

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алабужев, П.М. Теории подобия и размерностей. Моделирование. / П.М. Алабужев, В.Б. Геронимус, Л.М. Минкевич, Б.А. Шеховцов. – М.: Высш. шк., 1968. – 208 с.
2. Иовенко, В.В. Начальные сведения по теории подобия и моделирования. – Хабаровск: Издат. ТОГУ, 2019. – 260 с.
3. Набока, В.В. Методические указания по выполнению лабораторных работ по дисциплине «Процессы и аппараты химической технологии». Часть I «Гидромеханические процессы». / В.В. Набока, Е.В. Подоплелов, А.И. Дементьев, В.М. Соломонова. – Ангарск, АНГТУ, 2018. – 44 с.

УДК 678.742.2 : 66.018.83

*Гененко Наталия Ивановна,
магистрант, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: natashamiss@mail.ru*

*Черниговская Марина Алексеевна,
к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,
e-mail: pm888@mail.ru*

ОСОБЕННОСТИ ВОВЛЕЧЕНИЯ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ В ПРОИЗВОДСТВО ПОЛИМЕРНЫХ ПЛЕНОК

Genenko N.I., Chernigovskaya M.A.

FEATURES OF USING SECONDARY RAW MATERIALS IN THE POLYMER FILMS PRODUCTION

Аннотация. Рассмотрены особенности использования вторичного полимерного сырья при производстве полимерных пленок.

Ключевые слова: полимерные материалы, модификация, вторичные полимеры.

Abstract. The features of using recycled polymer raw materials in the production of polymer films are considered.

Keywords: polymer materials, modification, recycled polymers.

В настоящее время полимерные материалы широко распространены не только в быту, но и в других областях человеческой деятельности. Они применяются в промышленности, в медицине, в строительстве, автомобиле- и авиастроении. Вместе с этим образуется большое количество полимерных отходов, получаемых не только в процессе производства полимеров, но и после эксплуатации полимеров и изделий из них.

Классическими способами решения проблемы отходов, в том числе и полимерных, являются:

1. Разработка новых способов применения отходов производства – позволяет перерабатывать отходы, полученные в технологическом процессе, сохраняя свойства материалов и получая продукцию достаточно хорошего качества;
2. Переработка отходов потребления в другие продукты – позволяет перерабатывать бывшие в употреблении материалы в изделия иного назначения, при этом возможна некоторая потеря свойств матери-

ла;

3. Вовлечение вторичного сырья в технологический процесс [1].

Метод вовлечения вторичного сырья в технологический процесс в настоящее время широко применяется в полимерной промышленности. Например, при переработке полиэтилена высокого давления методом экструзии при производстве пленок в состав полимерной композиции могут вводиться отходы производства полиэтилена различных марок в виде гранулята или капсулята.

Вовлечение вторичного сырья в переработку считается наиболее эффективным методом по ряду причин. Во-первых, это позволяет экономить первичное сырье, а, следовательно, и затраты на производство такой продукции также будут снижаться. Во-вторых, возврат вторичного сырья в производственный цикл означает снижение количества отходов и, как следствие, затрат на их обезвреживание или утилизацию. В конечном итоге это позволяет снизить себестоимость конечной продукции, а также умень-

шает экологический ущерб от производства полимеров [1].

Однако использование вторичного сырья в процессе приготовления полимерной композиции имеет ряд особенностей, которые могут привести к снижению качества получаемого продукта. Это связано, в первую очередь, со снижением термической и химической стабильности вторичного полиэтилена в процессе его производства и эксплуатации [2]. Так как основными методами переработки полиэтилена являются термические (в том числе, экструзия пленок), в ходе термического воздействия на полимерную композицию возможно протекание реакций термоокислительной деструкции полимерных цепей, в первую очередь, со стороны вторичного сырья, что приводит к ухудшению внешнего вида и физико-механических характеристик получаемых пленок [3]. Также использование вторичного полиэтилена в составе полимерной композиции приводит к снижению молекулярной массы последней, оказывает влияние на надмолекулярную структуру, и, как следствие, ухудшает эксплуатационные характеристики получаемого материала (вязкостные, механические, и т.д.) [2].

На свойства полимерной пленки оказывают влияние следующие факторы:

1. Состав и свойства исходного, в том числе вторичного сырья (применяемые виды и марки полиэтилена, их параметры, и соотношение в полимерной композиции);
2. Условия проведения процесса переработки (температурный режим стадий нагрева и охлаждения, параметры используемого для раздува воздуха, степень однородности сырьевой смеси, скорость вращения намоточных валков и т.д.) [4, 5];
3. Наличие в составе полимерной композиции различных добавок (красителей, модификаторов, термо- и светостабилизаторов, пластификаторов и других).

