

УДК 685.34.082

А. Н. Радюк, А. Н. Буркин

Витебский государственный технологический университет

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОТХОДОВ ПЕНОПОЛИУРЕТАНОВ
В ПРОИЗВОДСТВЕ ДЕТАЛЕЙ НИЗА ОБУВИ**

Проанализированы варианты технологий производства материалов и изделий для деталей низа обуви с использованием отходов полиуретанов, основанные на достаточно продолжительных исследованиях сотрудников учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» по данной проблеме.

Приведены основные разработки, позволяющие получить композиционные материалы путем переработки отходов полиуретанов. Несмотря на значительную экономию пенополиуретановой композиции, проблема образования и использования этих отходов актуальна до сих пор.

На основе анализа технологий производства материалов и изделий для деталей низа обуви с использованием отходов пенополиуретанов и анализа ингредиентов получаемых изделий была получена полимерная матрица с минимальным количеством ингредиентов: пластификатор и стабилизатор. Технология получения включала в себя сортировку отходов, их измельчение, смешивание с ингредиентами, гранулирование и литье.

В результате проведенной апробации были получены материалы, проведены испытания их физико-механических и эксплуатационных свойств, которые показали достаточный уровень их качества, что позволяет рекомендовать их в производстве обуви.

В дальнейшем на их основе предполагается получать различные по структуре материалы: монолитные, пористые и волокнисто-наполненные.

Ключевые слова: отходы, переработка, пенополиуретан, технология, полимерная матрица, свойства.

A. N. Radyuk, A. N. Burkin

Vitebsk State Technological University

**USE OF FOAM POLYURETHANE WASTE
IN THE PRODUCTION OF SHOE BOTTOM PARTS**

Variants of technologies for the production of materials and products for shoe bottoms using polyurethane wastes were analyzed. They are based on fairly long-term studies by Vitebsk state technological University staff on this issue.

The main developments are given that make it possible to obtain composite materials by processing waste polyurethanes. Despite the significant savings in the polyurethane foam composition, the problem of the formation and use of these wastes is still relevant.

A polymer matrix was obtained with a minimum amount of ingredients: a plasticizer and a stabilizer on the base on an analysis of the technologies for the production of materials and products for shoe bottoms using waste polyurethane foams and an analysis of the ingredients of the resulting products. The production technology included waste sorting, crushing, mixing with ingredients, granulation and casting.

The materials were obtained as a result of the testing, tests of their physicommechanical and operational properties were carried out, which showed a sufficient level of their quality, which allows us to recommend them in the manufacturing of shoes.

It is supposed to obtain materials of various structure: monolithic, porous and fiber-filled based on them in the future.

Key words: waste, recycling, polyurethane foam, technology, polymer matrix, properties.

Введение. В настоящее время общий объем производства различных полимерных материалов в Республике Беларусь составляет около 500 тыс. т, при этом образуется порядка 50 тыс. т промышленных полимерных отходов, однако только 20% из них перерабатывается на предприятиях в конечные продукты [1]. При этом их переработка актуальна, с одной стороны, из-за не-

обходимости защиты окружающей среды от накопления в ней отходов, а с другой стороны, из-за возможности снижения себестоимости производства новых материалов и изделий за счет экономии первичного сырья. Для решения этих вопросов необходимо применение эффективных методов переработки отходов и нахождение вариантов рационального их использования [2].

Основная часть. В настоящее время в мире разрабатываются и предлагаются разнообразные методы вторичной переработки. За рубежом возрастающее значение восстановления продукта привело к соответствующему росту исследований, охватывающих различные этапы его жизненного цикла [3]. В литературе существует достаточное количество определений и классификаций, касающихся действий по восстановлению продукта. В работах [4–6] представлены классификации вариантов восстановления продукта, включающие ремонт, реконструкцию, восстановление, уничтожение и переработку. При этом переработка рассматривается как наиболее подходящий вариант управления отходами обувной промышленности [7].

