

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИМЕРНО-БУМАЖНЫХ КОМПОЗИТОВ ИЗ ОТХОДОВ УПАКОВКИ

Кремнева А.В.¹, Коляда Л.Г.¹, Пономарев А.П.¹

¹ФГБОУ ВПО «Магнитогорский Государственный технический университет им. Г.И. Носова», Магнитогорск, Россия (455000, Магнитогорск, пр. Ленина, 38), e-mail: chem@magtu.ru

В работе получены различные полимерно-бумажные композиты из отходов упаковки, а также проведен анализ зависимости варьируемых технологических факторов на физико-механические свойства композитов. Анализ полученных результатов показал, что с увеличением содержания полимерной фракции масса 1 м² композита растет; введение в полимерно-бумажную суспензию поливинилацетатного клея (ПВА) приводит к увеличению массы 1 м² и предела прочности при расслаивании композитов. По данным реализованного полного факторного эксперимента (ПФЭ), в котором варьируемыми факторами являлись содержание ПЭ и время горячего прессования, было получено адекватное уравнение регрессии, которое показывает, что прочность полимерно-бумажных композитов в большей степени зависит от содержания ПЭ-фракции. Установлено, что полимерно-бумажные композиты с оптимальными физико-механическими свойствами могут быть получены при следующих условиях: содержание полимерной ПЭ-фракции – 20 %, время горячего прессования – 30 с.

Ключевые слова: полимерно-бумажные композиты, вторичные целлюлозные волокна, полиэтилен (ПЭ), полипропилен (ПП), время горячего прессования, предел прочности при расслаивании, предел прочности при растяжении, полный факторный эксперимент (ПФЭ).

PRODUCTION THE POLYMERIC AND PAPER COMPOSITES FROM PACKAGING WASTE

Kremneva A.V.¹, Kolyada L.G.¹, Ponomarev A.P.¹

¹ Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, Magnitogorsk, Russia (455000, Magnitogorsk, Lenin Avenue, 38), e-mail: chem@magtu.ru

We have produced various polymeric and paper composites from packaging waste and also we have investigated the dependence of varied technology factors on physical - mechanical properties of composites. The analysis of the received results showed that the increase of the concentration of polymeric fraction leads to the growth of the weight of 1 sq.m of a composite; insertion of polyvinyl acetate in polymeric and paper composite result in increase of the weight of 1 sq.m and ultimate stratification strength of composites. According to the realized complete factorial (CF) in which variable factors were the concentration of PE and hot pressing time, the adequate regression equation was received. It shows that the strength of polymeric and paper composites in a greater degree depends on the concentration of PE-fraction. It is determined that the polymeric and paper composites with optimal physical-mechanical properties can be produced under the following conditions: the concentration of polymeric PE - fraction - 20%, hot pressing time – 30 seconds.

Key words: the polymeric and paper composites, secondary cellulose fibers, polyethylene (PE), polypropylene (PP), pressing time, ultimate stratification strength, tensile strength, complete factorial (CF).

Введение

Проблема твердых бытовых отходов (ТБО) является актуальной, поскольку ее решение связано с необходимостью охраны окружающей среды и ресурсосбережения. ТБО, образующиеся в результате жизнедеятельности населения, представляют собой гетерогенную смесь сложного морфологического состава, основными компонентами которой являются отходы упаковки. Кардинальный путь решения проблемы утилизации ТБО, учитывающий требования экологии, ресурсосбережения и экономики, – это промышленная переработка отдельных фракций ТБО с получением различного вторичного сырья [7]. Легкая

фракция ТБО представлена преимущественно бумагой и полимерными пленками, в основном полиолефинами – полиэтиленом низкой плотности (ПЭ) и полипропиленом (ПП). Одной из основных операций при сортировке ТБО на тяжелую и легкую фракции является аэросепарация. При этом легкая бумажно-полимерная фракция содержит 75 – 80 % бумаги и 20 – 25 % полиолефинов [4].

В связи с этим цель работы заключалась в исследовании возможности совместной переработки бумажной и полимерной фракций отходов упаковки.

При реализации поставленной цели решались следующие задачи:

- получение полимерно-бумажных композитов;
- изучение физико-механических свойств композитов;
- реализация полного факторного эксперимента по выявлению влияния некоторых технологических факторов на физико-механические свойства композитов.

