

#### Список использованных источников

1. Сподобаев, Ю. М. Основы электромагнитной экологии / Ю. М. Сподобаев, В. П. Кубанов. – Москва : Радио и связь 2000. – 240 с.
2. Левит, Р. М. Электропроводящие химические волокна / Р. М. Левит. – Москва : Химия, 1986. – 200 с.
3. Протокол испытаний №76/43 от 30 мая 2008, РУПП «БелГИМ», производственно - исследовательский отдел радиоэлектронных измерений.
4. Electromagnetic Shielding Effectiveness of Stainless of stainless steel/polyester woven fabrics / Cheng, K. B., Lee M. L., Textile research journal– Republic of China, 2001.
5. Effect of stainless steel-containing fabrics on electromagnetic shielding effectiveness / Ching-luan Su, Jin-Tsair Chern – Republic of China, 2004.

*Статья поступила в редакцию 21.04.2010 г.*

#### SUMMARY

The scientific article is devoted to the complex analysis of shielding properties of fabrics for special purposes with the combined electro conductive yarns in structure. The values of main physical-mechanical properties of electro conductive yarns and fabrics for special purposes are determined. The results of experiment by defining of influence different weaves and densities of fabrics for special purposes at shielding efficiency are described. It is defined, that for reaching of maximal shielding efficiency the most optimally to manufacture the fabrics of satin переплетений with the maximally possible densities, with the diameter of copper filament – 0,1 mm.

УДК 678.664

### **ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО РЕЦИКЛИНГА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ ОТХОДОВ ПЕНОПОЛИУРЕТАНА**

***К.С. Матвеев, В.В. Пятов***

Отходы пенополиуретанов (ППУ), образующиеся при изготовлении обувных подошв методом жидкого формования, относятся к группе реактопластов, плохо поддающихся переработке и утилизации. При захоронении отходов полиуретана образуются вредные продукты, а при его сжигании выделяются токсичные газы, что отравляет окружающую среду.

В то же время, отходы ППУ являются ценным материалом, способным при правильной переработке значительно уменьшить экспорт определенных видов полимеров в Республику Беларусь. Процесс переработки отходов обувных ППУ эффективно реализуется на шнековых экструзионных машинах. Так еще в 1980 году в ФРГ был разработан процесс рециклинга отходов ППУ, который реализовывался на шнековом экструдере специальной конструкции. Продукт переработки в виде гранулированного термопластичного материала использовался для производства подошв специальной обуви, изготовления литой обуви, каблуков, подносок и некоторых видов технических изделий [1].

В СССР и на постсоветском пространстве переработка отходов полиуретана в промышленных масштабах не осуществлялась. Попытки получения вторичного регенерата из отходов ППУ на вальцовых механизмах, ввиду низкой производительности процесса, не принесли существенного экономического эффекта и были приостановлены [2].

Работы в области переработки отходов ППУ ведутся в УО «Витебском государственном технологическом университете» более 20 лет. Разработанный сотрудниками университета процесс рециклинга отходов ППУ осуществляется на шнековом экструдере, специально спроектированном для этих целей. При переработке отходы ППУ подвергаются интенсивной термомеханической обработке, в результате чего происходит частичный переход реактопласта в термопластичное состояние [3]. Такой процесс в отечественной литературе называют термомеханической деструкцией [4], а в зарубежной литературе, применительно к отходам полиуретанов, – процессом линеизации [1].

Действительно, термическая деструкция, которая наиболее интенсивно протекает в шнековых экструзионных машинах, полностью изменяет поперечную молекулярную структуру и вызывает сокращение числа связей между макромолекулами полимера. В результате трехмерная пространственная структура частично превращается в линейную и материал приобретает свойства термопласта. При этом в макромолекулах сохраняются короткоцепные аллофанатные и биуретовые группы, которые обеспечивают повышенные прочностные характеристики нового материала.

