

А. А. Тимофеев¹, В. В. Тимошенко¹, Е. А. Шутова², В. М. Шаповалов¹

¹*Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Республика Беларусь*

²*Мозырский государственный педагогический университет имени И. П. Шамякина, Мозырь, Гомельская область, Республика Беларусь*

ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ СМЕСЕЙ ВТОРИЧНЫХ ТЕРМОПЛАСТОВ

Аннотация. Исследованы физико-механические и технологические характеристики смешанных отходов термопластичных полимеров, в том числе из состава утилизируемых корпусов электронной и электрической техники на основе АБС-пластика. В композиционную систему вводили целевые модифицирующие добавки, обеспечивающие улучшение совместимости полимерных компонентов смесей и стабильные реологические свойства композиции в процессе переработки. Установлено, что поведение вторичных полимеров в смесях друг с другом обуславливается сочетанием их реологических характеристик и других параметров взаимной совместимости, что оказывает значительное влияние на фазовый состав и взаимную упорядоченность микрофаз. Дисперсные добавки вносят существенный вклад в эти процессы, воздействуя на структурирование сопряженных с ними микрообъемов полимера. Целенаправленное регулирование реологических свойств компонентов композиционной системы обеспечит достижение приемлемых и воспроизводимых физико-механических характеристик и технологических показателей процесса, что создаст предпосылки для производства конкурентоспособных изделий с высоким гарантированным сроком службы без применения дефицитного первичного сырья. Разработаны композиционные материалы, адаптированные к стабильной переработке методами экструзии, литья под давлением и пласт-формования в изделия общетехнического назначения с приемлемыми эксплуатационными характеристиками.

Ключевые слова: вторичные термопласты, рециклинг, смеси термопластичных полимеров, экструзия, пласт-формование, модифицирующие добавки, композиционные материалы

Для цитирования: Физико-механические и технологические характеристики композиционных материалов на основе смесей вторичных термопластов / А. А. Тимофеев [и др.] // Вестн. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2020. – Т. 65, № 2. – С. 162–169. <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2020-65-2-162-169>

Aliona A. Timofeenko¹, Vadim V. Timoshenko¹, Ekaterina A. Shutova², Viktor M. Shapovalov¹

¹*V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus*

²*Mozyr State Pedagogical University named after I. P. Shamyakin, Mozyr, Gomel region, Republic of Belarus*

PHYSICO-MECHANICAL AND TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON MIXTURES OF SECONDARY THERMOPLASTICS

Abstract. The physico-mechanical and technological characteristics of mixed waste of thermoplastic polymers, including that from the recyclable electronic and electrical equipment based on ABS plastic, were investigated. Target modifying additives were introduced into the composite system to improve the compatibility of polymer components of mixtures and the stable rheological properties of composition during processing. It is established that the secondary polymers behavior in their mixtures is caused by combination of their rheological characteristics and other parameters of mutual compatibility, that has significant impact on phase composition and microphases mutual order. Dispersed additives make a significant contribution to these processes, affecting the structuring of the associated polymer microvolumes. Target regulation of the rheological properties of components will ensure the achievement of acceptable and reproducible physico-mechanical characteristics and technological parameters of process, which will create prerequisites for the production of competitive products with a high guaranteed service life without use of scarce raw materials. Composite materials have been developed that are adapted to stable processing by extrusion, injection molding, and formation molding into technical products with acceptable performance characteristics.

Keywords: secondary thermoplastics, recycling, mixtures of thermoplastic polymers, extrusion, formation molding, modifying additives, composite materials

For citation: Timofeenko A. A., Timoshenko V. V., Shutova E. A., Shapovalov V. M. Physico-mechanical and technological characteristics of composite materials based on mixtures of secondary thermoplastics. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya fizika-technichnykh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-technical series*, 2020, vol. 65, no. 2, pp. 162–169 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8358-2020-65-2-162-169>

