

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА ВСПЕНЕННЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ

Ершова О. В., Чупрова Л. В., Муллина Э. Р., Мишурина О. А., Брянцев Б. И.

ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», Магнитогорск, Россия (455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38), e-mail lvch67@mail.ru

Проблема переработки вторичных материалов в настоящее время приобретает актуальное значение, так как они являются мощным сырьевым и энергетическим ресурсом. В лабораторных условиях был разработан и получен композиционный материал на основе полимерных (отходы производства ПВХ-конструкций) и техногенных минеральных (зола уноса электростанций) отходов. Представлено экструзионное оборудование для производства вспененных композитов. Главным критерием при выборе его была высокая производительность и возможность получать материал любых размеров. Обоснована экономическая целесообразность производства, высокая рентабельность которого и небольшой срок окупаемости могут привлечь достаточное количество инвесторов. Представлен анализ аналогичных материалов на российском рынке товаров. Установлено, что разработанный вспененный композиционный материал, при его невысокой цене является инновационным и обладает рядом свойств, которые выделяют его среди конкурентов.

Ключевые слова: минеральные отходы, полимерные отходы, вторичное сырьё, композиционный материал, экструзионное оборудование, вспенивание.

TECHNICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF FOAMED COMPOSITE MATERIALS PRODUCTION FROM SECONDARY MATERIALS

Ershova O. V., Chuprova L. V., Mullina E. R., Mishurina O. A., Bryantsev B. I.

Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Russia (38, Lenin Avenue, Magnitogorsk), e-mail: lvch67@mail.ru

At present the issue of secondary material recycling becomes especially urgent as secondary materials are a great feedstock source and energy resource. In laboratory conditions the research group developed and obtained a composite material on the basis of polymer (wastes of PVC structures production) and industrial mineral (fly ash of electric power stations) wastes. Extrusion equipment used for foamed composite materials production was introduced. The main selection criterion was its efficient production and ability to produce material of any size. Economic feasibility of production was evaluated and it was assumed that its high profitability and short pay-back period could attract a number of investors. The authors carried out analysis of the Russian market of similar materials. It was found that the developed foamed composite material is both inexpensive and innovative and it has a number of properties, which distinguish it from its competitors.

Keywords: mineral wastes, polymer wastes, secondary feedstock, composite material, extrusion equipment, foaming.

В настоящее время проблема переработки техногенных минеральных и полимерных отходов приобретает актуальное значение, так как они являются мощным сырьевым и энергетическим ресурсом. Одним из решений проблемы является получение новых вспененных композиционных материалов, которые представляют собой полимерную матрицу с распределенным в ней минеральным наполнителем [3, 4, 6, 10].

Анализ современных исследований показал, что из вторичных полимеров и техногенного минерального сырья (зола уноса / шлак) можно получать материалы, обладающие рядом замечательных свойств: легкостью, низкой теплопроводностью, прочностью, огнеупорностью [1, 5, 11, 13]. Благодаря этому, указанные композиты могут иметь самые широкие области применения в качестве строительных материалов,

легковесных огнеупоров, в производстве цемента, бетона, сухих смесей, в лакокрасочной промышленности и дорожной отрасли, а также в других областях, где требуется легкий, теплоизоляционный и негорючий материал.

Цель исследования: разработка технологии производства вспененных композитов на основе вторичного сырья и расчёт экономической целесообразности проекта.

Материалы исследования

В условиях лаборатории получен композиционный материал на основе вторичного поливинилхлорида (ПВХ) и техногенных минеральных отходов (зола уноса электростанций). Экспериментально определён оптимальный состав композита: 15 % – наполнитель (зола уноса); 3 % – вспениватель (ЧХЗ-21); 72 % – вторичный ПВХ. На основе многофакторного эксперимента определены условия его получения [2].

Экспериментальные образцы были подвергнуты физико-механическим испытаниям и по результатам исследования (табл. 1) определили, что данный материал безопасен, обладает удовлетворительными физико-механическими свойствами, приемлемой химической стойкостью и водопоглощением [2].

Таблица 1

Характеристики композиционного материала

Параметр	Полученное значение
Радиационная безопасность	Соответствует СанПиН 2.6.1.2523-09
Химическая безопасность	Обеспечивается устойчивость рН среды
Коэффициент среднего теплового линейного расширения в интервале 60 °С, °С ⁻¹ (мм/м)	$3,81 \cdot 10^{-5}$ (1,8)
Сжимаемость	Отсутствует при давлении менее 45 кг/см ²
Усилие разрыва резьбового соединения, Н	890
Водопоглощение, %	3,8
Изменение массы в агрессивных средах, не более, %	2,5

Композиционный материал является инновационным. Он обладает рядом свойств, которые выделяют его среди конкурентов. Первостепенными из них являются: экологичность, прочность, химическая стойкость, низкая цена. Легкость склеивания, вакуумного формования вспененного ПВХ, простота и широкие возможности обработки обычными инструментами, крепление винтами, гвоздями и болтами являются полезными свойствами при работе с готовыми элементами конструкций, а удобство и качество

пленочных аппликаций, трафаретной печати, окрашивания поверхности незаменимы при дизайнерской работе с материалом.