Сотрудники учреждения образования «Витебский государственный технологический университет» (ВГТУ) имеют достаточный опыт в области разработки технологий переработки отходов производства различных полимерных изделий как легкой, так и других отраслей промышленности [8, 9].

Основными разработками, позволяющими получить композиционные материалы путем переработки отходов полиуретанов сотрудниками ВГТУ, являются: получение вкладыша в каблучную часть подошвы [10], материалов для внутренних деталей обуви (задники, подноски, стельки и другое) [11] и материалов для деталей низа обуви (подошвенные пластины для обуви, подложка в обувь, пластины для ремонта обуви, для изготовления набоек и другое) [12]. В табл. 1 приведены основные ингредиенты данных композиций. Выявлено, что не во всех данных разработках указаны ингредиенты композиции, а лишь только основные ее компоненты.

Помимо разработки составов композиций, для получения различных композиционных материалов были предложены технологии производства материалов и изделий для деталей низа обуви с использованием отходов пенополиуретанов (ППУ), используемые на обувных предприятиях г. Витебска. Такими технологиями являются [9]:

– технология изготовления изделия «вкладыш на низ обуви» путем переработки отходов ППУ и отходов верхнего кожевенного сырья. В процессе «жидкого формования» пенополиуретановых подошв вкладыш размещается в пяточной части низа обуви. После заливки композиции и реакции образования полимера вкладыш оказывается внутри подошвы, окруженный со всех сторон пенополиуретановым материалом. Благодаря этому достигается максимально возможная адгезия между ними. Нормируемые показатели свойств материала: плотность –

0,95–1,01 г/см³; твердость по Шору – 95 усл. ед. Использование вкладыша при этом решает две задачи: экономится материал полиуретановой композиции (до 20%) и сокращается процесс заполнения пресс-формы;

– технология получения подошвенного материала путем предварительной экструзии на шнековом экструдере и последующего окончательного формования материала в межвалковом зазоре листовальных вальцов. Полученный материал имеет следующие физико-механические и эксплуатационные свойства: плотность – 1,5 г/см³, твердость – 80 усл. ед., относительное удлинение – 160%, остаточное – 10%, прочность – 3,2 МПа и сопротивление истиранию – 3,6 Дж/мм³, соответствующие подобным материалам, а именно резинам типа «кожволон», и используется для изготовления подошв домашней обуви, а также подметок и набоек;

– технология получения из отходов ППУ термопластичного материала, пригодного для переработки методом литья. Получаемый гранулят используется для литья подошв и промежуточных деталей обуви, а получаемые изделия обладают высоким сопротивлением истиранию – 5,3 Дж/мм³ и многократному изгибу – 50 килоциклов, относительно высокой прочностью – 6,9 МПа и удлинениями: относительным – 400%, остаточным – 30%, также имеют наиболее высокую плотность – 1,3–1,5 г/см³ и высококачественный внешний вид.

В табл. 2 приведен анализ технологий получения данных изделий.

По представленной технологии переработки отходов ППУ в подошвенный материал (технология 2) можно также получить материалы из отходов ППУ и стелечных картонов марки СЦМ (стелечно-целлюлозный материал) и пластины из отходов ППУ с порообразователем ЧХЗ (название происходит от первых букв завода-изготовителя – Чернореченский химический завод). Анализ свойств полученных материалов показал, что отходы картонов СЦМ ухудшают важные для подошв эксплуатационные показатели – предел прочности, удлинение при разрыве и сопротивление многократному изгибу, настолько же улучшаются показатели сопротивления истиранию, твердости и клеящей способности, столь важные для набоечных материалов. Введение порообразователя ЧХЗ значительно увеличивает пористость изделия, тем самым плотность экструдруемого материала приближается к плотности микропористого ППУ, уменьшается твердость материала при одновременном увеличении прочности и сопротивления многократному изгибу, что позволяет получать из них подошвенные материалы.

Таблица 1

Основные ингредиенты композиций, позволяющие получить композиционные материалы путем переработки отходов полиуретанов сотрудниками ВГТУ

Композиция		
1	2	3
Отходы ИК с поливинилхлоридными и полиэфируретановыми покрытиями – не менее 60% Волокнистые отходы обувного производства	Резиновая смесь на основе каучука Наполнитель – отходы стелечного картона в количестве 5–60 мас. %	Отходы ППУ Наполнитель – отходы стелечного картона 3–30 мас. %

Примечание. 1 – вкладыш в каблучную часть подошвы; 2 – материалы для внутренних деталей обуви; 3 – материалы для деталей низа обуви.

Таблица 2

Анализ технологий получения (изготовления) материалов с использованием отходов производства

Технологии		
1	2	3
		
Сортировка отходов 1 необходима для разделения отходов по внешнему виду и по группам;		
Измельчение 2 осуществляется на дробилке роторно-ножевого типа		
Смешивание отходов 3 предназначено для предварительного равномерного распределения компонентов		Гранулирование обеспечивает переработку отходов на шнеково-дисковом грануляторе 3 с получением шнуров в процессе продавливания материала через фильеры 4, их охлаждения 5 и резки на гранулы 6 размером 3×5 мм.
Экструзия отходов 4 осуществляется на шнековом экструдере		
Происходит частичная деструкция, пластикация, смешивание с частицами кожи и последующее продавливание через формообразующую фильеру	Отходы гомогенизируются, пластифицируются, приобретая термопластичные свойства и продавливаются через щелевую листовальную головку 5 в виде расплава	
Изготовление пластин		
Материал в виде ленты прямоугольного сечения попадает на роликовый транспортер, приемный лоток, отрезается оператором экструдера и укладывается на стеллаж 5, где в течение 20–24 ч происходит термостабилизация материала	Материал охлаждается, попадая в межвалковый зазор гладильных валков 6, разрезаемые на пластины длиной 1,5–2,0 м заготовки укладываются на стеллаж 7, где в течение 20–24 ч происходит их термостабилизация и окончательная полимеризация	
Вырубка деталей		
Полученные полосы рубятся на вырубочном прессе 6 на изделия-вкладыши и укладываются в коробки 7	На вырубном прессе 8 вырубаются подошвы необходимых размеров, которые упаковываются в коробки 9	

Примечание. 1 – технология переработки пенополиуретановых отходов и отходов верхнего кожевенного сырья в изделие «вкладыш на низ обуви»; 2 – технология переработки пенополиуретановых отходов в подошвенный материал; 3 – технология переработки пенополиуретановых отходов в гранулированный термопластичный материал.

Однако, несмотря на значительную экономию пенополиуретановой композиции, объемы перерабатываемых отходов оказались незначительными, что актуализирует проблему переработки и использования отходов для получения материалов и деталей низа обуви.

Исходя из анализа вариантов технологий производства материалов и изделий для деталей низа обуви с использованием отходов полиуретанов, основанных на многочисленных исследованиях сотрудников ВГТУ по данной проблеме и анализа рецептур (состава, ингредиентов) композиционных материалов, в настоящее время ведутся работы по получению полимерной матрицы с минимальным количеством ингредиентов.

Так, в работе [13] приведена композиция полимерного материала для низа обуви. В качестве основного компонента материалов использовали вторичное полимерное сырье в виде отходов ППУ.

Для обеспечения функции пластификации полимерной матрицы с целью регулирования течения расплава, а также смазывания компонентов композита с целью облегчения их взаимного агломерирования применяли масло. Применение стеарата кальция обеспечивает реализацию функции твердой смазки полимеров, а также повышение устойчивости вторичных полимеров к термоокислению.

Технология получения включала в себя следующие этапы: сортировка отходов, измельчение, смешивание, гранулирование и литье.

В результате проведенной апробации были получены пластины, проведены испытания их физико-механических и эксплуатационных свойств.

Для оценки качества определяли следующие показатели: плотность, твердость, относительное удлинение при разрыве, условную прочность, остаточное удлинение, сопротивле-

ние истиранию, сопротивление многократному изгибу.

Значения исследуемых показателей физико-механических и эксплуатационных свойств следующие:

- плотность – 0,95–1,00 г/см³;
- твердость по Шору – 75–80 усл. ед.;
- относительное удлинение – 100–150%;
- условная прочность при растяжении – 2,5–3,8 МПа;
- остаточное удлинение – 15%;
- сопротивление истиранию – 3,5 Дж/мм³;
- сопротивление многократному изгибу – 30 тыс. циклов.

Указанные выше показатели физико-механических и эксплуатационных свойств соответствуют монолитным резинам (непористым) и термоэластопластам (ТЭП) для подошв обуви.

Заключение. Таким образом, исследование и анализ физико-механических и эксплуатационных свойств показали, что пластины обладают достаточными свойствами для того, чтобы рекомендовать их в производстве обуви.

В дальнейшем на основе данной матрицы можно получить:

- монолитные материалы для низа обуви – основой их получения является непосредственно сама полимерная матрица;
- пористые – для изготовления пористого низа обуви в литьевых композициях используют концентраты вспенивающих добавок, содержащие агенты-порообразователи и полиэтилен, способствующие получению материалов с необходимой плотностью;
- волокнисто-наполненные – для изготовления данных материалов в качестве наполнителя предполагается использовать волокнистые отходы текстильной промышленности. Получаемые материалы должны соответствовать по свойствам материалам, применяемым в обувном производстве, – резинам типа «кожволон».

Литература

1. Пшебельская Л. Ю. Инновационный потенциал производства изделий из полимерных материалов. URL: http://media.miu.by/files/store/items/uses/xxi/mim_uses_xxi_01018.pdf (дата обращения: 10.10.2019).
2. Бабунова М. В., Прочухан Ю. А. Способы утилизации отходов полимеров // Вестник Башкирского ун-та. 2008. № 4. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-utilizatsii-othodov-polimerov> (дата обращения: 10.10.2019).
3. Gupta S. M., Gungor A. Issues in environmental conscious manufacturing and product recovery: a survey // Comput. Indust. Eng. 1999. № 36. P. 811–853.
4. Thierry M., Salomon M., Van Nunen J., Van Wassenhove L. Strategic issues in product recovery management // Calif. Manage. Rev. 1995. № 37 (2). P. 114–135.
5. Johnson M. R., Wang M. H. Planning product disassembly for material recovery opportunities // Int. J. Prod. Res. 1995. № 33 (11). P. 3119–31142.
6. Brennan L., Gupta S. M., Taleb K. Operations planning issues in an assembly/disassembly environment // Int. J. Oper. Prod. Manage. 1994. № 14 (9). P. 57–67.