Введение. В настоящее время создание композиционных материалов на основе вторичных полимеров относится к актуальной области ресурсосберегающих технологий. Это связано, с одной стороны, с постоянным накоплением в окружающей среде отходов пластиков, что существенно осложняет экологическую обстановку в регионах. С другой стороны, отказ от рециклинга вторичных полимеров нежелателен по экономическим соображениям, поскольку более предпочтительным является их повторное вовлечение в производственный цикл. Исходя из Государственной программы сбора и переработки вторичного сырья в Республике Беларусь на 2009–2015 годы, в соответствии с экспертными оценками объем полимеров в составе твердых коммунальных отходов составляет порядка 300 тыс. т в год. В то же время в Республике Беларусь только 10–15 % таких отходов подвергается вторичной переработке. В развитых странах мира сбор и переработка пластиков находится на высоком уровне, позволяя существенно экономить первичное сырье и электроэнергию [1, 2]. Такие отходы становятся материалом для изготовления примерно каждого четвертого корпуса нового компьютера или картриджа печатного устройства, а новые решетки радиаторов автомобилей на треть состоят из переработанного пластика. Также известны примеры применения вторичных термопластов (полиолефины, акрилонитрил-бутадиен-стирольный пластик [АБС-пластик], полистирол [ПС], поливинилхлорид [ПВХ], полиэтилентерефталат [ПЭТФ]) в качестве добавок в полимерпесчаные композиты, используемые при производстве канализационных люков, бордюров, элементов ливневой канализации и т. д. [3].

Целевой рециклинг вторичных полимеров осложняется смешанным характером нахождения полимеров в промышленных и бытовых отходах. Это требует дополнительных технологических операций по отдельному сбору и сортировке, что приводит к удорожанию технологического процесса. Механические смеси вторичных полимеров в большинстве случаев представляют собой случайные по составу полимерные отходы с непредсказуемой и зачастую низкой совместимостью полимерных компонентов, а изделия из них часто характеризуются неудовлетворительными и/или нестабильными свойствами [1, 4]. Перспективным подходом к решению данной проблемы является разработка технологических принципов целевого рециклинга полимерных отходов (вторичных термопластов) путем получения на их основе композиционных материалов методами измельчения, агломерирования и гранулирования. Последующее введение в такие композиты модифицирующих добавок позволит сформировать изделия технического назначения, в которых было бы реализовано более эффективное совмещение полимеров в композиционной системе, соответственно, достигнуты улучшенные эксплуатационные свойства [5, 6]. При этом будет решаться экологическая проблема и обеспечиваться увеличение жизненного цикла полимеров, а также более полная реализация их возможностей в производстве изделий для различных отраслей народного хозяйства.

Цель настоящего исследования – изучение физико-механических и технологических характеристик композиционных материалов на основе смесей вторичных термопластичных полимеров в присутствии модифицирующих добавок, обеспечивающих получение изделий технического и бытового назначения с приемлемыми потребительскими свойствами.

Объекты и методы исследования. Для проведения исследований использовали вторичные полимеры: полиэтилен высокой плотности (вт. ПЭВП), полиэтилен низкой плотности (вт. ПЭНП), полипропилен (вт. ПП), АБС-пластик (вт. АБС-пластик), полистирол (вт. ПС), полиуретан (вт. ПУ). Содержание вторичных полимеров в композиционной системе в качестве целевой добавки по отношению к основному полимеру варьировали в пределах 5–20 мас.%. В качестве наполнителей при получении полимерпесчаных материалов использовали песок строительный и формовочный (ОАО «Гомельский литейный завод “Центролит”») с размером частиц 315, 500, 800 мкм (ГОСТ 8736-93) в количестве 50–80 мас.%. В качестве модифицирующих добавок в композиции вводили: стеарат кальция (ТУ 34 767 516-003-2008) в количестве 0,5–3,0 мас.%, антиоксидант – суперконцентрат гранулированный (ТУ 2243-001-79 683 189-2008) в количестве 1,0 мас.%, диоксид кремния (Аэросил А-300, ГОСТ 14922-77) в количестве 0,5–5,0 мас.%, сополимер этилена с винилацетатом (СЭВ, марка 11 104-030) в количестве 5–15 мас.%.

Процесс гранулирования осуществляли на двухшнековом экструдере при температурах переработки 160–220 °С и скорости экструзии 50 об./мин.

Формование образцов для физико-механических испытаний проводили на термопласт-автомате ТП EN 30.

Образцы полимерпесчаных материалов получали путем гомогенизации исходных компонентов на лабораторной установке при температурах 180–230 °С с последующим прессованием полимерного расплава в пресс-форме с приложением нагрузки 16 т/см².

Исследование физико-механических характеристик осуществляли на автоматизированном стенде INSTRON 5567 (Великобритания) по стандартной методике (ГОСТ 11262-80). Определение ударной вязкости по Шарпи проводили с помощью маятникового копра по ГОСТ 4647. Для испытаний использовали образцы в виде стандартных брусков с размерами 70 × 10 × 4 мм.

Показатель текучести расплава (ПТР) определяли на экструзионном пластометре ИИРТ-М по ГОСТ 11 645-73.

Результаты и их обсуждение. Как правило, основной вышедших из употребления и утилизируемых отходов электронной и электрической техники являются АБС-пластики, объем которых постоянно увеличивается. Однако их переработка не всегда эффективна, что во многом определяется жесткостью материала вследствие его структурирования и пониженными технологическими свойствами вторичного материала. В результате предварительно проведенных исследований показано, что формируемый повторно АБС-пластик обычно обладает повышенной хрупкостью. Одним из решений по устранению этого недостатка представляется введение в него других вторичных термопластов в комплексе с целевыми добавками.

Установлено, что введение во вторичный АБС-пластик вторичного ПЭВП и вторичного ПЭНП в целом негативно сказывается на комплексе физико-механических характеристик композитов (рис. 1). Так, разрушающее напряжение при растяжении падает на 20–50 %, относительное удлинение снижается на 10–20 %, ударная вязкость – на 5–45 %. Это связано с высоким различием показателя текучести расплава (ПТР) компонентов смеси: если вторичный АБС имеет ПТР в пределах 20 г/10 мин, то вторичный ПЭНП и вторичный ПЭВП – в диапазоне 4–5 г/10 мин. Вследствие этого в процессе совместной переработки напряжения сдвига полимеров в расплаве не способствуют равномерному распределению полимерных компонентов в объеме смеси. Микрообъемы ПЭНП и ПЭВП, фактически выступая в роли полимерного наполнителя основной матрицы АБС, образуют локальные участки, по существу являющиеся дефектами матрицы и служащие концентраторами напряжений. При этом количество таких дефектных зон возрастает с увеличением содержания этих компонентов.

При введении во вторичный АБС-пластик добавок сополимера этилена с винилацетатом (СЭВ) происходит монотонное снижение показателей свойств материала (рис. 2). По-видимому, это связано с отсутствием совместимости полимеров в пределах технологических режимов переработки, что приводит к разуплотнению материала. В то же время при введении СЭВ в смесь вторичного АБС-пластика со

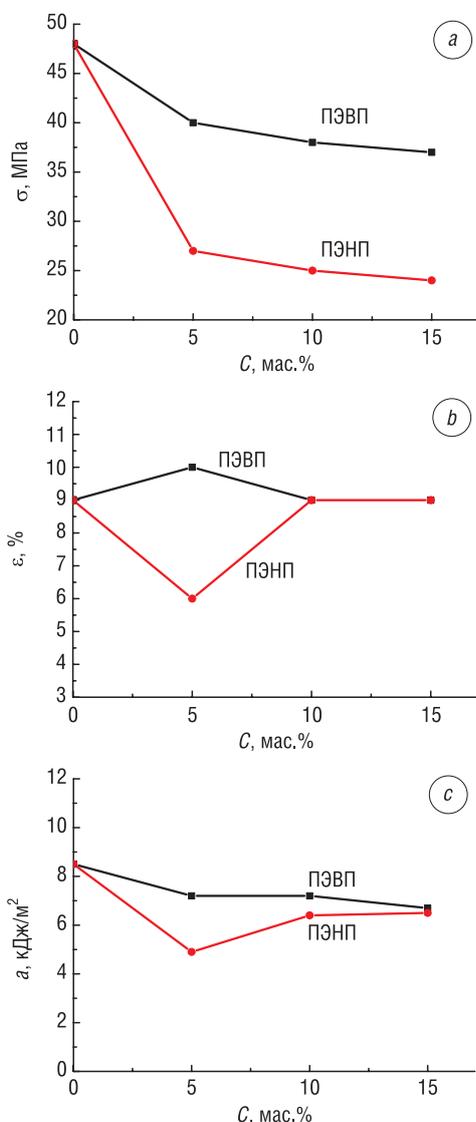


Рис. 1. Влияние содержания вторичного ПЭВП и вторичного ПЭНП в композите (вторичный АБС-пластик + вторичный ПЭВП; вторичный АБС-пластик + вторичный ПЭНП) на его физико-механические характеристики: *a* – разрушающее напряжение при растяжении, σ , МПа; *b* – относительное удлинение при растяжении, ε , %; *c* – ударная вязкость (по Шарпи), a , кДж/м²

Fig. 1. The influence of the secondary LDPE and secondary HDPE concentration in the composite (secondary ABS plastic + secondary LDPE; secondary ABS plastic + secondary HDPE) on its physico-mechanical characteristics: *a* – tensile stress, σ , МПа; *b* – tensile strain, ε , %; *c* – impact strength (according to Charpy), a , кДж/м²

вт. ПЭНП и вт. ПЭВП наблюдается повышение прочности композита на 18–25 %, что указывает на эффективность использования добавки СЭВ в смесях полимеров.

