

УДК 628.477.6

ВТОРИЧНАЯ ПЕРЕРАБОТКА КОМБИНИРОВАННЫХ ОТХОДОВ УПАКОВКИ

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

*ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»,
Магнитогорск, e-mail: chem@magtu.ru*

Работа направлена на решение актуальной проблемы загрязнения окружающей среды твёрдыми бытовыми отходами (ТБО). Цель работы заключалась в исследовании возможности совместной переработки бумажной и полимерной фракций отходов упаковки, которые составляют примерно 50% от общего объёма ТБО. В ходе исследования были получены различные полимерно-бумажные композиты из отходов упаковки, изучены их физико-механические свойства, предложена технологическая схема производства композитов из отходов упаковки, проведён полный факторный эксперимент и проанализировано влияние технологических факторов на свойства композитов. Установлено, что полимерно-бумажные композиты с наилучшими физико-механическими свойствами могут быть получены при следующих условиях: содержание полимерной ПЭ-фракции – 20%, время горячего прессования – 30 с, использование ПВА для проклейки.

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

RECYCLING OF COMPOSITE PACKAGING WASTE

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

FGBOU VPO «Nosov Magnitogorsk State Technical University», Magnitogorsk, e-mail: chem@magtu.ru

The research is aimed at urgent problem solving of environmental pollution by municipal solid waste (MSW). The purpose of the work was to study the possibility of joint paper and polymeric packaging waste recycling. This waste constitutes about 50% of the total MSW. While investigating we have produced various polymeric and paper composites from packaging waste, studied their physical-mechanical properties, proposed flowsheet of composite production from packaging waste, conducted a complete factorial and analyzed the impact of varied technological factors on physical-mechanical properties of composites. It is determined that the polymeric and paper composites with the best physical-mechanical properties can be produced under the following conditions: the content of polymeric PE-fraction – 20%, hot pressing time – 30 seconds, the use of PVA for sizing.

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

Проблема твёрдых бытовых отходов (ТБО) является актуальной, поскольку её решение связано с необходимостью охраны окружающей среды и ресурсосбережения. ТБО, образующиеся в результате жизнедеятельности населения, представляют собой гетерогенную смесь сложного морфологического состава [6], основными компонентами которой являются отходы упаковки (около 50%). Кардинальный путь решения проблемы утилизации ТБО – это промышленная переработка их отдельных фракций.

Лёгкая фракция ТБО представлена преимущественно бумагой и полимерными плёнками, в основном полиолефинами – полиэтиленом (ПЭ) и полипропиленом (ПП). Одной из основных операций при сортировке ТБО на тяжёлую и лёгкую фракции является аэросепарация. При этом выделяется лёгкая бумажно-полимерная фракция, которая содержит 75–80% бумаги и 20–25% полиолефинов [3].

Таким образом, цель работы заключалась в исследовании возможности совместной переработки бумажной и полимерной фракций отходов упаковки.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- получить полимерно-бумажные композиты;
- изучить физико-механические свойства композитов;
- предложить технологическую схему производства полимерно-бумажных композитов из отходов упаковки;
- провести полный факторный эксперимент для установления влияния основных технологических факторов на физико-механические свойства композитов.

Материалы и методы исследования

Получение полимерно-бумажных композитов включало следующие стадии: измельчение, приготовление полимерно-бумажной суспензии, формование отливки, горячее прессование и сушка [4]. Содержание полиолефинов в полимерно-бумажных композитах варьировалось от 10 до 30%. Для проклейки массы использовали два вида клея – силикатный и поливинилацетатный (ПВА) (1% масс) [5].

Роспуск макулатурных волокон в водной среде осуществлялся в дезинтеграторе при температуре 40°C 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 [2].

Из приготовленной суспензии вакуумированием получали полимерно-бумажные отливки. Прессование полимерно-бумажных композитов проводили при температуре 150 °С и усилии 29,7 Н. Время горячего прессования варьировали от 10 до 50 с. Сушку полимерно-бумажных композитов проводили при комнатной температуре на воздухе в течение 24 часов [4].