Влияние параметров исходного полимерного сырья на свойства конечной композиции связано в первую очередь, с молекулярной массой полимера: с увеличением молекулярной массы цепи возрастает прочность конечного материала, однако снижается пластичность. Также на свойства пленок оказывает влияние структура полимерной цепи. Например, полиэтилен низкого давления (ПЭНД) имеет линейное строение цепи, а полиэтилен высокого давления (ПЭВД) ха-

рактеризуется разветвленной структурой полимерной цепи. Дополнительные ответвления в полимерной цепи способствуют неоднородности свойств по длине цепи, не позволяют создавать плотноупакованные надмолекулярные структуры, что в конечном итоге может привести к неоднородности свойств пленки по длине, однако способствует определенному повышению ее пластичности и гибкости. Применение линейного полиэтилена позволяет создавать достаточно прочные структуры, однако вместе с этим повышается жесткость конечной композиции. Поэтому часто в состав композиции вводят разные виды и марки полимеров в самых разных соотношениях.

Влияние условий процесса переработки выражается, в первую очередь, температурой экструзии [4]. Чем она выше, тем легче расплавляется полимерная масса и тем более однородной она становится, но при этом повышается вероятность термической деструкции полимеров. Подбор температуры экструзии зависит от состава полимерной композиции.

Температурный режим охлаждения и качество охлаждающего воздуха также оказывают существенное влияние на свойства конечной пленки [4]. Так, резкое охлаждение пленки приводит к изменению надмолекулярной структуры цепи полимера: она становится более рыхлой и неоднородной, что негативно сказывается, в первую очередь, на механических свойствах пленки. Использование влажного воздуха для охлаждения пленки также снижает механические свойства полимера из-за образования дефектов поверхности от воздействия влаги.

Для снижения негативных воздействий на пленку в процессе переработки, а также для придания конечному материалу заданных свойств в состав полимерной композиции вводят различные добавки. В случае использования вторичного полимерного сырья большой интерес представляют разного рода стабилизаторы. Введение стабилизаторов направлено на предотвращение процесса деструкции полимерной цепи.

По механизму действия стабилизаторы подразделяются на:

- соединения, которые связывают молекулы окислителя, попавшие в систему, препятствуя началу процесса деструкции;
- соединения, которые стабилизируют свободные радикалы, уже образовавшиеся в

результате деструкции, что препятствует дальнейшему разложению полимерной цепи.

Как правило, в качестве стабилизаторов выступают различные производные фенола, карбоновых кислот, кремнийорганических соединений, или их смеси [6]. Ввод такого модификатора может осуществляться как путем физического смешивания с полимерной композицией [1], так и за счет химического взаимодействия с ненасыщенными фрагментами исходной полимерной цепи [7].

С учетом того, что многие стабилизаторы представляют собой длинноцепные структуры, их внедрение в полимерную композицию изменяет надмолекулярную структуру полимера, что в конечном итоге позволяет проводить переработку в более мягких условиях, сохраняя стабильность свойств конечного материала.

Еще одним важным условием при использовании стабилизаторов и других добавок является их совместимость с полимерной фазой. Его несоблюдение приводит к нарушению однородности полимерной компози-

ции, и, как следствие, к неоднородности свойств получаемой пленки [3, 5, 8].

Таким образом, процесс производства полимерных пленок с вовлечением вторичного сырья оказывается сопряжен с множеством сложностей. Это связано с тем, что на свойства полимерной композиции оказывает влияние не только состав сырьевой композиции, но и технологический режим процесса экструзии. Поэтому при производстве полимерных пленок с использованием вторичного сырья отдельное внимание следует уделять подбору добавок, которые позволят стабилизировать свойства вторичного полимера и снизить негативный эффект от его внедрения в процессе переработки и дальнейшей эксплуатации.

В рамках данной работы нами будут проанализированы закономерности влияния соотношения первичного и вторичного сырья на свойства полимерной композиции. Это позволит в дальнейшем подобрать рецептуры для получения полимерного материала с требуемыми свойствами из заданных видов сырья.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Ершова, О.В.** Деструкция полимерных пленок, модифицированных оксидоразлагаемой добавкой D2W / О.В. Ершова, О.А. Мишурина // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 11-2. – С. 221-225.

2. **Клинов, А.С.** Утилизация и вторичная переработка тары и упаковки из полимерных материалов: учебное пособие / А.С. Клинов, П.С. Беляев, В.К. Скуратов, М.В. Соколов, В.Г. Однолько. – Тамбов: Изд-во Тамбовского гос. техн. университета, 2010. – 100 с.