Ранее было высказано предположение [5] о возможности ускорения реакции термомеханической деструкции (линеизации) путем введения химических реагентов, содержащих активные гидроксигруппы (-ОН). Это полностью подтвердилось на практике [3], что позволило осуществлять ускоренный процесс линеизации, при этом дополнительно снижалась температура процесса деструкции, что значительно повышало эффективность переработки.

Однако эти исследования не дали ответа на вопрос о том, какие именно изменения протекают в структуре материала при многократных циклах термомеханической переработки, и насколько при этом изменяются его физико-механические характеристики.

В представленной статье описаны исследования влияния многократной термомеханической переработки на структуру и физико-механические свойства материала, получаемого из отходов обувных ППУ, которые были предоставлены предприятием СООО «МАРКО». Эти отходы образуются в результате изготовления подошв обуви.

Методика получения образцов следующая. Предварительно измельченные отходы ППУ подвергались уплотнению на шнековом экструдере. Интенсивное термическое и механическое воздействие на терморезистивный материал вызывали его термическую деструкцию («линеизацию»), в результате чего он приобретал термопластичные свойства. Полученный термопласт выдавливался через прямоугольную фильеру с выходным отверстием 8×120 мм и сразу же подвергался формованию в закрытой пресс-форме при давлении в 4,5 МПа и температуре 90-95°C.

Из полученных спрессованных пластин отбирали партию образцов для проведения последующих испытаний, а оставшиеся пластины вновь измельчали и подвергали повторной переработке. Таким образом, было получено семь образцов, первый из которых подвергался однократной переработке на шнековом экструдере, а седьмой образец, соответственно, семь раз. В проведенном эксперименте отходы ППУ подвергались многократному термическому воздействию, в результате каждого процесса должен происходить частичный распад молекул полиуретана на исходные компоненты с образованием углекислого газа, олефина и аминов. При этом в самом материале должны значительно ухудшаться физико-механические характеристики, за счет необратимых изменений в структуре.

Например, для поливинилхлоридов подобная многократная термомеханическая переработка приводит к практически полной деструкции и резкому ухудшению физико-механических свойств и, прежде всего, предела прочности при растяжении [6].

Исследование зависимости физико-механических характеристик образцов от кратности переработки проводилось на испытательном комплексе «INSTRON» в отделе «Материаловедение и технология рециклинга полимерных систем» Института механики металлополимерных систем им. В.А. Белого НАН Беларуси (г. Гомель) по стандартным методикам в соответствии с действующими ТНПА на изделия из полимерных материалов. Результаты испытаний представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики материала из отходов

Наименование показателей	Кратность переработки, раз			
	1	3	5	7
Предел прочности при растяжении, МПа	6,48	6,31	6,12	5,02
Модуль упругости при растяжении, МПа	6,84	6,92	6,98	6,99
Деформация при разрыве, %	235	230	230	195
Крутящий момент, Н·м	6,8	6,7	6,7	6,7
Ударная вязкость, кДж/м <sup>2</sup>	40	39,9	39,8	39,6
Модуль тангенциальный, МПа	3,43	3,42	3,4	3,35
Предел прочности при сжатии, МПа	3,3	3,3	3,3	3,3

Как видно из таблицы, с повышением кратности переработки отходов ППУ в материале действительно происходит падение прочности примерно на 25% и снижение деформации при разрыве на 15%. При этом сами значения остаются на удовлетворительном уровне, что позволяет использовать для изготовления изделий даже материал, прошедший семикратную переработку. Причины изменения прочностных характеристик могут быть связаны либо с уменьшением молекулярной массы полимера (из-за процесса линеизации), либо с изменениями в структуре полимера.

Для определения влияния кратности переработки на структуру вновь полученных термопластичных материалов использовался метод инфракрасной спектроскопии (ИКС), который по наличию полос поглощения в спектре полимера позволяет судить о функциональных группах, входящих в молекулу. Инфракрасная спектроскопия является одним из самых распространенных методов структурного анализа и идентификации органических соединений. ИК-спектр позволяет практически однозначно идентифицировать полимер или, по крайней мере, молекулярные группы, входящие в полимер [7].