Показано, что использование вт. ПУ, вт. ПС и вт. ПП в качестве наполнителя во вт. АБС матрице оказывает положительное воздействие на прочностные свойства полимерной смеси. Так, при введении во вт. АБС-пластик вт. ПУ (рис. 3) на фоне стабильных показателей разрушающего напряжения при растяжении и относительного удлинения наблюдается возрастание на 20–25 % ударной вязкости смеси, что обусловлено характерными для ПУ высокими показателями вязкоупругих свойств.

При использовании в качестве наполнителя во вт. АБС-пластике вт. ПС либо вт. ПП (рис. 4) отмечается возрастание на 10–20 % разрушающего напряжения при растяжении образцов ком-

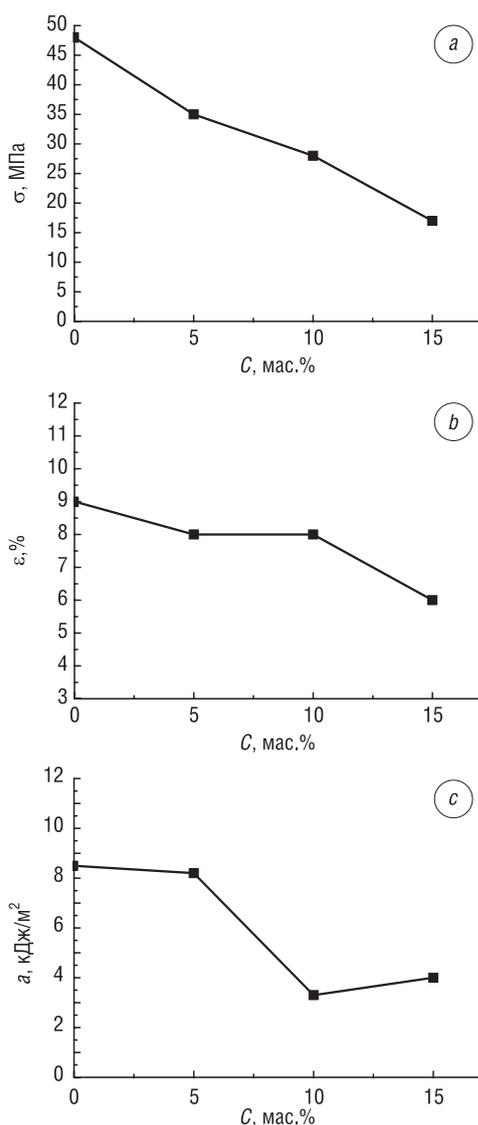


Рис. 2. Влияние содержания СЭВ в композите (вт. АБС-пластик + СЭВ) на его физико-механические характеристики: *a* – разрушающее напряжение при растяжении, σ , МПа; *b* – относительное удлинение при растяжении, ϵ , %; *c* – ударная вязкость (по Шарпи), a , кДж/м²

Fig. 2. The influence of sevilen concentration in the composite (secondary ABS plastic + EVA) on its physical and mechanical characteristics: *a* – tensile stress, σ , МПа; *b* – tensile strain, ϵ , %; *c* – impact strength (according to Charpy), a , кJ/m²