Аналогов полученного композита на российском рынке практически не существует, но есть ряд товаров-заменителей. Наиболее близким по свойствам является вспененный ПВХ, который производят следующие компании: Anwiror (Польша), PALRAM (Израиль), UNEXT Россия), Veckaplan (Германия).

Свободно-вспененный листовый ПВХ представляет собой термопластичный материал, состоящий из комплекса компонентов, основным из которых является поливинилхлорид, к нему добавляются вещества, улучшающие переработку и физико-химические свойства получаемого листа [8].

Лист ПВХ отличается малым весом (плотность 0,5–0,7 г/см³), но, несмотря на это, вспененный ПВХ обладает достаточной жесткостью. Также его отличают повышенная ударная прочность, хорошие механические характеристики. Пористость обуславливает поглощение вибрации и высокую степень теплоизоляции, пониженную передачу тепла (низкую теплопроводность). Абсолютные значения указанных величин для ПВХ приведены в таблице 2.

Таблица 2

Основные технические характеристики ПВХ листового вспененного

Свойство	Толщина	
	2-6 мм	8-10 мм
Плотность, г/см ³	~ 0.7	~ 0.6
Водопоглощение, %	< 1.0	< 1.0
Прочность на разрыв, Мпа	≥ 15	≥ 10
Предел прочности на разрыв, %	≥ 15	≥ 15
Ударопрочность, кДж/м ²	~ 10	~ 10
Степень твердости	~ 55	~ 50
Температура размягчения по Вика, °С	~ 75	~ 75
Коэффициент линейного термического расширения, мм/м°С	~ 0.07	~ 0.07
Теплопроводность, Вт/м*К	~ 0.075	~ 0.076
Поверхностное сопротивление, Ом	> 1014	> 1014

Вспененный ПВХ получают, используя традиционные процессы производства изделий из монолитного ПВХ. Однако условия переработки и оборудование обычно требуют комплексного подхода и модификации во многих случаях. Причиной усложнения процесса являются, главным образом, сложные механизмы вспенивания, происходящие во время переработки.

Физические свойства экструдированных пен из ПВХ определяются двумя факторами: структурой оболочки и структурой вспененного ядра продукта. На первую в значительной степени влияет процесс охлаждения, в то время как последняя зависит от рецептуры, условий экструзии и охлаждения.

Качество поверхности экструдированных пен определяется охлаждением и последующим затвердеванием сразу после выхода расплава из экструзионной головки.

Существуют два различных процесса вспенивания, которые приводят к получению различных структур оболочки: свободное вспенивание и вспенивание с интегральной оболочкой (Celuka) [7].

При свободном вспенивании поры образуются во всем поперечном сечении полупродукта. Однако из-за охлаждения рост ячеек на поверхности ограничен. В результате образуется интегральная вспененная оболочка с относительно высокой плотностью у поверхности и более низкой в центре. Поскольку полупродукт проходит через калибрующее устройство, его поверхность разглаживается за счет контакта с холодной поверхностью калибра.

Основное преимущество процесса свободного вспенивания – это его скорость. В некоторых случаях скорость процесса производства достигает 50 м/мин. Процесс свободного вспенивания лучше всего подходит для производства изделий с геометрически простым сечением (включая полые изделия), типа листов и трубок, если требования к поверхностной твердости не слишком высоки [7].

В процессе вспенивания с интегральной оболочкой (Celuka) экструдированное изделие подвергается сильному охлаждению по всей поверхности после его выхода из экструдера. В отличие от процесса свободного вспенивания, в процессе вспенивания с интегральной оболочкой не происходит изменений размеров экструдированного изделия в продольном направлении. Таким образом, общее расширение является двухмерным. За счет использования более высоких скоростей охлаждения возможно получение плотной поверхностной оболочки большей толщины. Поэтому процесс Celuka может использоваться для производства изделий практически любого поперечного сечения, в том числе листов и шлангов.

Для переработки вспененного ПВХ можно использовать одно- и двухшнековые экструдеры, предназначенные для переработки жесткого ПВХ, но могут использоваться и специально разработанные экструдеры. Конфигурация шнека экструдера должна способствовать скорейшему прохождению пластикации композиции при относительно низкой температуре расплава, чтобы он препятствовал утечке уже выделившегося газа через отверстие бункера. Поскольку расплав ПВХ, содержащий газы, транспортируется под

высоким давлением через каналы шнека, необходимо избегать декомпрессионных зон для предотвращения образования пузырьков.

