

УДК 90.27.31

*Е.А. Абраменко, Н.Н. Минакова***Метод изучения влияния наноразмерных металлических порошков на свойства наполненного полиэтилена по микрофотографиям структуры**

Развитие науки и техники постоянно повышает требование к качеству используемых материалов. Важную роль играют композиционные материалы, обладающие широким спектром свойств. Одним из распространенных способов изготовления композиционных материалов является смешивание полимеров с дисперсными порошками. На современном этапе в качестве наполнителей все чаще используются материалы с уникальными характеристиками, которыми обладают, например, нанодисперсные порошки. Применение таких наполнителей позволяет добиться более высоких результатов по сравнению с использованием материалов в низкодисперсном состоянии [1–3]. Так, например, улучшается целый комплекс свойств, в том числе механические и электроизоляционные. При этом обычно не требуется значительных изменений в технологии и режимах переработки материалов, что существенно расширяет область применения наполненных полимеров.

Установлено, что на свойства наполненных полимеров влияет множество факторов: химическая природа, размер, форма, удельная поверхность частиц наполнителя и т.д. Причем оказываемое влияние каждого из них не является однозначным. В связи с этим разработка таких материалов требует соответствующих методов исследования структуры, способных предложить подход к осознанному регулированию свойств, приведению их в соответствие с требованиями конкретных условий эксплуатации. В настоящее время эффективные методы и подходы к исследованию макроструктуры дисперсно-наполненных материалов разработаны далеко не в полной мере.

В [4] был предложен метод количественной оценки структуры композиционного материала с наноразмерным наполнителем, который основывался на текстурном анализе. Для количественной оценки использовалось преобразование Фурье, которое применялось к текстурной карте изображения макроструктуры. Оно позволяет оценить периодичность повторения определенной структуры на изображении и сопоставить структуры разных материалов по текстуре.

В качестве объекта исследования выбран полиэтилен высокого давления, хорошо зарекомендовавший себя в качестве изоляции в высоковольтных электрофизических установках [5]. Для наполнения исполь-

зовались порошки с размером частиц менее 1 мкм, существенно различающиеся по своим свойствам: алюминий (Al), оксид алюминия (Al_2O_3) и нитрид алюминия (AlN). Они были получены по разработанной в НИИ ВН электровзрывной технологии [1–2]. Размеры частиц лежат в пределах 0,010–0,35 мкм, с площадью удельной поверхности 6–180 м²/г. Концентрации наполнителя составляли 0,75; 1,5 и 3%.

Были исследованы микрофотографии композиционных материалов, полученные в НИИ высоких напряжений Томского политехнического университета с помощью оптического микроскопа. Как известно, при работе с оптическими снимками возникают проблемы, связанные с влиянием субъективных факторов (неоднородность пучка света по апертуре, изменение интенсивности освещения от снимка к снимку и т.п.).

Отстроиться от них помогает перевод изображения в черно-белый вариант, что было применено нами в [4], либо использование фотографий, полученных при помощи электронного микроскопа.

В данном исследовании были поставлены следующие задачи:

- проверить применимость метода, предложенного в [4], на снимках с электронного микроскопа;
- оценить возможность установления соответствия между структурой и свойствами в рамках предложенного метода.

Были изучены электронные снимки структур тех же материалов, которые анализировались в [4] по снимкам с оптического микроскопа. Использовались микрофотографии, полученные в лаборатории НИИ высоких напряжений (г. Томск) (рис. 1–3) [6].

Для исследования снимков, полученных при помощи электронного микроскопа, по изображению выделялась текстурная карта [4]. На рисунке 4 в качестве примера представлены электронный снимок и его текстурная карта для полиэтилена, наполненного ALN с концентрацией 3%.

Результаты оценок по текстурным картам (количественно охарактеризованным значением преобразования Фурье) сравнивались с величинами степени кристалличности, полученными для выбранных объектов исследования (данные по степени кристалличности приведены в [6]). Оказалось, что характер

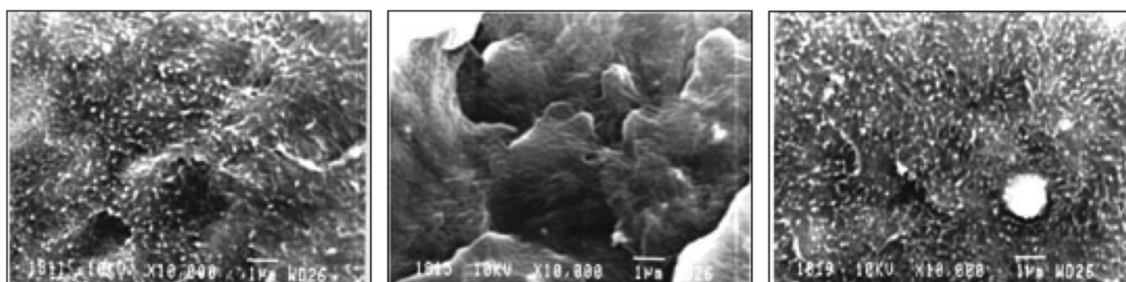


Рис. 1. Электронные микрофотографии полиэтилена, наполненного Al

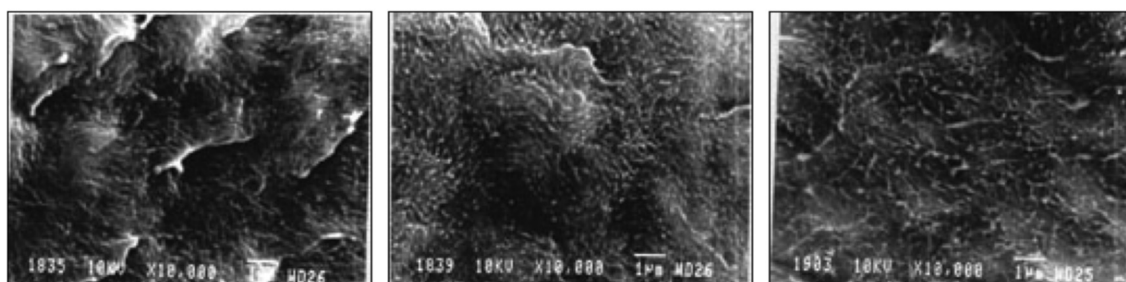


Рис. 2. Электронные микрофотографии полиэтилена, наполненного Al_2O_3

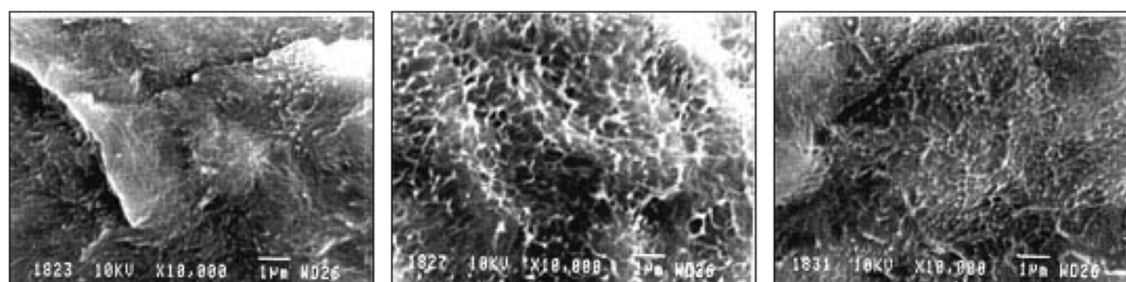


Рис. 3. Электронные микрофотографии полиэтилена, наполненного AlN

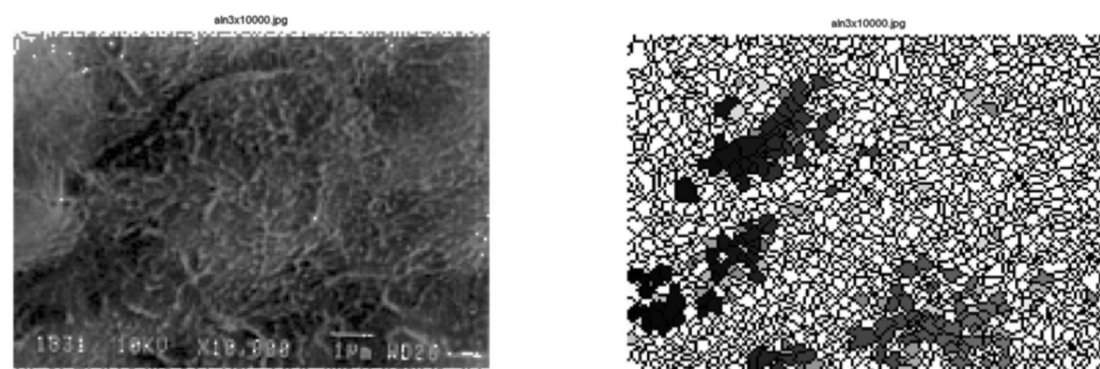


Рис. 4. Исходный снимок и его текстурная карта

зависимостей от концентрации значения преобразования Фурье схож с закономерностью изменения от концентрации степени кристалличности исследуемых объектов (рис. 5).

Так как степень кристалличности непосредственно влияет на структуру материала, можно полагать, что

значение преобразования Фурье реагирует на структурные изменения.

Для проверки применимости предложенного метода к выявлению закономерностей «структура-свойства» были сопоставлены графики зависимости от концентрации градиента перепадов яркости на

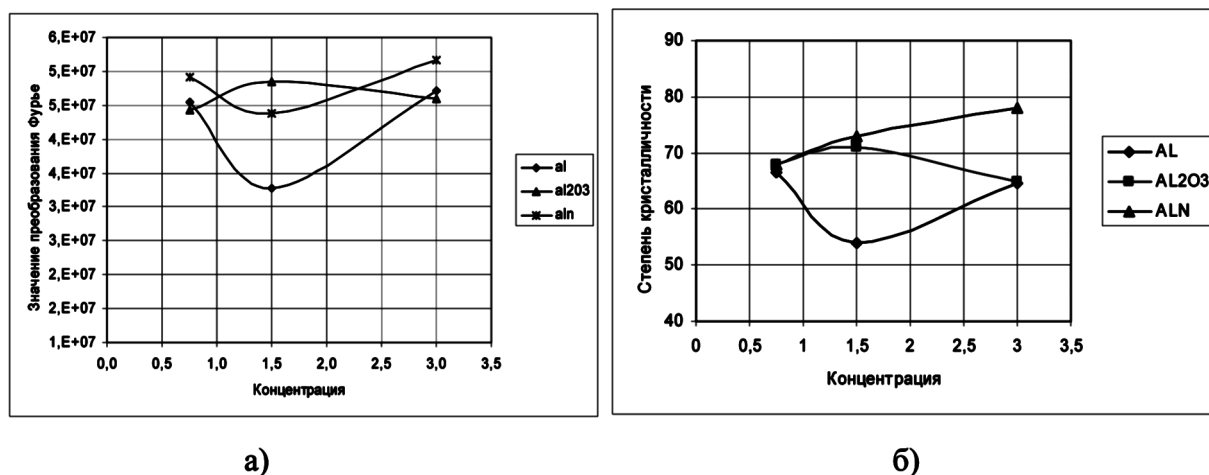


Рис. 5: а) зависимости значения преобразования Фурье от концентрации
и б) зависимости степени кристалличности от концентрации