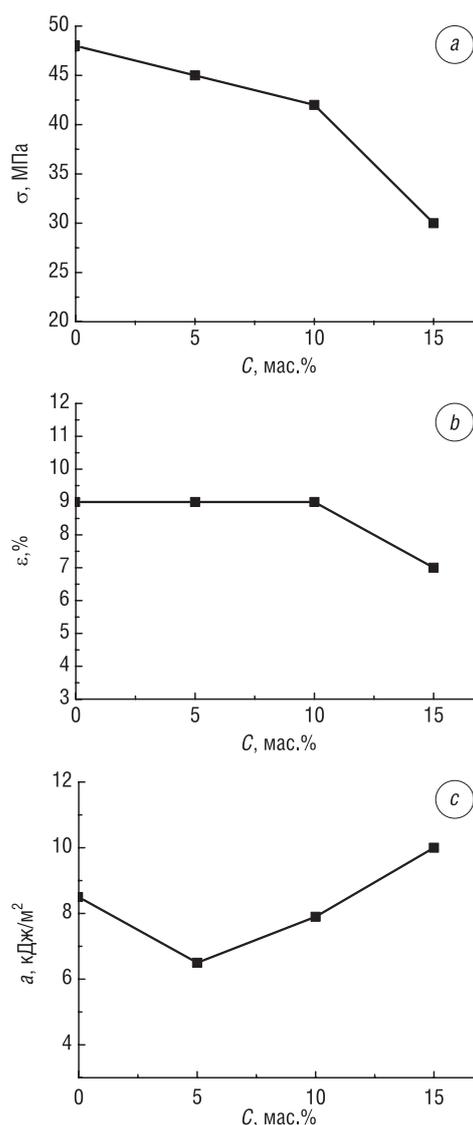


Рис. 3. Влияние содержания вт. ПУ в композите (вт. АБС-пластик + вт. ПУ) на его физико-механические характеристики: *a* – разрушающее напряжение при растяжении, σ , МПа; *b* – относительное удлинение при растяжении, ϵ , %; *c* – ударная вязкость (по Шарпи), a , кДж/м²

Fig. 3. The influence of the secondary PU concentration in the composite (secondary ABS plastic + secondary PU) on its physical and mechanical characteristics: *a* – tensile stress, σ , МПа; *b* – tensile strain, ϵ , %; *c* – impact strength (according to Charpy), a , кJ/m²

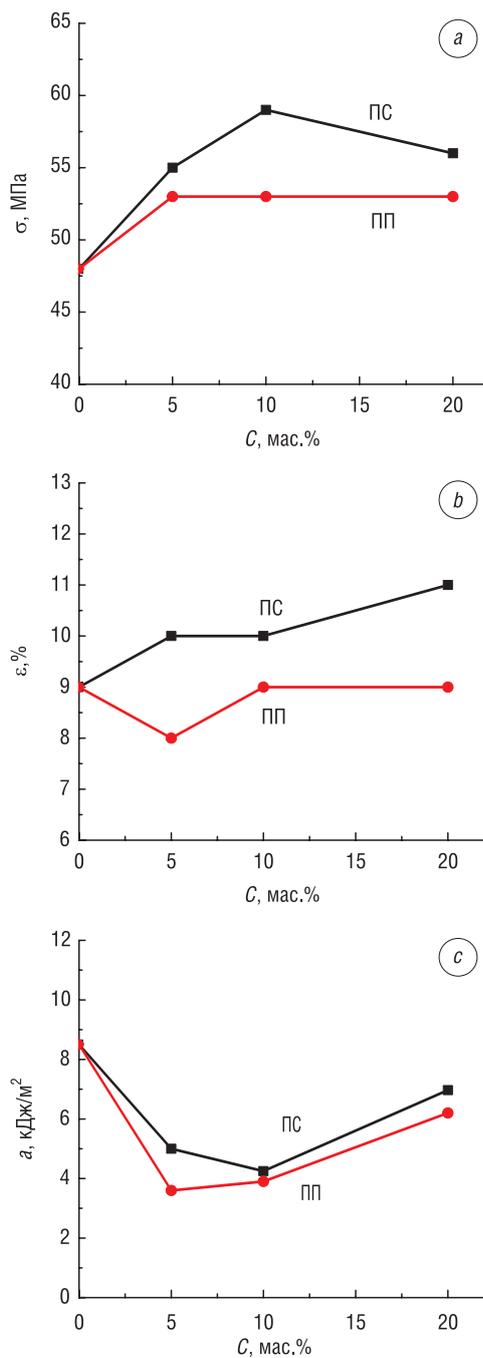


Рис. 4. Влияние содержания вт. ПС и вт. ПП в композите (вт. АБС-пластик + вт. ПС; вт. АБС-пластик + вт. ПП) на его физико-механические характеристики: *a* – разрушающее напряжение при растяжении, σ , МПа; *b* – относительное удлинение при растяжении, ϵ , %; *c* – ударная вязкость (по Шарпи), a , кДж/м²

Fig. 4. The influence of the secondary PS concentration and the secondary PP in the composite (secondary ABS plastic + secondary PS; secondary ABS plastic + secondary PP) on its physical and mechanical characteristics: *a* – tensile stress, σ , МПа; *b* – tensile strain, ϵ , %; *c* – impact strength (according to Charpy), a , кДж/м²