Поперечное сечение головки экструдера должно постепенно уменьшаться к выходу из нее. Это помогает поддерживать давление расплава выше давления газа или давления пара пенообразователя до конца головки. Головка должна быть по возможности небольшой, чтобы давление расплава в ней было выше давления газа как можно дольше. Иначе произойдет преждевременное вспенивание расплава в головке, что нежелательно, потому что оно приводит к разрушению ячеек на поверхности экструдата.

Калибратор и охлаждающая ванна должны быть более длинными для вспененных продуктов, чем для монолитных, по причине их более низкой теплопроводности по сравнению с монолитными. В последнее время для повышения производительности при экструзии вспененных материалов на рынке появились новые устройства, ускоряющие процессы охлаждения [7].

Для производства вспененного ПВХ используются экструзионные линии состоящие из: одно-, двухшнековых экструдеров; фильеры; калибрующего устройства; тянущего устройства; устройства продольной и поперечной резки; укладчика. Технологическая схема экструзионной линии представлена на рисунке 1.

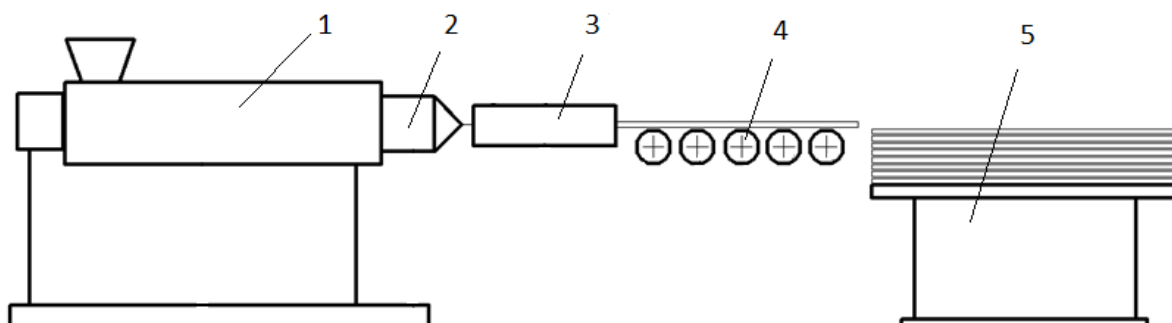


Рис. 1. Технологическая схема экструзионной линии

1 – экструдер; 2 – формирующая головка; 3 – калибрующее устройство; 4 – система тянущих валков; 5 – укладочный стол

В современных линиях для производства вспененных листов обеспечиваются:

- контроль и автоматическое регулирование температуры по зонам материальных цилиндров экструдеров и формирующей головки;
- автоматический контроль толщины экструдата, толщины щели головки, толщины готового листа;
- плавная автоматическая регулировка скорости вращения как шнеков, так и отводящих валков.

Для промышленного получения композита предлагаем производственную линию KDJPF-1220 (Китай) [9, 12]. Главным критерием при выборе была ее высокая производительность и возможность получения материала любых размеров (табл. 3).

Таблица 3

Технические характеристики линии по производству
вспененного ПВХ KDJPF-1220

Название	KDJPF-1220
Перерабатываемые полимеры	PVC, PP, PE
Ширина листа, мм	1220
Толщина листа, мм	3-30
Производительность, кг/ч	200-500
Тип экструдера	KDPS-130
Общая мощность	385kw

Установка предназначена для производства листов вспененного материала толщиной от 3 до 30 мм, стандартного размера 1220 мм на 2020 мм.

Для производства предлагаемого композита используется следующее сырье: вторичный ПВХ, парафор марки ЧХ3-21, зола/шлак, остальные компоненты (наполнители, пигменты, модификаторы, смазки и др.), число которых может достигать до 20.

Необходимо отметить, что зола/шлак являются перерабатываемыми отходами, за которые, производящие их предприятия, платят высокие налоги. Поэтому предприятиям необходимо избавиться от них по очень низкой или даже нулевой стоимости.

Приведём технологию получения вспененного композита. Смесь сырьевых материалов, прошедшая несколько этапов смешения, попадает в экструдер, где к полученной композиции добавляется вспенивающий компонент. В экструдере, помимо пластикации и гомогенизации смеси, под действием температуры происходит разложение вспенивающей добавки с выделением азота. При этом создаваемое формующим инструментом противодавление (250–300 бар) препятствует преждевременному расширению азота в экструдере. Обратная ситуация происходит на выходе из формующего инструмента, где расплав попадает в атмосферное давление, т.е. становится «свободным», при котором газ, содержащийся в расплаве, начинает равномерно расширяться по всему объёму. Это приводит к появлению мелкопористой структуры и меньшей плотности, чем у компактного листа.

Далее вспененный расплав проходит через калибрующее устройство и ряд валков, где формируется высококачественная поверхность и заданная толщина листа. Завершающими операциями является: автоматическое нанесение защитной пленки, отрезка кромки и поперечная отрезка листа.

Упаковка в кипы по 5–10 штук осуществляется на автоматическом оборудовании. Материал упаковки – ПЭ пленка с нанесенным логотипом и необходимой выходной информацией.

Для расчета себестоимости вспененного композита учитывали следующие элементы затрат: материальные (за вычетом стоимости возвратных отходов); на оплату труда; отчисления на социальные нужды; амортизация основных фондов; прочие затраты. Расчёт основных технико-экономических показателей производства минералонаполненного композита на основе ПВХ показал его рентабельность и целесообразность.

Заключение. В результате исследования предложена технология производства композиционного материала на основе техногенных минеральных и полимерных отходов. Проведен подбор экструзионной линии для получения вспененного композиционного материала и обоснована экономическая целесообразность производства. Полученный продукт, при его не высокой цене (43.3 руб./кг) и удовлетворительных физико-химических свойствах, является конкурентоспособным среди строительных, упаковочных и прочих материалов. Такое производство позволит решить экологические проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды отходами ПВХ и золы уноса, и рационально использовать вторичные ресурсы.

Список литературы

1. Гукова В. А., Ершова О. В. Эксплуатационные характеристики композиционных материалов на основе вторичного полипропилена и техногенных минеральных отходов // Приоритетные научные направления: от теории к практике. – 2014. – № 11. – С. 149–154.
2. Ершова О. В., Коляда Л. Г., Крапивко Ю. С. Исследование свойств композиционного материала на основе техногенных полимерных и минеральных отходов // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. – 2012. – Т. 1. – № 70. – С. 195-198.
3. Ершова О. В., Чупрова Л. В., Муллина Э. Р., Мишурина О. В. Исследование зависимости свойств древесно-полимерных композитов от химического состава матрицы // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 2; URL: www.science-education.ru/116-12363 (дата обращения: 17.04.2015).
4. Ершова О. В., Муллина Э. Р., Чупрова Л. В., Мишурина О. А., Бодьян Л. А. Изучение влияния состава неорганического наполнителя на физико-химические свойства полимерного композиционного материала // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 12-3. – С. 487-491.

5. Ивановский С. К., Гукова В. А., Ершова О. В. Исследование свойств вспененных композитов на основе вторичных полиолефинов и золы уноса // Тенденции формирования науки нового времени. Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции: В 4 частях / отв. редактор А. А. Сукиасян. – Уфа: Республика Башкортостан, 2014. – С. 18-24.
6. Кербер М. Л., Виноградов В. М., Головкин Г. С. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология: учеб. пособие / Под ред. А. А. Берлина. – СПб.: Профессия, 2008. – 560 с.
7. Клемпнер Д. Полимерные пены. Технологии вспенивания [Текст]: пер. с англ. / Д. Клемпнер, В. Сендиджаревич / Под ред. А. М. Чеботаря. – СПб.: Профессия, 2009. – 600 с.
8. Пахаренко В. А., Яковлева Р. А., Пахаренко А. В. Переработка полимерных композиционных материалов: – К.: Издательская компания «Воля», 2006. – 552 с.
9. Снежков В. Новые технологии и оборудование для переработки вторичных полимеров [Электронный ресурс]: публикации / В. Снежков. – Режим доступа: <http://www.larta.com>.
10. Чупрова Л. В., Муллина Э. Р. Технологические особенности производства упаковки из вторичного полиэтилентерефталата (ПЭТ) // Молодой учёный. – 2013. – № 5. – С. 123-125.
11. Чупрова Л. В., Муллина Э. Р., Мишурина О. В., Ершова О. В. Исследование возможности получения композиционных материалов на основе вторичных полимеров // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 4; URL: www.science-education.ru/118-14200 (дата обращения: 14.04.2015).
12. Экструзионная линия для производства вспененного листа ПВХ [Электронный ресурс] Режим доступа: <http://formagotova.ru/>.
13. Gukova V. A., Ershova O. V. The development of composite materials based on recycled polypropylene and industrial mineral wastes and study their operational properties// В сборнике: European Conference on Innovations in Technical and Natural Sciences Vienna, 2014. P. 144-151.

Рецензенты:

Бигеев В. А., д.т.н., профессор, директор института металлургии, машиностроения и металлообработки ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск;

Стеблянко В. Л., д.т.н., профессор ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова», г. Магнитогорск.