Полученные полимерно-бумажные композиты с предварительно определённой массой композита площадью 1 м² по ГОСТ 13199-88 «Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Метод определения массы продукции площадью 1 м²» были подвергнуты испытаниям на расслаивание по ГОСТ 13648.6-86 «Бумага и картон. Методы определения сопротивления расслаиванию» и растяжение по ГОСТ 13525.1-79 «Полуфабрикаты волокнистые, бумага и картон. Методы определения прочности на разрыв и удлинения при растяжении». Исследования проводились на испытательной машине ИП 5158-0,5 производства ООО «Импульс» (г. Иваново) в Лаборатории физико-химических испытаний упаковочных материалов ФГБОУ ВПО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова».

Для установления степени влияния технологических факторов на свойства композитов, а именно на предел прочности при растяжении (σ , МПа), был спланирован полный факторный эксперимент (ПФЭ). В качестве варьируемых факторов были выбраны содержание ПЭ ($C_{ПЭ}$, % (x_1 в нормированном виде)) с основным уровнем 20% и интервалом варьирования $\pm 10\%$ и время выдержки под горячим прессом ($t_{выл}$, с (x_2 в нормированном виде)) с основным уровнем 30 с и интервалом варьирования ± 20 с. Такие значения основного уровня варьируемых факторов были приняты, исходя из 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 [4].

В соответствии с методикой проведения ПФЭ [1] была построена матрица планирования эксперимента (табл. 1), согласно которой было проведено четыре опыта с различным содержанием ПЭ и разным временем выдержки под прессом.

Результаты исследования и их обсуждение

На рис. 1 представлены зависимости массы 1 м² полученных композитов от содержания полимерных фракций.

Из анализа полученных результатов следует, что с увеличением содержания полимерной фракции масса 1 м² композита растёт, введение в полимерно-бумажную суспензию клея ПВА приводит к повышению массы 1 м² от 5 до 18%. Это объясняется прочным сцеплением целлюлозных волокон и частиц полимерных фракций [5].

При введении в суспензию ПВА также возрастает прочность при расслаивании полимерно-бумажных композитов. Полученные результаты испытаний по определению предела прочности при расслаивании композитов представлены на рис. 2.

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 с ПП. Это объясняется тем, что температура прессования достаточна для расплавления частиц ПЭ, которые связывают целлюлозные волокна и при последующей сушке образуют жёсткий полимерно-бумажный композит. При растягивающих усилиях он не разрушается, а происходит отрыв образца от клеящей ленты, поэтому показатель «предел прочности при расслаивании» не является достаточно информативным для композитов с ПЭ-фракцией. Для плавления ПП температура горячего прессования недостаточна, в результате чего его частицы слабо сцеплены с целлюлозными волокнами, структура композита рыхлая. По этой причине в дальнейших исследованиях изучались композиты на основе ПЭ-фракции с ПВА-проклейкой [5].

Предел прочности при растяжении композитов является количественной характеристикой силы его межволоконных связей. На рис. 3 представлены деформационно-прочностные кривые, построенные при растяжении полимерно-бумажных композитов, которые были получены с применением ПВА-проклейки и временем горячего прессования 30 с.

Таблица 1

Матрица планирования эксперимента

№ опыта	Значения факторов в натуральном масштабе		Нормированные значения факторов			
	$C_{ПЭ}$, %	$t_{выл}$, с	x_0	x_1	x_2	x_1x_2
1	10	10	1	-1	-1	1
2	30	10	1	1	-1	-1
3	10	50	1	-1	1	-1
4	30	50	1	1	1	1