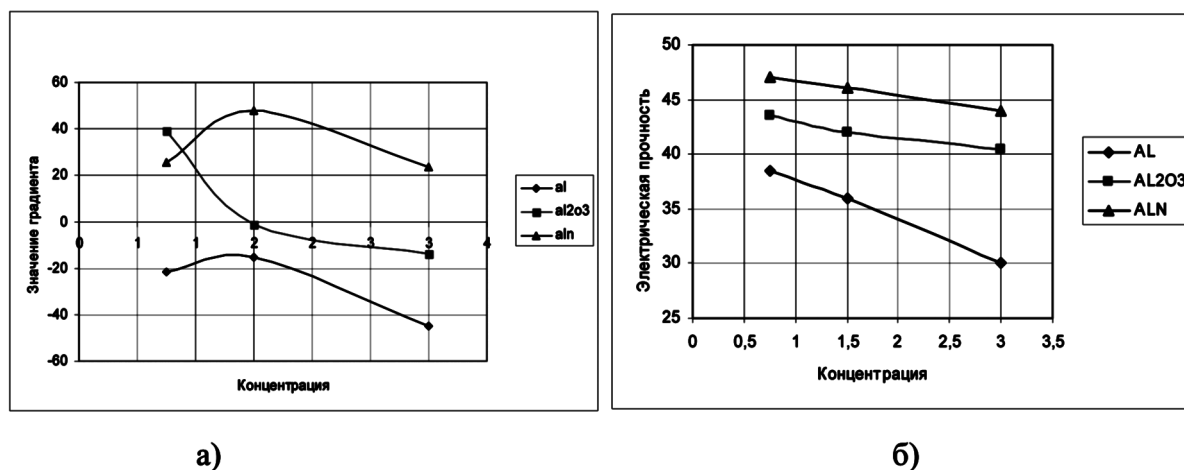


Рис. 6: а) зависимости значения градиента перепадов яркости от концентрации
и б) электрической прочности от концентрации

изображении и электрической прочности материалов по данным, приведенным в [2, 6].

Результаты оценок представлены на графиках (рис. 6).

Приведенные данные показывают, что метод не только реагирует на степень кристалличности полимера, но и различает материалы по свойствам.

Таким образом, метод, предложенный в [4], работает как для оптических снимков, так и для электронных.

Выбранные объекты исследования различаются по степени активности наполнителя [2, 6]. Поэтому результаты, представленные на рисунках 5–6, позволяют полагать, что обработка текстурных карт изображения структуры объектов с помощью преобразования Фурье дает возможность изучать соотношения «структура–свойства», в том числе и при различной активности наноразмерных металлических порошков.

Библиографический список

1. Назаренко, О.Б. Электровзрывные нанопорошки: получение, свойства, применение / О.Б. Назаренко; под ред. А.П. Ильина. – Томск, 2005.
2. Филиппов, П.В. Использование ультрадисперсного нитрида алюминия в качестве наполнителя полиэтилена высокого давления / П.В. Филиппов, Б.В. Шамаков,

- И.И. Сквирская, В.Я. Ушаков, А.П. Ильин // Физико-химия ультрадисперсных (нано) систем : тез. VI междунар. конф. – М., 2002.

3. Минакова, Н.Н. Оценка стабильности электрофизических и механических свойств наполненных полимеров по результатам структурных исследований / Н.Н. Мина-

кова, П.В. Филиппов // Энергетика: экология, надежность, безопасность : материалы докл. пятой Всерос. науч.-техн. конф. – Томск, 1999.

4. Абраменко, Е.А. Исследование свойств полиэтилена с наноразмерными наполнителями специальной обработкой изображений макроструктуры / Е.А. Абраменко, Н.Н. Минакова, В.Я. Ушаков // Известия вузов. Физика. – 2008. – №7.

5. Ушаков, В.Я. Электрическое старение и ресурс монолитной полимерной изоляции / В.Я. Ушаков. – М., 1983.

6. Филиппов, П.В. Исследование свойств наполненного полиэтилена / П.В. Филиппов, И.М. Крюкова // Современные техника и технологии СТТ-2000 : труды VI междунар. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых. – Томск, 2000.