3. **Тверитникова, И.С.** Модификация полимерных смесей с сополимерами для получения полимерных композиций с улучшенными деформационно-прочностными характеристиками / И.С. Тверитникова, О.А. Банникова, О.В. Безнаева, В.А. Романова, Д.М. Загребина, Т.А. Кондратова // Health, Food & Biotechnology. – 2019. – Т. 1. – № 3. – С. 92-105.

4. **Ефремов, Н.Ф.** Влияние технологии производства пленок полиэтилена низкой плотности на свойства упаковки / Н.Ф. Ефремов, А.Н. Утехин, А.В. Канаичева //

Вестник МГУП имени Ивана Федорова. – 2016. – № 2. – С. 82-86.

5. **Шмакова, Н.С.** Влияние ультразвука на получение полиэтиленовых пленок с антимикробными свойствами / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Шмакова Наталья Сергеевна; Московский государственный университет пищевых производств. – Москва, 2021. – 17 с.: ил. – Место защиты: ФГБОУ ВО «Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство.)».

6. **Корчагин, В.И.** Термоокислительная деструкция полиэтилена, модифицированного железосодержащим прооксидантом / В.И. Корчагин, А.М. Суркова, А.В. Протасов, А.А. Гапеев, А.С. Губин, Н.В. Ерофеева // Фундаментальные исследования. – 2018. – № 1 – С. 12-17.

7. **Авторское свидетельство № 226839 СССР, МПК C08J 11/04 (1973).** Способ регенерации вторичного полиэтилена и полипропилена: № 3384930/23–05. заявл. 20.01.82; опубл. 23.10.83 / В.Я. Булгаков, Р.С. Нацвлишвили, В.Г. Пиркулов, и др.: Бюл. № 9. – 3 с.

8. Новинский, Г.М. Влияние полимерных добавок на деформационно-прочностные и реологические свойства технологических отходов полипропилен-полиэтиленовых смесей / Г.М. Новинский, И.В. Никитина, А.В. Филатов, В.К. Крыжа-

новский // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). – 2012. – № 13. – С. 42-45.

УДК 621

Дементьев Анатолий Иванович,

*к.т.н., доцент, профессор кафедры «Машины и аппараты химических производств»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: anatdementev@mail.ru*

Подоплелов Евгений Викторович,

*к.т.н., доцент, зав. кафедрой «Машины и аппараты химических производств»,
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,
e-mail: uch_sovet@angtu.ru*

Петрушин Георгий Александрович,

студент кафедры «Машины и аппараты химических производств», ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: georg.petrushin@yandex.ru

Петрушина Анна Дмитриевна,

студентка кафедры «Машины и аппараты химических производств», ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет», e-mail: tut.ann4@yadex.ru

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООБМЕНА В ОШИПОВАННЫХ ТРУБАХ

Dement'ev A.I., Podoplelov E.V., Petrushin G.A., Petrushina A.D.

INVESTIGATION OF HEAT TRANSFER IN STUDDED PIPES

Аннотация. В работе поставлена цель интенсификации процесса теплообмена с помощью шипования труб в теплообменном аппарате. Благодаря ошипованным трубам, значительно увеличивается площадь поверхности теплообмена, что позволяет получить более эффективный теплообмен. Шипы наносятся на трубу с помощью электрометаллизатора марки ЭМ-14М. Металлизированные поверхности позволяют добиться более высокого коэффициента теплоотдачи, в сравнении с гладкой трубой, и сократить металлоемкость теплообменного оборудования.

Ключевые слова: кожухотрубный теплообменный аппарат, теплоотдача, интенсификация, электрометаллизатор, ошипованные трубы

Abstract. The aim of the paper is to intensify the heat exchange process by means of studding pipes in a heat exchanger. Thanks to the studded pipes, the area of the heat exchange surface is significantly increased, which allows for more efficient heat exchange. The sheets are applied to the pipe using an EM-14M electrometallizer. Metallized surfaces make it possible to achieve a higher heat transfer coefficient, in comparison with a smooth pipe, and reduce the metal consumption of heat exchange equipment.

Keywords: shell-and-tube heat exchanger, heat transfer, intensification, electrometallizer, studded pipes.

Теплообменные аппараты - это один из наиболее металлоемких видов оборудования. Снижение металлоемкости и уменьшение габаритных размеров является актуальной задачей на сегодняшний день. Чтобы добиться поставленной задачи, нужно повышать эффективность работы теплообменного оборудования [1, 2].

Для этого существует много различных способов: оребрение труб, нанесение алюми-

ниевых или цинковых металлических покрытий на внутреннюю и внешнюю поверхность теплообменных труб, использование витых труб, а также шипование. Ошипованные трубы являются одной из самых перспективных разработок в области интенсификации процесса теплообмена.

В данном исследовании мы обратим внимание на кожухотрубный теплообменный аппарат с сегментными перегородками, ко-