позита при незначительном (на 5–10 %) снижении показателя относительного удлинения. Повышение прочности композиций обусловлено, по-видимому, тем, что в процессе переработки полимерных смесей вт. ПС и вт. ПП выступают в роли армирующего элемента композиционной системы. Полученный материал может успешно применяться при производстве длинномерных изделий (например, труб), где важным показателем является ударная вязкость. Также такого рода композиты можно использовать при производстве целого ряда технически необходимых, но при этом малоответственных конструкционных элементов, например полимерной тары, предназначенной для хранения и перемещения продукции растениеводства. При этом технологичность переработки полимерных смесей, а также внешний вид, состояние поверхности и относительная формоустойчивость отливок из всех вышеперечисленных полимерных смесей оцениваются как удовлетворительные.

На рис. 5 видно, что введение в полимерную смесь вт. АБС-пластик + вт. ПП 1–5 мас.% ультрадисперсного наполнителя (диоксида кремния) ведет к монотонному снижению прочностных свойств композита. Однако при

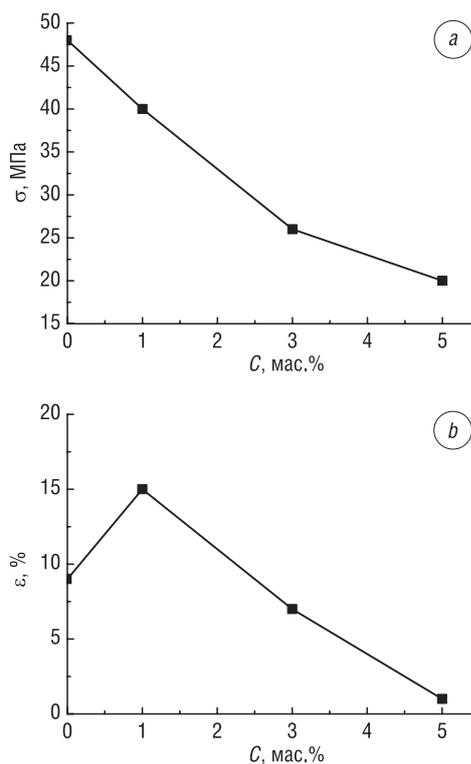


Рис. 5. Влияние содержания ультрадисперсного наполнителя (диоксида кремния) в композите (вт. АБС-пластик + вт. ПП) на его физико-механические характеристики: *a* – разрушающее напряжение при растяжении, σ , МПа; *b* – относительное удлинение при растяжении, ϵ , %

Fig. 5. The influence of the ultrafine filler (silicon dioxide) concentration in the composite (secondary ABS plastic + secondary PP) on its physical and mechanical characteristics: *a* – tensile stress, σ , МПа; *b* – tensile strain, ϵ , %

наполнении 1 мас.% фиксируется скачок величины относительного удлинения при разрыве (на 65 %). По-видимому, введение диоксида кремния способствует увеличению содержания в полимерной матрице аморфных областей, которые, контактируя с дисперсным наполнителем, придат композиту избыточную хрупкость на межфазных границах, благодаря чему роль деформационной составляющей растёт. При этом концентрация наполнителя в 1 % может быть представлена как оптимальная для такого структурирования в микрообъемах композита, которое влияет на улучшение реологической составляющей свойств вследствие близких значений ПТР вт. АБС-пластика и вт. ПП. Это косвенно подтверждается снижением показателя крутящего момента (на 30 %) при переработке таких смесей на экструзионном оборудовании.

Для получения ответственных изделий (например, полимерных труб) необходимым требованием применения таких материалов в их производственном цикле являются повышенные показатели прочностных и деформационных свойств. Поэтому для производства данного рода изделий разработан рецептурный состав на основе смесей вторичных полиэтиленов (вт. ПЭ) с добавлением ультрадисперсных частиц диоксида кремния (Аэросила, табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Физико-механические характеристики композитов на основе смесей вторичных полиэтиленов двух типов

Table 1. Physico-mechanical characteristics of composites based on mixtures of two types secondary polyethylene

Показатель	Композит	
	вт. ПЭНП 70 % + вт. ПЭВП 30 %	вт. ПЭНП 70 % + вт. ПЭВП 28,5 % + Аэросил 1,5 %
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	18	36
Деформация при разрыве, %	280	100
Модуль упругости, МПа	120	300

Установлено, что полученная смесь имеет прочность в 1,5–2 раза выше, чем индивидуальные вт. ПЭВП или вт. ПЭНП. Это обусловлено, во-первых, повышением вероятности формирования поперечных сшивок макромолекул в композиционной системе вследствие более интенсивного протекания окислительных реакций, инициирующих этот процесс при переработке вторичных полиолефинов. Во-вторых, в исследуемой системе реализуется активационный эффект при совместном воздействии нормальных и касательных напряжений, которые естественно сопровождают реальный экструзионный процесс. В результате создаются предпосылки для активации высокодисперсных частиц Аэросила в композиционной системе, что обеспечивает высокую степень упорядочения структуры на надмолекулярном уровне и, как следствие, повышение значений прочностных характеристик композита в целом. На базе предложенного рецептурного состава разработаны предназначенные для получения труб различных диаметров композиты с механическими и технологическими свойствами, которые представлены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Механические и технологические свойства смесевых композиций на основе вторичных полиолефинов

Table 2. Mechanical and technological properties of mixed compositions based on secondary polyolefins

Показатель	Состав №1	Состав №2	Состав №3
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа	18	31	45
Модуль упругости при растяжении, МПа	26	184	200
Деформация при разрыве, %	270	75	90
ПТР, г/10 мин	4,2	3,5	3,3

П р и м е ч а н и е. Состав №1 – вт. ПЭНП 70%/вт. ПЭВП 30%; состав №2 – 20 % дисперсия SiO₂ в смеси сольвента с изопропиловым спиртом + смесь вт. ПЭНП 70%/вт. ПЭВП 30%; состав №3 – 20 % дисперсия SiO₂ в смеси толуола с изопропиловым спиртом + смесь вт. ПЭНП 70%/вт. ПЭВП 30 %.

Т а б л и ц а 3. Прочностные свойства полимерпесчаных композиций

Table 3. Strength properties of polymer-mineral compositions

Состав композиции, мас. %	Разрушающее напряжение при сжатии, МПа
вт. ПЭНП 40 % + песок 60 %	34
вт. ПЭНП 38 % + песок 60 % + вт. АБС 2 %	39
вт. ПЭНП 35 % + песок 60 % + вт. АБС 5 %	37
вт. АБС 15 % + АБС 15 % + песок 70 %	12
вт. АБС 14 % + вт. ПП 15 % + песок 70 % + антиоксидант 1 %	1,6
вт. АБС 15 % + ПУ 15 % + песок 70 %	10
вт. АБС 15 % + вт. ПЭНП 15 % + песок 70 %	3,7

смесей вт. АБС-пластика с вт. ПП и вт. ПЭ (табл. 3), где характерно существенное снижение физико-механических характеристик материала и увеличение его вязкости при перемешивании и гомогенизации смеси в лабораторном устройстве. При совмещении вт. АБС-пластика с вт. ПУ наблюдается также характерное в таких композициях ухудшение прочностных свойств материала в 3–3,5 раза, что указывает на неэффективность использования данных смесей в производстве полимерпесчаных композиций.

Заключение. Поведение вторичных полимеров в смесях друг с другом обусловлено сочетанием их реологических характеристик и других параметров взаимной совместимости. Возникает ситуация, в которой одни полимеры фактически являются модификаторами других полимеров, влияя на фазовый состав друг друга и взаимную упорядоченность микрофаз. На основе полученных результатов можно предположить, что дисперсный неорганический модификатор при определенных концентрациях способен выполнять роль структурирующего компонента. Эта предположение соответствует ранее выявленным для подобных композиций закономерностям. Целенаправленное регулирование реологических свойств компонентов композиционной системы с помощью функциональных добавок разной природы обеспечит достижение приемлемых и воспроизводимых физико-механических характеристик и технологических показателей процесса их формирования, что создает предпосылки для производства конкурентоспособных изделий с высоким гарантированным сроком службы без применения дефицитного первичного сырья.

Список использованных источников

1. Шаповалов, В.М. Многокомпонентные полимерные системы на основе вторичных материалов / В.М. Шаповалов, З.Л. Тартаковский; под общ. ред. Ю.М. Плескачевского. – Гомель: ИММС НАН Беларуси, 2003. – 262 с.
2. Ла Мантия, Ф. Вторичная переработка пластмасс / Ф. Ла Мантия (ред.); пер. с англ. под ред. Г.Е. Заикова. – СПб.: Профессия, 2007. – 400 с.
3. Клинков, А.С. Утилизация и вторичная переработка полимерных материалов: учеб. пособие / А.С. Клинков, П.С. Беляев, М.В. Соколов; под ред. Е.С. Мордасова. – Тамбов: Тамбов. гос. техн. ун-т, 2005. – 80 с.
4. Шах, В. Справочное руководство по испытанию пластмасс и анализу причин их разрушения / В. Шах. – СПб.: Научные основы и технологии, 2006. – 600 с.
5. Рауендаль, К. Экструзия полимеров / К. Рауендаль; пер. с англ. под ред. А.Я. Малкина. – СПб.: Профессия, 2006. – 768 с.
6. Добавки для полимеров и суперконцентраты модификаторы [Электронный ресурс] // Policonta Belarus. – 2019. – Режим доступа: <http://www.polikonta.com/index.php?softpg=129> – Дата доступа: 20.06.2019.

Предварительно проведенные исследования показали, что наилучшими физико-механическими свойствами в ряду полимерпесчаных композитов обладают образцы с использованием в качестве полимерной матрицы вт. ПЭ с добавкой вт. АБС-пластика (табл. 3). Установлено, что добавка вт. АБС-пластика во вт. ПЭ приводит к возрастанию прочности композиции на 10–15 %, что, по-видимому, можно объяснить армирующим эффектом более жестких частиц вт. АБС-пластика в микрообъеме полимерной матрицы. При использовании в качестве полимерной матрицы только вт. АБС-пластика наблюдается снижение прочностных свойств композита вследствие плохой совместимости полимера и кремниевоского песка. Такое положение наблюдается и для

References

1. Shapovalov V. M., Tartakovskiy Z. L. *Multicomponent Polymer Systems Based on Secondary Polymers*. Gomel, V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus, 2003. 262 p. (in Russian).
2. La Mantija F. (ed.). *Plastics Resycling*. St.-Petersburg, Professiya Publ., 2007. 400 p. (in Russian).
3. Klinkov A. S., Beljaev P. S., Sokolov M. V. *Utilization and Recycling of Polymeric Materials*. Tambov, Tambov State Technical University, 2005. 80 p. (in Russian).
4. Shakh V. *Reference Guide for Plastics Testing and Analizing the Causes of their Destruction*. St.-Petersburg, Nauchnye osnovy i tekhnologii Publ., 2006. 600 p. (in Russian).
5. Rauvandal K. *Extrusion of Polymers*. St.-Petersburg, Professiya Publ., 2006. 768 p. (in Russian).
6. Additives for polymers and masterbatch modifiers. *Policonta Belarus*. Available at: <http://www.polikonta.com/index.php?softpg=129> (accessed 20 June 2019).

Информация об авторах

Тимофеенко Алена Александровна – соискатель, младший научный сотрудник отдела «Композиционные материалы и рециклинг полимеров», Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого Национальной академии наук Беларуси (ул. Кирова, 32а, 246050, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: timoshenko13@gmail.com

Тимошенко Вадим Васильевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела «Композиционные материалы и рециклинг полимеров», Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого Национальной академии наук Беларуси (ул. Кирова, 32а, 246050, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: twadim@tut.by

Шутова Екатерина Адамовна – аспирант, Мозырский государственный педагогический университет имени И. П. Шамякина (ул. Студенческая, 28, 247760, Мозырь, Гомельская область, Республика Беларусь). E-mail: katsiarynashutava@mail.ru

Шаповалов Виктор Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий отделом «Композиционные материалы и рециклинг полимеров», Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого Национальной академии наук Беларуси (ул. Кирова, 32а, 246050, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: v.shapovalov@tut.by

Information about the authors

Aliona A. Timofeenko – Applicant, Junior Researcher, Composite Materials and Polymer Recycling Department, V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus (32a, Kirov Str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: timoshenko13@gmail.com

Vadim V. Timoshenko – Ph. D. (Engineering), Senior Researcher, Composite Materials and Polymer Recycling Department, V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus (32a, Kirov Str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: twadim@tut.by

Ekaterina A. Shutova – Postgraduate Student, Mozyr State Pedagogical University named after I. P. Shamyakin (28, Studencheskaya Str., 247760, Mozyr, Gomel region, Republic of Belarus). E-mail: katsiarynashutava@mail.ru

Viktor M. Shapovalov – D. Sc. (Engineering), Professor, Head of Composite Materials and Polymer Recycling Department, V. A. Belyi Metal-Polymer Research Institute of National Academy of Sciences of Belarus (32a, Kirov Str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: v.shapovalov@tut.by