Получение полимерно-бумажных композитов включало следующие стадии: измельчение, приготовление полимерно-бумажной суспензии, формование отливки, горячее прессование и сушка [3].

Подготовка массы заключалась в составлении композиции из вторичных целлюлозных волокон и полиолефинов (полиэтилена низкой плотности ПЭ и полипропилена ПП) и получения ее водной суспензии. Содержание полиолефинов в полимерно-бумажных композитах варьировалось от 10 до 30 %.

Роспуск макулатурных волокон в водной среде проводили в дезинтеграторе при температуре 40 °С до получения однородной массы. При этом происходит как чисто механический процесс изменения формы и размеров волокон, так и коллоидно-химический процесс, называемый гидратацией. Придание волокнистому материалу определенной степени гидратации необходимо для создания сил сцепления между волокнами для получения прочного и плотного композита [3].

Приготовленные суспензии отфильтровывали под вакуумом. Избыток влаги из полученных композитов удалялся на прижимных валках. Прессование полимерно-бумажных композитов проводили при температуре 150 °С и усилии 29,7 Н. Время горячего прессования варьировали от 10 до 50 секунд. Сушку полимерно-бумажных композитов проводили при комнатной температуре на воздухе в течение 24 часов.

Для проклейки массы использовали два вида клея – силикатный клей и поливинилацетатную (ПВА) суспензию (1 % масс) [2, 5].

Физико-механические свойства полимерно-бумажных композитов (толщина, масса 1 м², плотность, предел прочности при расслаивании, предел прочности при растяжении) были определены по существующим стандартным методикам. На рисунке 1

представлены зависимости массы 1 м^2 полученных композитов от содержания полимерных фракций.

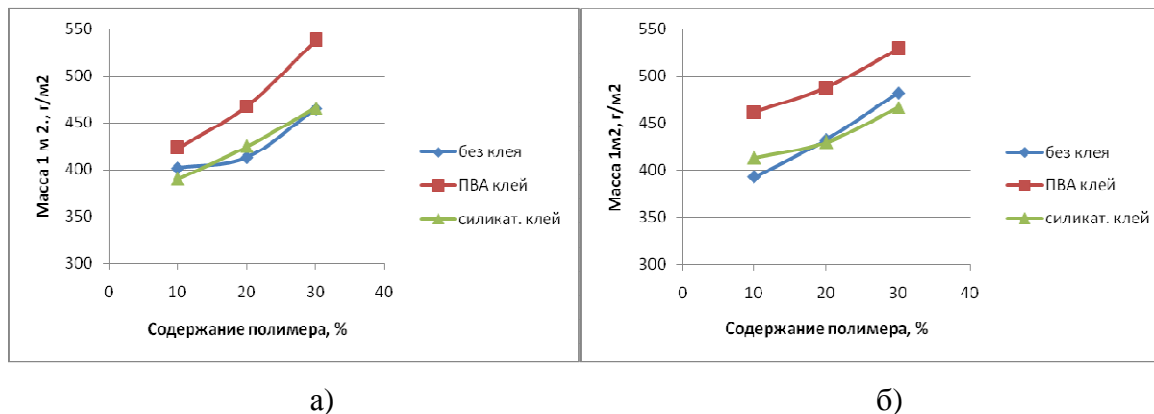


Рис. 1. Зависимость массы 1 м^2 композитов от содержания полимерной фракции: а) ПЭ; б) ПП

Из анализа полученных результатов следует:

- с увеличением содержания полимерной фракции масса 1 м^2 композита растет;
- введение в полимерно-бумажную суспензию клея ПВА приводит к увеличению массы 1 м^2 от 5 до 18 %, что обусловлено прочным сцеплением целлюлозных волокон и частиц полимерных фракций.

Предел прочности при расслаивании композитов определяли по ГОСТ 13648.6-86 «Бумага и картон. Методы определения сопротивления расслаиванию». Сопротивление расслаиванию связано с действием расслаивающих сил, которые зависят от величины силы связи между целлюлозными волокнами. Расслаивание образца композита проводили на испытательной машине ИП 5158-0,5 под действием растягивающего усилия, перпендикулярного плоскости образца. Образец крепится к стальным пластинам приспособления разрывной машины двусторонней самоклеющейся лентой и выдерживается под нагрузкой $450 \pm 50 \text{ Н}$ в течение $300 \pm 10 \text{ с}$. Если связи между частицами полимера и целлюлозными волокнами малы, то нарушается композиционная устойчивость материала и происходит внутреннее расслаивание [6].