ИК-спектры были получены на ИК-спектрофотометре с Фурье преобразованием фирмы *Intertech Trading Corporation* (США). На рисунке 1 приведен ИК-спектр вторичного материала из отходов обувного ППУ, который был подвергнут термомеханическому воздействию один раз.

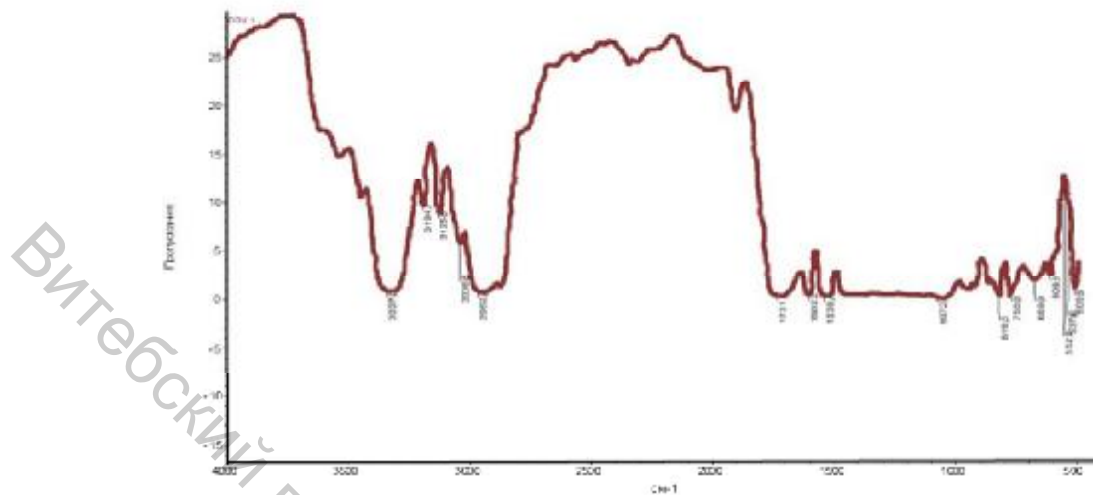


Рисунок 1 – ИК-спектры вторичного материала из отходов обувного ППУ

На рисунке 2 приводятся ИК-спектры семи образцов, соответствующих термомеханической переработке от первой до седьмой.

