

УДК:621.762.2

МОДЕЛИРОВАНИЕ НОВЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПОЛУЧЕНИЯ ЭЛЕКТРЕТНЫХ ВОЛОКОН



А.Г.Кравцов
Профессор
кафедры ИПиЭ
БГУИР,



М.В.Тумилович
Начальник
управления
подготовки
научных кадров
вышей
квалификации
БГУИР



Л.П.Пилиневич
Профессор
кафедры ИПиЭ
БГУИР, доктор
технических
наук, профессор,



С.В.Зотов
Ведущий
научный
сотрудник
отдела



С.С.Карпов
Начальник бюро
охраны труда
отдела охраны
труда и
промышленной
безопасности

¹ Белорусский Государственный университет информатики и радиоэлектроники, П. Бровки, 6, Минск, 220013, Беларусь, tumilovich@bsuir.by

² Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А.Белого Национальной академии наук Беларуси», Кирова, 32А, Гомель, 246050, Беларусь

³ ОАО «Минский завод колёсных тягачей», аспирант кафедры инженерной психологии и эргономики

А.Г.Кравцов

Профессор кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР, доктор технических наук, профессор.

М.В.Тумилович

Начальник управления подготовки научных кадров вышей квалификации БГУИР, доктор технических наук, доцент.

Л.П.Пилиневич

Профессор кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР, доктор технических наук, профессор, кавалер медали Франциска Скорины.

С.В.Зотов

Ведущий научный сотрудник отдела № 1 «Композиционные материалы и рециклинг полимеров», кандидат технических наук.

С.С.Карпов

Начальник бюро охраны труда отдела охраны труда и промышленной безопасности ОАО «Минский завод колёсных тягачей», аспирант кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР.

Аннотация. Проведено моделирование процесса получения электретных волокон путем пневмоэкструзионной технологии формирования волокон из расплавов смесей полимеров без применения внешней электризации. По разработанной технологии возможно получение более однородных волокнисто-пористых структур и на их основе – формоустойчивых технических изделий, например, волокнистых фильтров со стабильным объемным электретным зарядом.

Ключевые слова: Электретные волокна, полимеры, волокна полиамида, волокна полипропилена, пневмоэкструзия, электризация, волокнисто-пористые структуры, фильтры.

Проведено изучение комплекса физико-химических свойств компатибилизированных смесей полимеров и волокон на их основе методом дифференциально-сканирующей калориметрии (ДСК) [1]. Для исследований были изготовлены пленочные и волокнистые образцы из индивидуальных компонентов и смесей полимеров. Полученные данные по фазовым переходам соотносили с областями релаксации электретьного заряда, определенными методом электретьно-термического анализа (ЭТА) [2] по спектрам термостимулированных токов (ТСТ).

На пленочных образцах установлены значения температур плавления для полиамида (221,33 °С), функционализированного полипропилена (164,69 °С) и их компатибилизированной смеси (164,58 и 220,64 °С). В результате проведенных экспериментальных исследований можно констатировать, что компатибилизация не приводит к возникновению новых фаз и существенно не влияет на характеристики термической стабильности связываемых компонентов. Во всех случаях температуры плавления находятся в границах экстремальных областей на полученных для пленок спектрах ТСТ, при этом спонтанный электретьный заряд в пленочных образцах невелик и возникает по дипольно-ориентационными механизмам в процессе реакционной экструзии. Превалирующая релаксация заряда происходит при температурах фазовых переходов.

На волокнистых образцах также установлены значения температур плавления для полиамида (219,12 °С), функционализированного полипропилена (фПП) (162,77 °С) и их компатибилизированной смеси (165,84 и 218,26 °С). Обращает на себя внимание сдвиг температур плавления всех волокнистых образцов на 1–2 °С – для ПА-6 вниз по температурной шкале, для фПП – вверх. Очевидно, это является следствием пневмоэкструзионной переработки [3]. В процессе melt blowing (выдувания волокон из расплава) происходит некоторое снижение молекулярной массы индивидуальных полимеров ПА-6 и фПП. В то же время благодаря наличию в фПП привитых функциональных групп и дополнительному высокотемпературному окислению макромолекул пневмоэкструзия смесей сопровождается возникновением дополнительного количества связей фПП + фПП и фПП + ПА, что отражается в виде повышения термостабильности полипропиленовой фазы. На фоне вырождения в смесях высокотемпературного пика ТСТ и роста пика ТСТ в диапазоне 160–170 °С это также может свидетельствовать о главенствующей роли функциональных групп фПП в образовании зон локализации электретьного заряда, сформировавшегося по дипольно-ориентационному механизму.