Полученные результаты предела прочности при расслаивании композитов представлены на рисунке 2.

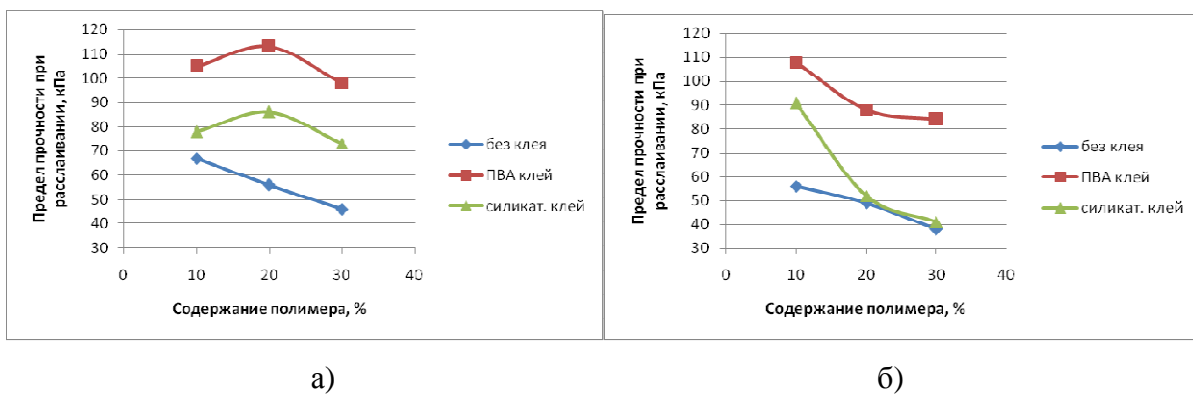


Рис. 2. Зависимость предела прочности при расслаивании композитов от содержания полимерной фракции: а) ПЭ; б) ПП

Установлено, что при введении клея ПВА предел прочности при расслаивании увеличивается на 56-121 %, при введении силикатного клея – на 16-58 %. Композиты с ПЭ в целом имеют более высокие значения предела прочности при расслаивании, чем образцы с ПП. Температура прессования – 150 °С достаточна для расплавления частиц ПЭ ($t_{пл} = 100 - 108$ °С), которые связывают целлюлозные волокна, и при последующей естественной сушке образуют жесткий бумажно-полимерный композит. При растягивающих усилиях композит не разрушается, а происходит отрыв образца от клеящей ленты. Поэтому показатель – предел прочности при расслаивании не является информативным и по нему нельзя судить о прочности композита. Температура плавления ПП составляет 160 – 168 °С, поэтому температура прессования недостаточна для плавления полипропилена. В результате частицы ПП слабо сцеплены с целлюлозными волокнами, образуется рыхлая структура композита, которая легко расслаивается при растягивающих усилиях. Поэтому, в дальнейших исследованиях изучались композиты на основе ПЭ-фракции с ПВА проклейкой.

Предел прочности при растяжении композитов определяли по ГОСТ 13525.1-79 «Бумага и картон. Метод определения прочности на разрыв и удлинение при растяжении». Предел прочности при растяжении композита является количественной характеристикой силы его межволоконных связей и определяется под действием усилия, направленного параллельно плоскости образца. Полученные результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты определения предела прочности при растяжении композитов (МПа)

Время горячего прессования, с	Содержание ПЭ, %		
	10	20	30
10	3	4	2
30	7	6	6

50	4	5	1
----	---	---	---

Из предварительного анализа полученных результатов следует, что максимум предела прочности при растяжении полимерно-бумажных композитов достигается у всех образцов, подвергавшихся горячему прессованию в течение 30 с. Это время достаточно для наиболее полного расплавления ПЭ и сцепления целлюлозных волокон без их разрушения. При более длительном времени горячего прессования, вероятно, происходит частичное разрушение целлюлозных волокон с появлением подпалин.