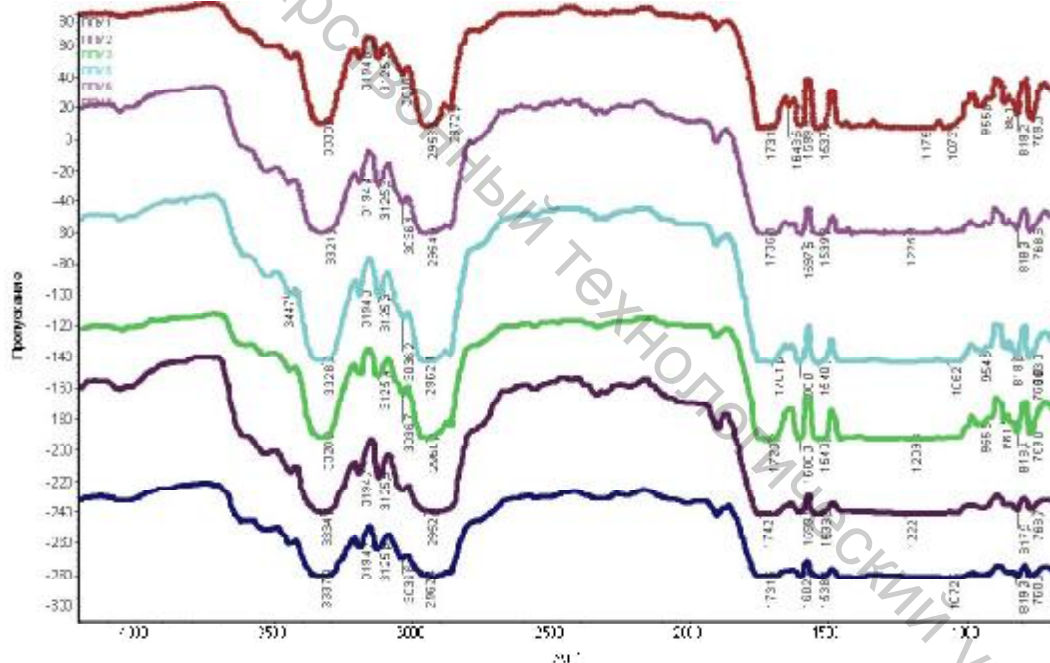


Рисунок 2 – ИК-спектры материала из отходов обувного ППУ в зависимости от кратности переработки

В результате анализа полученных ИК-спектров материалов из отходов ППУ в зависимости от кратности переработки, можно сделать вывод о наличии незначительных изменений, проявляющихся в смещении и перераспределении интенсивности полос исходного полимера.

ИК-спектры имеют полосы поглощения в области  $3300 \text{ см}^{-1}$ , отвечающие валентным колебаниям NH и  $\text{NH}_2$ , а также полосы при  $1730 \text{ см}^{-1}$  групп CO (Амид I), в области  $1520\text{-}1650 \text{ см}^{-1}$  (Амид II). Кроме того, проявляются слабо выраженные полосы колебания ( $\nu(\text{C-O})$ ) при  $1220 \text{ см}^{-1}$ . Полосы поглощения ( $\nu_{\text{asym}}(\text{O-C-O})$ ) при  $1120 \text{ см}^{-1}$  являются сильными для материала однократной переработки, для последующих переработок несколько смещаются и проявляются с низкой интенсивностью. Характеристические полосы поглощения фенильного фрагмента

проявляются в области 1420-1600 см<sup>-1</sup>. ИК-спектры в области 2959 см<sup>-1</sup> отвечают колебаниям CH<sub>3</sub> групп.

При сравнении полученных ИК-спектров для семи образцов определено, что исследуемые материалы относятся к полиуретанам, при этом серьезных химических изменений в их структуре при многократных переработках не происходит, о чем свидетельствуют совпадения пиков колебания структурных звеньев. Наблюдаемое возрастание интенсивности полос колебаний ароматического скелета при 760 и 820 см<sup>-1</sup> указывает на присоединение дополнительного фенильного фрагмента.

Таким образом, проведенные исследования позволяют утверждать:

- в результате рециклинга отходов сшитого ППУ посредством термомеханического метода получен полимер, который можно отнести к термопластичным полиуретанам и подвергать многократной переработке;
- многократная термомеханическая переработка на шнековых экструдерах практически не оказывает влияния на структуру вторичных материалов, получаемых из отходов обувных ППУ;
- снижение прочностных характеристик в результате многократной переработки связано с уменьшением молекулярной массы полимера.

#### Список использованных источников

- 1 Claus, M. Aufbereitung von Abfällen aus teilvernetzten Polyurethanintegralschäumen / M. Claus, H. Krell, H.-J. Radasch // Plaste und Kautschuk, 1980. - № 5. - p. 276-278.
- 2 Островский, В. С. Использование производственных полиэфирных отходов в народном хозяйстве / В. С. Островский [и др. ] // Кожевенно-обувная промышленность . – 1980. – №11. – С. 31-33
- 3 Солтовец, Г. Н. Исследование влияния деструктирующих факторов на процесс термомеханической переработки отходов полиэфируретанов / Г.Н. Солтовец, А. Н. Буркин, К. С. Матвеев // Вестник ВГТУ. Третий . – 2001. – С. 90-94
- 4 Вейнберг, И. А. Совершенствование технологии производства низа на обуви из полимерных материалов // Кожевенно-обувная промышленность . – 1983 . – №8. – С. 29-30
- 5 Матвеев, К. С. Рециклинг интегральных полиуретановых композиций / К. С. Матвеев, Г. Н. Солтовец, А. Н. Буркин // Пластические массы. – 2002. - № 10.
- 6 Лосев, И. П. Химия синтетических полимеров / И. П. Лосев, Е. Б. Тростянская. – Москва : Химия, 1971. – 616 с., ил., табл.
- 7 Тарутина, Л. И. Спектральный анализ полимеров / Л. И. Тарутина, Ф. О. Позднякова. – Ленинград : Химия, 1986 . – 534 с.

*Статья поступила в редакцию 01.04.2010 г.*

#### SUMMARY

In the article, influence of multiply processing on the structure and physical-mechanical properties of material formed from waste pieces of foamed polyurethane soles is investigated.

Test pieces were produced on a screw extruder by means of multiply thermo-mechanical recycling. Then they were finally formed in compression mould under pressure of 4.5 MPa with using temperature at the range of 90 to 95 °C.

Researches were made on «INSTRON» test unit and Fourier-transform infra-red spectrometer of Intertech Trading Corporation, USA.

It is defined, that multiply thermo-mechanical processing on a screw extruder does not influence on the structure of secondary materials formed from waste pieces of foamed



polyurethane soles. Strength properties of material decrease because of reduction of polymer molecular weight.

УДК 677.4.022

## ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА КРУЧЕНИЯ ОГНЕТЕРМОСТОЙКИХ НИТЕЙ НА ОСНОВЕ ВОЛОКНА АРСЕЛОН-С

**М.Н. Михалко, В.В. Садовский, В.Н. Докучаев**

Обзор рынка огнетермостойких тканей для боевой одежды пожарных-спасателей (БОПС) показал, что в большинстве случаев для их получения применяется пряжа из штапельных волокон номекс, арселон-С, русар и др. [1, 2]. Предпочтение пряже, а не комплексным нитям, отдается в связи с тем, что ткани из пряжи обладают мягкостью, меньшей сминаемостью, хорошо сохраняют тепло. Кроме того, затраты на производство штапельного волокна примерно в 2 раза ниже затрат на выработку того же количества комплексных нитей. Даже с учетом затрат в прядильном производстве пряжа оказывается значительно дешевле комплексных нитей [3].

Вместе с тем известно, что одним из главных требований является стабильность и сохранение формы БОПС в процессе эксплуатационных воздействий [4]. Формоустойчивость — сложная комплексная характеристика, одним из критериев которой является жесткость применяемых материалов. Повышают жесткость и тем самым формоустойчивость тканей обычно путем применения при их выработке комбинированных нитей, состоящих из пряжи и более жестких комплексных нитей (например, комбинированная нить из пряжи арселон-С и комплексной нити русар [5]). Комплексные нити арселон-С в производстве огнетермостойких тканей ранее не применялись и в связи с этим технологические характеристики их получения исследованы не в полной мере.

Учитывая вышеизложенное, цель работы заключалась в оптимизации процесса кручения комплексных нитей арселон-С, рекомендованных для применения в производстве огнетермостойких тканей для БОПС.

Объектами исследования являлись крученые нити арселон-С, состоящие из двух комплексных нитей, линейной плотности 29,4 текс х 2. Нарботка нитей и оптимизация процесса их кручения осуществлялась на РУП «Светлогорское производственное объединение «Химволокно». Исследования проведены с использованием математических методов планирования эксперимента [6]. Применен двухфакторный ортогональный центрально-композиционный план, где в качестве факторов были приняты:  $X_1$  — крутка комплексной нити, кр/м;  $X_2$  — крутка крученой нити, состоящей из двух комплексных нитей, кр/м.

Уровни и интервалы варьирования факторов  $X_1$  и  $X_2$  были установлены на основании анализа литературных источников, а также технических возможностей крутильного оборудования (тростильно-крутильной машины ТКД) (таблица 1).

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования факторов

Факторы		Уровни варьирования			Интервалы варьирования
		-1	0	+1	
Крутка комплексной нити, кр/м	$X_1$	160	210	260	50
Крутка крученой нити, состоящей из двух комплексных нитей, кр/м	$X_2$	100	140	180	40