Изучены параметры электретьного эффекта в волокнах из смесей полимеров – полиамида (90 и 70 %) и функционализированного полипропилена (10 и 30 %), далее композиты 90/10 и 70/30. Волокна получали при нескольких вариантах сочетания технологических факторов процесса пневмоэкструзии. Скорость вращения шнека варьировали в пределах от 5 до 30 об/мин, расстояние от фильеры – в пределах от 10 до 40 см. В ряде случаев использовали пластификатор – диоктилфталат – с целью облегчения переработки смеси малосовместимых полимеров. В результате проведенных исследований методом электретьно-термического анализа (ЭТА) получены характеристики и охарактеризованы спектры термостимулированных токов (ТСТ) сформированных в этих условиях смесевых волокон.

Установлено, что при малых (10 об/мин) скоростях вращения шнека экструдера интенсивность характеристических пиков ТСТ в диапазоне температур 140–180 °С составляет $\sim 1,2 \cdot 10^{-11}$ А, что превышает интенсивность пиков ТСТ волокон, сформированных при высоких (более 20 об/мин) скоростях вращения шнека ($\sim 8 \cdot 10^{-12}$ А). Та же закономерность наблюдается для рассчитанных по спектрам ТСТ величин остаточного заряда электрета – для композита 90/10 она составляет соответственно $5,88 \cdot 10^{-19}$ и $4,92 \cdot 10^{-19}$ Кл, а для композита 70/30 – $2,31 \cdot 10^{-18}$ и $1,39 \cdot 10^{-18}$ Кл. При этом существенных сдвигов мультиплетных пиков ТСТ

по температурной шкале не наблюдается. Это свидетельствует о том, что более длительное (при малых скоростях вращения шнека) нахождение разогретого до 350–380 °С расплава смесового композита в цилиндре экструдера ведет к интенсификации взаимодействия компонентов смесей, что стимулирует более выраженную поляризацию по дипольно-ориентационному механизму.

Окислительные процессы при формировании волокон в нагретом воздушном потоке также вносят вклад в электретное состояние, провоцируя возникновение кислородсодержащих функциональных групп в поверхностном слое волокон, вследствие чего также реализуется дипольно-ориентационный механизм поляризации. Однако влияние окисления не столь значимо, что подтверждает отсутствие регистрируемых методом ЭТА различий в параметрах электретного эффекта при варьировании расстояния от фильеры до подложки, т.е. времени нахождения формируемых волокон в воздушном потоке.

Наличие в системе пластификатора (диоктилфталата) не оказывает выраженного влияния на параметры электретного состояния волокон. Однако использование пластификатора позволяет сформировать более упорядоченную волокнисто-пористую систему, что повышает его технологическую роль в процессе получения волокнистых фильтров.

Таким образом, в результате проведенного моделирования установлена взаимосвязь электретного эффекта и технологических режимов формования смесевых волокон. Показано, что более высокий (и, возможно, более стабильный) электретный заряд образуется при интенсификации взаимодействия компонентов. Благодаря наличию в составе смесей полярных групп, склонных к дипольно-ориентационной поляризации, возможно получение электретных смесевых волокон без применения внешней электризации. В таком случае, предположительно, в результате взаимодействия соседних полярных групп образуются ассоциаты, которые являются центрами локализации электретного заряда и участвуют в процессах дипольной ориентации. Дополнительная интенсификация поляризационных эффектов в смесях происходит вследствие термоокислительной деструкции при формовании волокон.

Данные, полученные при экспериментальном исследовании взаимосвязи рецептурных составов смесей, технологических режимов формования волокон и электретного заряда в них, свидетельствуют следующем.

В смесях полимеров имеется определенное количество электрически активных структур, способных к поляризации. Электретный заряд в смесевых волокнах, усиленный в процессе термоокислительного воздействия на них, предпочтительно локализуется на функциональных группах фПП (например, остатках итаконовой кислоты) и их электрически неравновесных ассоциатах (рисунок), которые являются центрами локализации электретного заряда и участвуют в процессах дипольной ориентации. Тем самым, поляризация носит в основном дипольно-ориентационный характер. По-видимому, в смесях состава 30/70 большее количество функциональных групп фПП задействуется в физико-химическом взаимодействии с ПА-матрицей, что несколько снижает их способность к координационному связыванию по схеме, показанной на рисунке, и, соответственно, поляризуемость системы в целом.