В соответствии с данными источников [2] получаемый композит возможно использовать для получения бумажно-литьевых изделий для упаковки и транспортировки хрупких предметов как заменитель картона для изготовления коробок, а также как материал строительного назначения. Следовательно, целесообразно установить степень влияния технологических факторов (содержание полимерной фракции и время горячего прессования) на прочностные характеристики получаемых композитов, а именно на предел прочности при растяжении композита.

С этой целью был спланирован и реализован полный факторный эксперимент (ПФЭ).

В качестве базовых значений принимаются: содержание ПЭ 20 % с интервалом варьирования 10 %; время выдержки под горячим прессом 30 с с интервалом варьирования 20 с. Такой базовый уровень принят из учета того, что примерно 20 – 25 % ПЭ включает в себя ламинированная бумага – один из источников сырья для получения полимерно-бумажных композитов в промышленных условиях; а при 30 с происходит наиболее полное расплавление ПЭ и сцепление целлюлозных волокон без их разрушения.

В соответствии с методикой проведения ПФЭ была построена матрица планирования (таблица 2), согласно которой было проведено 4 опыта с различными содержаниями ПЭ и разным временем выдержки под прессом.

Таблица 2

Матрица планирования

№ опыта	Значения факторов в натуральной форме		Значения факторов в безразмерной форме			y
	Содержание ПЭ, %	Время выдержки под прессом, с	X ₀	X ₁	X ₂	

1	10	10	1	-1	-1	2,36
2	30	10	1	1	-1	2,46
3	10	50	1	-1	1	3,76
4	30	50	1	1	1	0,98

По результатам проведения ПФЭ было получено адекватное результатам исследований следующее уравнение регрессии:

$$\hat{y} = 2,39 - 0,67x_1 - 0,72x_1x_2.$$

Проверка коэффициентов полученного уравнения на значимость по критерию Стьюдента [1] показала, что коэффициент при x_2 является незначимым и поэтому он должен быть исключён.

Полученное уравнение регрессии адекватно и позволяет судить о том, что на предел прочности при растяжении полимерно-бумажных композитов наибольшее влияние оказывает такой фактор, как содержание ПЭ (x_1). Совместное воздействие двух факторов – содержание ПЭ в полимерно-бумажных композитах и время горячего прессования оказывается более существенным по сравнению с влиянием только содержания полимера в композите.

Проведённые эксперименты и анализ полученного уравнения регрессии позволили установить, что полимерно-бумажные композиты с оптимальными физико-механическими свойствами могут быть получены при следующих условиях: содержание полимерной ПЭ фракции – 20 %, время горячего прессования – 30 с, использование ПВА-суспензии для проклейки массы.

Заключение

Проведенный ПФЭ и анализ полученного уравнения регрессии показал, что полимерно-бумажные композиты с оптимальными физико-механическими свойствами могут быть получены при следующих условиях: содержание полимерной ПЭ фракции – 20 %, время горячего прессования – 30 с, использование ПВА-суспензии для проклейки массы.

Список литературы

1 Блохин А.В. Теория эксперимента: курс лекций в двух частях. – Мн.: Научно-методический центр БГУ, 2003. – Ч. 2. – С. 41-43.

- 2 Вторичное волокно [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.arzpusk.ru>.
- 3 Вураско А.В. Лабораторный практикум по технологии и оборудованию получения и переработки волокнистых полуфабрикатов: учеб. пособие. – Екатеринбург: Изд-во Урал. гос. лесотехн. ун-та, 2010. – 155 с.
- 4 Деркач, Я.В. Переработка тары и упаковки из комбинированных материалов // Тара и упаковка. – 2004. - № 1. – С. 26-27.
- 5 Кондаков А.В. Ферментные технологии для подготовки макулатуры к изготовлению бумаги и картона: дис. канд. тех. наук. – Архангельск, 2009. – С. 14-15.
- 6 Кремнева А.В., Коляда Л.Г., Пономарев А.П. Исследование возможности получения полимерно-бумажных композитов из отходов упаковки // Актуальные проблемы современной науки: сб.ст. Международной научно-практической конференции (Уфа, 13 – 14 дек. 2013 г.). – Уфа, 2013. – С. 176 – 179.
- 7 Шубов, Л.Я., Ройзман, В.Я., Дуденков С.В. Обогащение твердых бытовых отходов. – М.: Недра, 1987. – 238 с.

Рецензенты:

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

Медяник Н.Л., д.т.н., профессор, зав. кафедрой химии ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск.