

УДК 678.023.001.2(075)

*Ф. С. Балашов, А. А. Ефимов**

**ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА МОДИФИКАЦИИ
ОТХОДОВ ТЕРМОПЛАСТОВ**

Ресурсосбережение и обеспечение экологической безопасности являются приоритетными направлениями развития государства [1]. Значительную долю твердых коммунальных отходов составляют использованная тара и упаковка [2]. В настоящее время проблема утилизации тары и упаковки из полимеров вызывает значительный интерес у исследователей [3 – 5].

Целью данной работы является исследование возможности получения композиционных материалов из смеси отходов распространенных в упаковочной индустрии полимеров с наполнителями в виде отходов производства строительных материалов.

Технологический процесс основан на использовании отходов из полипропилена (ПП) и полиэтилена низкой плотности (ПЭНП) и осуществляется следующим образом: промытые и высушенные отходы с содержанием посторонних примесей подвергаются сортировке, в процессе которой из них удаляют случайные инородные и металлические включения и выбраковывают сильнозагрязненные куски [6]. После чего делаются навески каждого полимера и наполнителя, которым на первом этапе служат отходы из полиэтилентерефталата (ПЭТФ), в соотношениях(1/1, 1/2 и 2/1) [1].

Полученные через формующий инструмент заготовки композиционного материала подвергаются измельчению и селективно применяются для определения показателя текучести расплава. Для его определения используется грузовой капиллярный вискозиметр ИИРТ-М. В зависимости от вида исследуемого полимера применяется груз массой 2,16 кг, капилляр диаметром 2 мм и температура испытания 250 °С. При истечении полимера через капилляр совершается срез прутков (до десяти штук) за установленный промежуток времени – 60 с.

* Работа выполнена под руководством д-ра техн. наук, проф. ФГБОУ ВО «ПГТУ» П. С. Беляева.

Показатель текучести расплава I (г/(10 мин)) определяется по формуле:

$$I = (m/t) \times 600, \text{ г/(10 мин)},$$

где m – масса срезанного прутка, г; t – время истечения прутка, с.

За результат испытаний принимается среднее квадратичное для каждого соотношения компонентов. Показатель текучести расплава является условной характеристикой текучести расплавов полимеров, однако эта величина позволяет оценить поведение материала при переработке.

На втором этапе повторно делаются навески каждого полимера и наполнителя, служащие на данном этапе отходы из цементно-стружечных плит (ЦСП), в соответствии с выбранным технологическим режимом смесительного оборудования используются для дальнейшего смешения с соответствующими полимерами.

Для смешения с ранее полученным материалом через микросмеситель Брабендера используются сыпучие отходы из ЦСП, предварительно подвергающиеся очистке посредством вибрационного сита до значения 200 мкм, определяющегося по фракциям просеивающего аппарата.

В соответствии с технологическим регламентом устанавливается температура нагрева рабочей камеры и скорость вращения роторов [6].

Камера смесителя нагревается до температуры 200 °С.

Подготовленный материал определенного соотношения загружается также в различных соотношениях с ЦСП (1/1 и 1/3) в камеру смесителя одновременно, где вращающиеся на малых оборотах рабочие органы под действием сдвиговых напряжений и сил адгезии затягивают их. Далее закрывается загрузочное отверстие камеры затвором и выводится частота вращения рабочих органов до значения 30 мин⁻¹ [6]. Смешение происходит в течение 15 мин.

После остановки рабочих органов производится выгрузка полученной смеси и закладывается в предварительно нагретую в муфельной печи пресс-форму, после чего устанавливаемую в гидравлический пресс. Прессование производится при температуре 180 °С при давлении 100 кгс/см² в течение 15 мин. Полученные прессованием пластины распиливаются на образцы, имеющие габаритные размеры 80×10×10 мм (Д×Ш×В) [6].

Образцы должны иметь гладкую и ровную поверхность без вздутий, раковин, сколов, трещин и других дефектов [1].

Для определения показателей полученных образцов осуществляется проведение испытаний на твердость, ударную вязкость, водопоглощение и объемное разбухание по толщине.

Для определения твердости используется пластико-динамическая методика, при проведении испытаний которой индентор, чаще всего шарик, воздействует на испытываемый образец в условиях ударно действующей нагрузки, поэтому на поверхности материала остается отпечаток. При использовании молотка Баумана шарик неоднократно прижимается к образцу в различных точках под действием пружины, а величина твердости определяется средним арифметическим значением величины силы, применяемой при получении отпечатка [1].

Результаты испытаний образцов на твердость представлены в табл. 1.

1. Результаты испытаний образцов на твердость

Композиционный материал	Соотношение материалов	Среднее арифметическое значение величины применяемой силы для испытываемых образцов, Н	
(ПЭТФ + ПП)/ЦСП	(1 + 1)/1	72	54
	(1 + 1)/3	73	74
(ПЭТФ + ПЭНП)/ЦСП	(1 + 1)/1	60	55
	(1 + 1)/3	75	58

Испытание на ударную вязкость проводится по методике Шарпи с применением двух образцов без надреза соответствующего соотношения для определения их сопротивления хрупкому разрушению под действием ударных напряжений. При проведении испытаний испытываемый образец прогибается или разрушается, насколько позволяют возможности испытательного устройства, посредством удара маятникового копра. При этом образец располагается на двух опорах так, чтобы удар молота копра приходился на середину образца [1].

Укрепленный на стержне молот, имеющий на своей ударной стороне фигурный вырез, описывает после высвобождения дугу и в самой нижней точке траектории движения передает часть своей кинетической энергии образцу [1]. После определения значения поглощенной образцом кинетической энергии проводится расчет ударной вязкости a (Н/м) по формуле:

$$a = \Delta A / (b \times h), \text{ Н/м,}$$

где ΔA – кинетическая энергия, поглощенная образцом при разрушении, Н/м; b и h – ширина и толщина образца по его середине соответственно, м.

Результаты испытаний образцов на ударную вязкость представлены в табл. 2.

2. Результаты испытаний образцов на ударную вязкость

Композиционный материал	Соотношение материалов	Ударная вязкость испытываемых образцов, Дж/м ² ×10 ⁻³	
(ПЭТФ + ПП)/ЦСП	(1 + 1)/1	14,3	15,8
	(1 + 1)/3	14,1	12,5
(ПЭТФ + ПЭНП)/ЦСП	(1 + 1)/1	16,9	16,3
	(1 + 1)/3	14,8	15,2

Определение водопоглощения и объемного разбухания по толщине осуществляется погружением испытываемых образцов в вертикальном положении в сосуд с водой. При этом образцы не должны соприкасаться друг с другом, а также с дном и боковыми стенками сосуда. Образцы должны находиться на расстоянии 20 ± 2 мм ниже уровня поверхности воды [6].

Предварительно образцы не позднее чем через 0,5 ч после кондиционирования взвешиваются с погрешностью не более 0,1 г и определяется их толщина.

Выдерживаются образцы при температуре воды 20 ± 1 °С в течение $24 \pm 0,25$ ч. После выдержки образцы извлекаются из воды и складываются в стопы в горизонтальном положении, прокладывая их листами фильтровальной бумаги для удаления избытка влаги. На стопку образцов накладывается груз массой 500 ± 50 г. Через 30 с груз снимается и удаляется фильтровальная бумага. Образцы не позднее чем через 10 мин после извлечения из воды взвешиваются, и определяется их толщина [6].

Водопоглощение образца $\Delta\omega$ (%) определяется по формуле:

$$\Delta\omega = ((m_1 - m)/m) \times 100, \%$$

где m_1 – масса образца после выдержки в воде, г; m – масса образца до выдержки в воде, г.

Результаты испытаний образцов на водопоглощение представлены в табл. 3.

3. Результаты испытаний образцов на водопоглощение

Композиционный материал	Соотношение материалов	Водопоглощение испытываемых образцов, %
(ПЭТФ + ПП)/ЦСП	(1 + 1)/1	0,1
	(1 + 1)/3	9,1
(ПЭТФ + ПЭНП)/ЦСП	(1 + 1)/1	0,1
	(1 + 1)/3	4,6

Разбухание по толщине образца Δh (%) определяется по формуле:

$$\Delta h = ((h_1 - h)/h) \times 100, \%$$

где h_1 – толщина образца после выдержки в воде, мм; h – толщина образца до выдержки в воде, мм.

Результаты вычислений округляются до 0,1% [6].

Результаты испытаний образцов на разбухание по их толщине представлены в табл. 4.

4. Результаты испытаний образцов на разбухание по их толщине

Композиционный материал	Соотношение материалов	Разбухание испытываемых образцов по их толщине, %
(ПЭТФ + ПП)/ЦСП	(1 + 1)/1	0,2
	(1 + 1)/3	5,6
(ПЭТФ + ПЭНП)/ЦСП	(1 + 1)/1	0,3
	(1 + 1)/3	5,6

Список литературы

1. Утилизация и переработка твердых бытовых отходов / А. С. Клинков, П. С. Беляев, В. Г. Однолько и др. – Тамбов : Изд-во ТГТУ, 2015. – 188 с.

2. Повышение качества нефтяных битумов путем модификации продуктами переработки изношенных автомобильных шин / П. С. Беляев, О. Г. Маликов, М. В. Забавников, А. Р. Соколов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2003. – Т. 9, № 1. – С. 63 – 69.

3. Валковое оборудование и технология непрерывной переработки отходов пленочных термопластов / И. В. Шашков, А. С. Клинков, П. С. Беляев, М. В. Соколов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2012. – 136 с.

4. Модификация нефтяных дорожных битумов полимерными материалами для получения асфальтобетонных покрытий с повышенными эксплуатационными характеристиками / П. С. Беляев, Д. Л. Полушкин, П. В. Макеев, В. А. Фролов // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2016. – Т. 22, № 2. – С. 264 – 271.

5. Повышение энергоэффективности процесса модификация битума регенератом резиновой крошки / В. П. Беляев, О. Г. Маликов, С. А. Меркулов и др. // Components of Scientific and Technological Progress. – 2013. – № 1(16). – С. 75 – 77.

6. Беляев, П. С. Разработка технологии получения композита на основе отходов термопласта и ЦСП / П. С. Беляев, О. С. Примеров, А. В. Савин // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2018. – Т. 24, № 2. – С. 367 – 373.

Кафедра «Материалы и технологии» ФГБОУ ВО «ТГТУ»