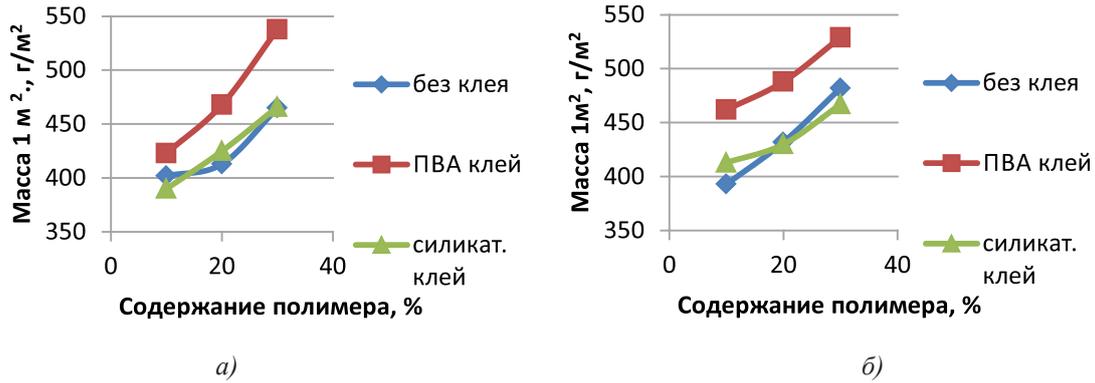


Рис. 1. Зависимость массы 1 м² композитов от содержания полимерной фракции: а) ПЭ; б) ПП

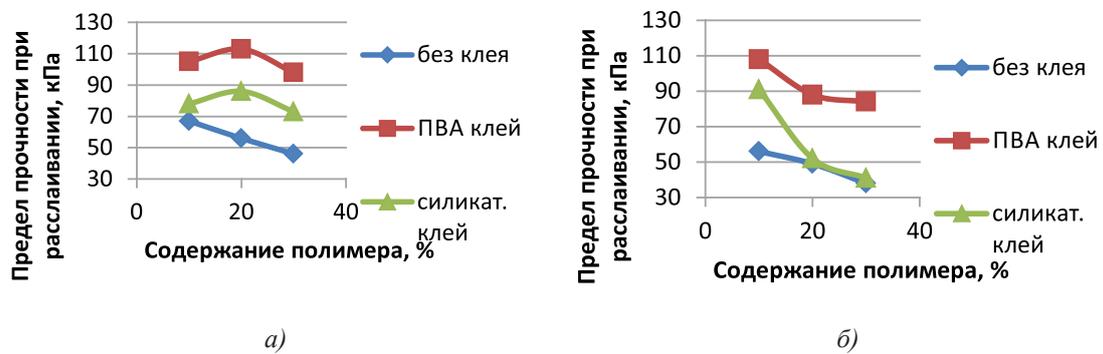


Рис. 2. Зависимость предела прочности при расслаивании композитов от содержания полимерной фракции: а) ПЭ; б) ПП

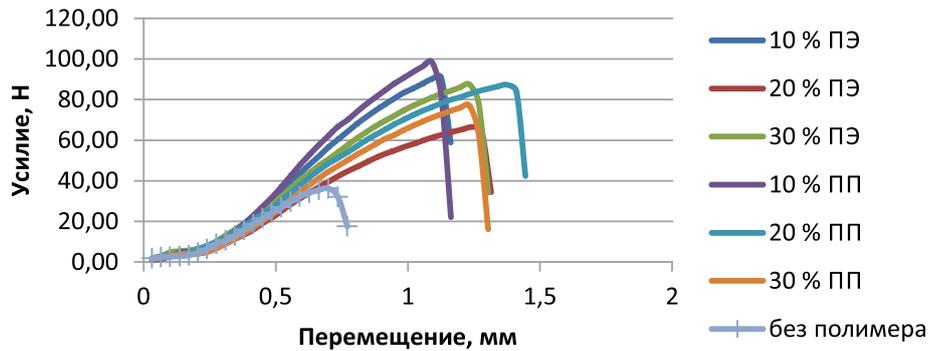


Рис. 3. Деформационно-прочностные кривые для полимерно-бумажных композитов (используемый клей – ПВА, время горячего прессования – 30 с)

Таблица 2
Результаты определения предела прочности при растяжении композитов (МПа)

Время горячего прессования $t_{\text{выд}}$, с	Содержание ПЭ $S_{\text{ПЭ}}$, %		
	10	20	30
10	3	4	2
30	7	6	6
50	4	5	1

Сопrotивление разрыву у композитов с полимерной фракцией в сравнении с бумагой возрастает на 100–168%. Также увеличивается и удлинение до разрыва на 56,5–100%. Результаты измерения предела прочности при растяжении композитов, полученные при варьировании времени горячего прессования, представлены в табл. 2.