Полученные данные хорошо соответствуют ранее установленным закономерностям формирования электретного состояния для смесевых композитов, сформированных посредством динамического смешения в пластографе Брабендера [4]. Имеются основания предположить, что комплекс причин – высокие значения динамических сдвигов в расплаве при реакционной экструзии, интенсивное термическое воздействие на компоненты, наличие в составе фПП полярных функциональных групп, дополнительное термоокисление макромолекул – является ответственным за приобретение смесями полимеров спонтанного электретного заряда.

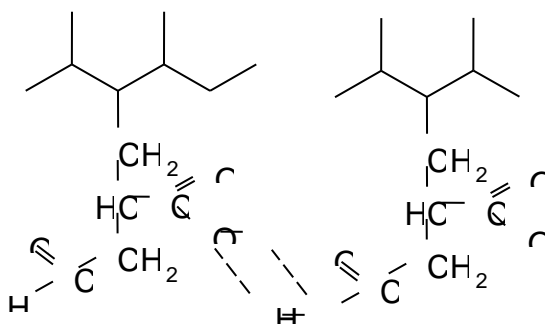


Рисунок 1. – Одна из потенциальных возможностей координационного связывания полярных групп в фПП в электрически неравновесные ассоциаты (пунктирная линия обозначает водородные связи)

Заключение. Проведенное моделирование показало, что из расплава смесей полимеров возможно получение электретных волокон без применения внешней электризации. Дальнейшая адаптация пневмоэкструзионной технологии формирования волокон из расплавов смесей полимеров позволит обеспечить получение более однородных волокнисто-пористых структур и на их основе – формоустойчивых технических изделий, например, волокнистых фильтров со стабильным объемным электретным зарядом. Полученные результаты обладают актуальностью с точки зрения физики конденсированного состояния в плане накопления данных о механизмах формирования электретного состояния в полимерах, а также технологии переработки пластических масс, поскольку расширяется сфера приложения технологии пневмоэкструзионного формирования волокнисто-пористых систем применительно к такому виду полимерного сырья, как смеси волокнообразующих полимеров.

Список литературы

- [1] Хеммингер, В. Калориметрия. Теория и практика/ В. Хеммингер, Г. Хёне. Химия, 1990. – 176 с.
- [2] Кравцов, А.Г. Возможности термоактивационной токовой спектроскопии при изучении электрофизических свойств материалов / А.Г. Кравцов, В.А. Гольдаде, Л.С. Пинчук, С.В. Зотов // Материалы, технологии, инструменты. – 2006. – № 2. – Т. 11. – С. 104–108.
- [3] Патент РФ № 2324523. Способ получения волокнистого композиционного материала с высокой остаточной магнитной индукцией / А.Г. Кравцов, С.В. Зотов // Оpubл. 20.05.2008, бюлл. № 14, заявитель: Государственное научное учреждение «Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого Национальной академии наук Беларуси».
- [4] Энциклопедия полимеров. Т.3. Москва: Советская энциклопедия. – 1977. – с. 289.

MODELING THE PROCESS OF PRODUCING NEW FIBROUS FILTERS WITH STABLE VOLUME ELECTRIC CHARGE

A.G. Kravtsov

Professor of Engineering Psychology and Ergonomics BSUIR, Doctor of Technical Sciences, Professor

M.V. Tumilovich

Head of the Department for the Training of Scientific Personnel of Higher Qualification of BSUIR, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor

L.P. Pilinevich

Professor of Engineering Psychology and Ergonomics BSUIR, Doctor of Technical Sciences, Professor, holder of the Francis Skaryna Medal.

S.V. Zotov

Leading Researcher, Department No. 1 "Composite Materials and Polymer Recycling", State Scientific Institution "Institute of Mechanics of Metal-Polymer Systems named after V.A. Belyi, Ph.D.

S.S. Karpov

Head of the labor protection bureau of the labor protection and industrial safety department of the Minsk Wheel Tractor Plant OJSC, graduate student of the Department of Engineering Psychology and Ergonomics BSUIR

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, P. Brovka, 6, Minsk, 220013, Belarus, tumilovich@bsuir.by

Abstract. Theoretical modeling of the process of clogging (sedimentation) of dispersed particles from the filtered suspension flow in porous permeable materials (MRP) during tangential filtration was carried out. Mathematical expressions have been obtained that allow calculating changes in the structure and properties of the filtering media at the initial stage of the mudding process, taking into account the size distribution of particles of the filtered suspension.

Keywords. Electret fibers, polymers, polyamide fibers, polypropylene fibers, pneumatic extrusion, electrification, fibrous-porous structures, filters.