

тора на частицах наполнителя и активных групп полимера на активированной поверхности модифицированного наполнителя. В совокупности эти процессы улучшают условия для адгезии полимера к частицам активированного наполнителя.

Литература

1. Подобед, Д. Л. Улучшение эксплуатационных свойств композиционных материалов на основе вторичных полиолефинов с использованием дисперсных наполнителей и антипиреновых добавок / Д. Л. Подобед, В. М. Шаповалов // Вестн. Гродн. гос. ун-та им. Я. Купалы. Сер. 6. Техника. – 2020. – Т. 10, № 2. – С. 6–13.
2. Песецкий, С. С. Нанокompозиты, получаемые диспергированием слоистых силикатов в расплавах полимеров (обзор) / С. С. Песецкий, С. П. Богданович, Н. К. Мышкин // Полимерные материалы и технологии. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 7–37.
3. Заикин, А. Е. Совместимость полимеров в присутствии нанонаполнителей / А. Е. Заикин // Вестн. технол. ун-та. – 2020. – Т. 23. – № 3. – С. 53–66.

УДК 537.531:678.073:678.046

**ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ
РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ ВОЛОКНИСТЫХ ПОЛИМЕРНЫХ
КОМПОЗИТОВ**

В. А Банный

Учреждение образования «Гомельский государственный медицинский университет», Республика Беларусь

И. В. Царенко

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Дана характеристика материалов, применяемых в качестве электромагнитных экранов. Установлены основные технологические параметры формирования методом аэродинамического диспергирования расплава волокнистого композиционного радиопоглощающего материала на основе полиэтиленовой матрицы, наполненной магнитомягким ферритом. Методом электронной микроскопии изучены структурные особенности волокнистого радиопоглощающего материала, модифицированного мягкомагнитным ферритом.

Ключевые слова: радиопоглощающие материалы, волокнистые композиционные полимерные материалы, метод аэродинамического диспергирования расплава.

**TECHNOLOGICAL FEATURES OF RADIOABSORBING FIBROUS
POLYMER COMPOSITES FORMATION**

V. A. Bannyi

*Educational Institution “Gomel State Medical University”,
the Republic of Belarus*

I. V. Tsarenko

Sukhoi State Technical University of Gomel, the Republic of Belarus

Characterization of materials for electromagnetic screens was done. Basic technological parameters for formation of fibrous polymer radioabsorbing materials based on modified by soft ferrite polyethylene using the melt blowing technique. Structural features of fibrous soft ferrite containing radio-absorbing material were investigated by electron microscopy technique.

Keywords: radioabsorbing materials, fibrous polymer composites, melt blowing technique.

В связи с интенсивным развитием радио- и электронной техники к естественному фоновому радиоизлучению Земли добавились новые источники электромагнитного излучения. Это, прежде всего, сотовая и спутниковая связь, системы навигации и радиолокации, радиотехнические установки, бытовая и медицинская радиотехника и др. Во многих из этих технических систем используется энергия электромагнитных волн сверхвысоких частот (СВЧ). При эксплуатации радиотехнических систем СВЧ возникают проблемы электромагнитной безопасности. Повышенные уровни электромагнитных полей и излучений оказывают отрицательное влияние на биологические объекты, организм человека. Кроме этого, паразитные переотражения и интерференция электромагнитных волн могут быть серьезным источником помех для эффективного функционирования технических устройств СВЧ. Они обостряют проблему электромагнитной совместимости радиоэлектронных средств и систем защиты информации.

Эффективным средством обеспечения требований электромагнитной экологии, электромагнитной совместимости и электромагнитной безопасности являются электромагнитные экраны. Одним из наиболее перспективных способов экранирования СВЧ-излучений связан с применением полимерных композитных радиополагающих материалов (РПМ) [1–3]. Свою нишу в современном разнообразии РПМ занимают волокнистые полимерные композиты благодаря оптимальному сочетанию свойств. Они легкие и могут работать одновременно как радиопоглотители, теплозащита, шумоизоляция, что обуславливает эффективность их применения в гражданском и военном строительстве для создания маскирующих изделий военного и гражданского назначения. Необходимость такой защиты продиктована тем, что мощный электромагнитный импульс может моментально вывести из строя практически любую незащищенную радио- и электронную технику.

Данная работа посвящена разработке радиопоглощающего волокнистого полимерного композиционного материала на основе полиэтилена. Выбор полиэтилена в качестве полимерного связующего обусловлен выгодным сочетанием его свойств: высокой химической стойкостью, удовлетворительными механическими характеристиками, технологичностью переработки и низкой стоимостью. Основной акцент в исследовании сделан на изучении влияния технологических факторов процесса аэродинамического диспергирования расплава на структурные параметры радиопоглощающих волокнистых полимерных композитов.

Материалы и методика эксперимента. В качестве полимерного связующего использовали полиэтилен высокого давления (ПЭ), (ГОСТ 16803–070). В качестве наполнителя – магнитомягкий феррит (ММФ), (ТУ 6-09-5111–84 марка 2500 НМС). По проведенной ранее рецептурной оптимизации состава материала на образцах, полученных методом термического прессования [4], наилучшие радиопоглощающие характеристики показали материалы, содержащие 38 мас. % наполнителя. В качестве пластификатора использовали диоктилфталат в количестве 0,5 мас. %. Исходные компоненты смешивали и гранулировали, после чего из гранулята формировали волокнистый материал методом аэродинамического диспергирования расплава (метод melt-blowing) [5].

Исследование структурных элементов волокнистого материала, таких как диаметр волокна, плотность упаковки, проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа Leo 982.

Результаты исследования. Структурные особенности волокнистого РПМ определяются множеством технологических показателей процесса аэродинамического диспергирования расплава. Во-первых, плотность и в целом качество упаковки ма-

териала будут определяться достигнутой в результате нагрева в экструдере текучестью расплава полимера. Существует зависимость показателя текучести расплава от распределения температур по зонам экструдера (градиент температур) [5]. Всего в процессе экструзии выделяют три основные температурные зоны, определяющие достигаемую текучесть расплава (рис. 1): зона питания, характеризуемая температурой $T_{пит}$; зона сжатия (зона пластификации), характеризуемая температурой $T_{сж}$; зона дозирования (зона выдавливания), характеризующаяся температурой $T_{доз}$. Очень важной характеристикой при формировании волокна является также температура экструзионной головки $T_{эг}$. Для наиболее эффективного выдавливания экструдата и получения качественного волокна необходимо добиться показателя текучести расплава около 0,2 г/мин. Значения температур в различных областях экструдера устанавливаются экспериментально в зависимости от материала гранулята (полимерной матрицы и наполнителей).

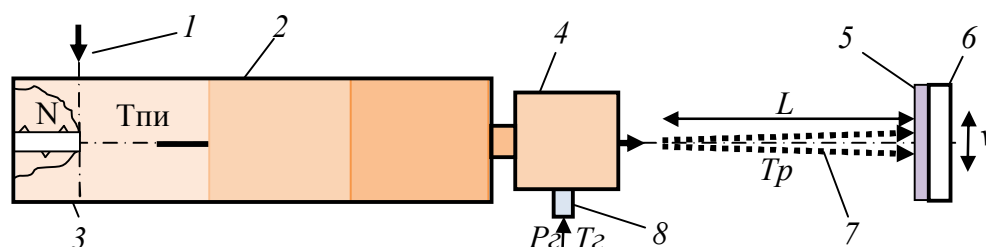
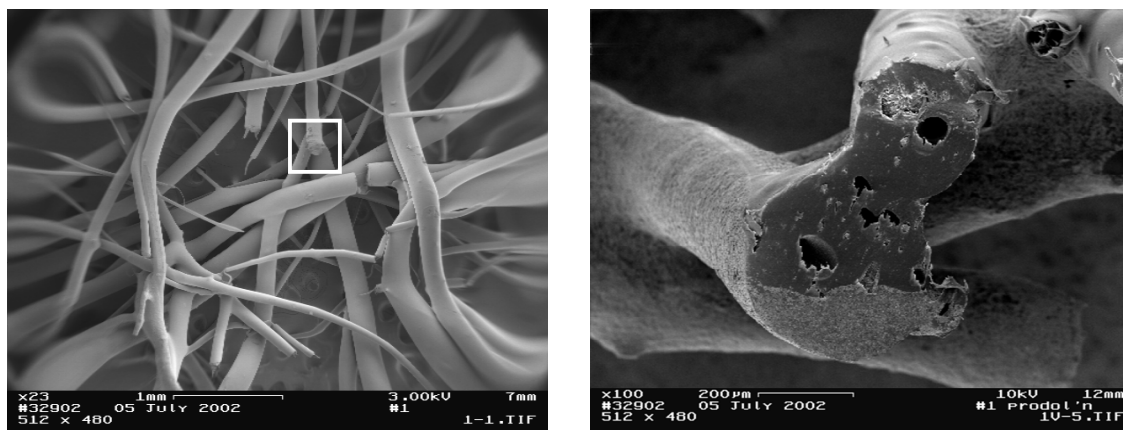


Рис. 1. Схема технологического процесса формирования волокнистого полимерного материала:

1 – бункер; 2 – экструдер; 3 – шнек; 4 – распылительная головка;
5 – волокнистая масса; 6 – формующая подложка; 7 – газополимерный
поток; 8 – патрубок подачи сжатого воздуха

Для исследуемого состава (ПЭ + 38 масс % ММФ) требуемая текучесть расплава достигается при $T_{пит} = 185$ °С, $T_{сж} = 325$ °С, $T_{доз} = 430$ °С, $T_{эг} = 420$ °С. Также на плотность упаковки волокон и их диаметр, прочность когезионного взаимодействия между слоями оказывает влияние частота вращения шнека N , расстояние от сопла до формующей поверхности L , температура распыляющего воздуха P . Экспериментальным путем были определены следующие технологические параметры: $N = 20$ мин⁻¹, $L = 18$ см, $T = 50$ °С. Такие режимы экструдирования позволяют получить структуру, представленную на рис. 2, характеризуемую стабильностью формы, объемной плотностью упаковки 0,3 г/см³, диаметром волокон, изменяющимся в диапазоне от 23 до 320 мкм. Частицы наполнителя не выступают за контуры волокна, не вызывают появления «бусинок» (затвердевших капелек расплава) и других неоднородностей волокнистого каркаса.

По данным электронно-микроскопических исследований нетканые волокнистые РПМ представляют собой совокупность наполненных полимерных волокон, когезионно связанных в местах контакта. Частицы наполнителя (ММФ с размером частиц 10–50 мкм) закапсулированы внутри волокон (рис. 2).



а)

б)

Рис. 2. Электронно-микроскопические изображения:
 а – нетканый волокнистый РПМ состава ПЭ + ММФ (38 мас. %);
 б – поперечный срез волокон

Установлены основные технологические параметры для формирования волокнистого композиционного РПМ на основе полиэтиленовой матрицы, наполненной ММФ, методом аэродинамического диспергирования расплава. Методом электронной микроскопии изучены структурные особенности волокнистого РПМ.

Л и т е р а т у р а

1. Банний, В. А. Радиопоглощающие материалы на основе полимерных композитов как средства защиты от СВЧ-излучения / В. А. Банний, А. В. Макаревич // *Материалы международной науч. конф. по военно-техническим проблемам, проблемам обороны и безопасности, использованию технологий двойного применения*, Минск, 13–16 мая 2003 г. – Минск, 2003. – С. 104–105.
2. Банний, В. А. Радиопоглощающие материалы на основе полимерных композитов как средства обеспечения электромагнитной совместимости и безопасности радиоэлектронных систем / В. А. Банний, А. В. Макаревич, Л. С. Пинчук // *ЭМС-2003 : материалы V Междунар. симп. по электромагнитной совместимости и экологии*, Санкт-Петербург, 2003 г. – СПб., 2003. – С. 95–97.
3. Банний, В. А. Радиопоглощающие материалы на основе наполненного полиэтилена / В. А. Банний, И. В. Царенко // *Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого*. – 2009. – № 3. – С. 3–6.
4. Банний, В. А. Влияние размерных и рецептурных параметров полимерных композитов на их радиофизические характеристики / В. А. Банний, А. В. Макаревич, Л. С. Пинчук // *Докл. Нац. акад. наук Беларуси*. – 2000. – Т. 44, № 4. – С. 109–111.
5. *Melt blowing: equipment, technology and polymer fibrous materials* / L. S. Pinchuk [et al.]. – Berlin : Springer, 2002. – 212 p.