Анализ полученных результатов показывает, что наибольшее значение предела прочности при растяжении полимерно-бумажных композитов достигается у всех образцов, подвергшихся горячему прессованию в течение 30 с. Этого времени достаточно для 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 [5].

В соответствии с данными источников [6] получаемый композит возможно использовать для получения таких бумажно-литевых изделий, как картон и др. Традиционно данные изделия изготавливают из макулатуры. Технологии их производства известны, они имеют схожий между собой характер.

Новизна настоящей работы заключается в предложении переработки не только макулатуры, но и полиолефиновых плёнок совместно с макулатурой в изделия. Технологическая схема переработки отходов упаковки с получением полимерно-бумажных композитов и изделий из них включает: измельчение ТБО, аэросепарацию, пульпирование, составление композиции, формование изделия, горячее прессование, сушку, контроль качества, упаковку.

Из измельчённого потока ТБО на стадии аэросепарации выделяется лёгкая фракция, представленная бумагой и полиолефиновой плёнкой. На стадии пульпирования подготовленную макулатуру и плёнку загружают в гидроразбиватель, дезинтегратор или пульпер, где происходит роспуск макулатурных волокон и смешивание их с частицами полимера. Следующая стадия – стадия составления композиции, после которой можно приступать к формованию изделий. Часто формование изделий и горячее прессование происходят одновременно. Формование изделий осуществляют с помощью вакуум-насосов на формирующих матрицах или сеточных столах. Прессование может проходить на нагретых валах

или с помощью пуансонов, что зависит от вида изготавливаемого изделия. Далее изделие высушивают для удаления остатков влаги и приобретения окончательного вида. Сушка может производиться на воздухе или в сушилках различного типа. Затем изделие проверяют на качество и упаковывают.

По результатам проведённого ПФЭ было получено адекватное результатам исследований уравнение регрессии:

$$\sigma = 2,39 - 0,67 \cdot \left(\frac{C_{ПЭ} - 20}{10} \right) - 0,72 \left(\frac{C_{ПЭ} - 20}{10} \right) \cdot \left(\frac{t_{выд} - 30}{20} \right).$$

Данное уравнение позволяет судить о том, что на предел прочности при растяжении полимерно-бумажных композитов наибольшее влияние оказывает такой фактор, как содержание ПЭ. Также на значение выходной величины влияет взаимодействие двух факторов – содержания ПЭ и времени горячего прессования [5].

Заключение

Проведённые эксперименты и анализ полученного уравнения регрессии позволили установить, что полимерно-бумажные композиты с наилучшими 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. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 280 с.
2. Вторичное волокно // AP3 Плюс: сайт. – URL: <http://arzpuck.ru/arz052.html> (дата обращения 02.07.2015).
3. Деркач Я.В. Переработка тары и упаковки из комбинированных материалов // Тара и упаковка. – 2004. – № 1. – С. 26–27.
4. Кремнева А.В., Коляда Л.Г., Пономарев А.П. Исследование возможности получения полимерно-бумажных композитов из отходов упаковки // Актуальные проблемы современной науки: сборник статей Международной научно-практической конференции 13–14 декабря 2013 г. (г. Уфа): в 4 ч. Ч.4. – Уфа: РИЦ БашГУ, 2013. – С. 176–179.
5. Кремнева А.В., Коляда Л.Г., Пономарев А.П. Получение полимерно-бумажных композитов из отходов упаковки // Современные проблемы науки и образования, 2014. – № 2. – URL: <http://www.science-education.ru/116-12900> (дата обращения 02.07.2015).
6. Шубов Л.Я., Ройзман В.Я., Дуденков С.В. Обогащение твёрдых бытовых отходов. – М.: Недра, 1987. – 238 с.