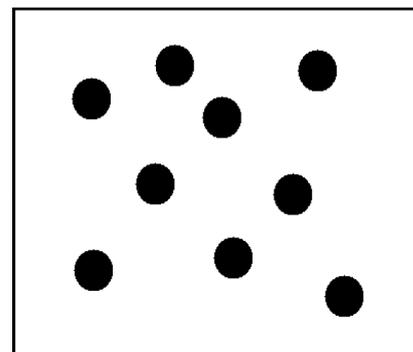


Рис. 3. Распределение частиц наполнителя в композитах

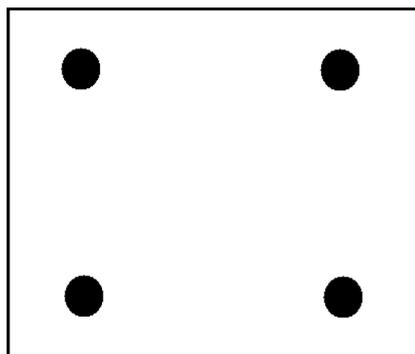


Рис. 4. Распределение частиц наполнителя в композитах

уровни порога яркости для каждой фотографии, так как применение единого для всех фотографий порога не давало верного результата. Значения полученных чисел Эйлера приведены в таблице 3.

Таблица 3
Значение числа Эйлера для объектов, представленных на рисунке 1

Концентрация	AL	AL ₂ O ₃	ALN
0,75	-28	-119	-265
1,5	-35	-198	-275
3	-49	-227	-285

Оказалось, что значение числа Эйлера реагирует на изменение концентрации объекта: с увеличением

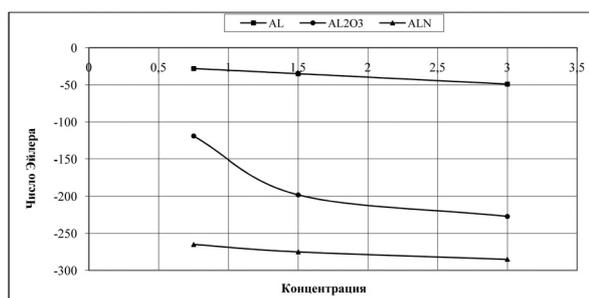


Рис. 5. Зависимость значения числа Эйлера от наполнителя и его концентрации

концентрации происходит уменьшение числа Эйлера, т.е. больше точек на снимке распознаются как точки объекта. Закономерность справедлива для всех трех наполнителей. Оказалось, что число Эйлера различает также изображения макроструктур в зависимости от вида нанокompозита (см. рис. 5).

Таким образом, основываясь на полученных данных, можно принять число Эйлера за параметр, который способен различить макроструктуры нанокompозитов как различной концентрации разных наполнителей. Достоинства такого показателя, на наш взгляд, в том, что он позволяет обобщенно представить топологию макроструктуры нанокompозита. Это дает возможность решать задачи прогнозирования свойств композиционных материалов.

Библиографический список

1. Золотухин И.В., Калинин Ю.Е., Ситников А.В. // Природа. – 2006. – №1.
2. Прэтт, Э. Цифровая обработка изображений : пер. с англ. / Э. Прэтт. – М., 1982.
3. Дуда, Р. Распознавание образов и анализ сцен : пер. с англ. / Р. Дуда, П. Харт. – М., 1976.
4. Журавель, И.М. Краткий курс теории обработки изображений / И.М. Журавель. – М., 1999.
5. Марков, А.В. Влияние процесса изготовления на электрические свойства саженнаполненных стеклоармированных термопластичных композитов / А.В. Марков // Высокомолекулярные соединения. – Сер. А. – 2007. – Т. 49, №1.
6. Крок, П. Современные композиционные материалы : пер. с англ. / П. Крок, Л. Броуман. – М., 1978.