7. Staikos T., Rahimifard S. A decision-making model for waste management in the footwear industry // *Int. J. Prod. Res.* 2007. № 45. P. 4403–4422.
8. Переработка твердых отходов обувных предприятий г. Витебска: монография / А. Н. Буркин [и др.]. Витебск, 2000. 118 с.
9. Обувные материалы из отходов пенополиуретанов: монография / А. Н. Буркин [и др.]. Витебск, 2001. 173 с.
10. Вкладыш для низа обуви: патент 7134 Респ. Беларусь: МПК7 С 08J 11/04, А 43В 13/42 / А. Н. Буркин, О. И. Трофименко, К. С. Матвеев; заявитель и патентообладатель УО «Витебский государственный технологический университет», ОАО «Лидская обувная фабрика». № а 20000975; заявл. 27.10.2000; опубл. 30.06.2005. Бюл. № 2 (45).
11. Композиция для внутренних деталей обуви: патент 5609 Респ. Беларусь: МПК 7 А 43В 17/14 / А. Н. Буркин, О. И. Трофименко, К. С. Матвеев, М. А. Васильев; заявитель и патентообладатель УО «Витебский государственный технологический университет». № а 19990293; заявл. 30.03.1999; опубл. 30.12.2003. Бюл. № 4 (39).
12. Композиция для деталей низа обуви: патент 5190 Респ. Беларусь: МПК 7 С 08J 11/00 / А. Н. Буркин, Г. С. Энтин, К. С. Матвеев; заявитель и патентообладатель УО «Витебский государственный технологический университет». № а 19980897; заявл. 29.09.1998; опубл. 30.06.2003. Бюл. № 2 (37).
13. Изготовление деталей низа обуви из отходов пенополиуретанов / А. Н. Радюк [и др.]. // *Дизайн, технологии и инновации в текстильной и легкой промышленности (ИННОВАЦИИ – 2018)*: сб. материалов Междунар. науч.-техн. конф. Ч. 2. М.: ФГБОУ ВО «РГУ им. А. Н. Косыгина», 2018. С.151–155.

References

1. Pshibelskaya L. Yu. *Innovatsionnyy potentsial proizvodstva izdeliy iz polimernykh materialov* [The Innovative potential of the production of products from polymeric materials] Available at: http://media.miu.by/files/store/items/uses/xxi/mim_uses_xxi_01018.pdf (accessed 10.10.2019).
2. Bazunova M. V., Prochukhan Yu. A. Methods of disposal of waste polymers. *Vestnik Bashkirskogo universiteta* [Journal of Bashkir University], 2008, no. 4. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/sposoby-utilizatsii-otkhodov-polimerov> (accessed 10.10.2019).
3. Gupta S. M., Gungor A. Issues in environmental conscious manufacturing and product recovery: a survey. *Comput. Indust. Eng.*, 1999, no. 36, pp. 811–853.
4. Thierry M., Salomon M., Van Nunen J., Van Wassenhove L. Strategic issues in product recovery management. *Calif. Manage. Rev.*, 1995, no. 37 (2), pp. 114–135.
5. Johnson M. R., Wang M. H. Planning product disassembly for material recovery opportunities. *Int. J. Prod. Res.*, 1995, no. 33 (11), pp. 3119–3142.
6. Brennan L., Gupta S. M., Taleb K. Operations planning issues in an assembly/disassembly environment. *Int. J. Oper. Prod. Manage.*, 1994, no. 14 (9), pp. 57–67.
7. Staikos T., Rahimifard S. A decision-making model for waste management in the footwear industry. *Int. J. Prod. Res.*, 2007, no. 45, pp. 4403–4422.
8. Burkin A. N., Matveyev K. S., Smelkov V. K. *Pererabotka tverdykh otkhodov obuvnykh predpriyatij g. Vitebska* [Processing of solid waste of Shoe enterprises of Vitebsk]. Vitebsk, 2000. 118 p.
9. Burkin A. N., Matveyev K. S., Smelkov V. K., Saltovets G. N. *Obuvnyye materialy iz otkhodov penopoliuretanov* [Shoe materials from waste polyurethane foam]. Vitebsk, 2001. 173 p.
10. Burkin A. N., Matveyev K. S., Trofimenko O. L. *Vkladysh dlya niza obuvi* [Liner for bottom of shoes]. Patent Republic of Belarus, no. a 20000975, 2005.
11. Burkin A. N., Matveyev K. S., Trofimenko O. L., Vasiliev M. A. *Kompozitsiya dlya vnutrennikh detaley obuvi* [Composition for internal parts of shoes]. Patent Republic of Belarus, no. a 19990293, 2003.
12. Burkin A. N., Entin G. S., Matveyev K. S. *Kompozitsiya dlya detaley niza obuvi* [Composition for the details of the bottom of the Shoe]. Patent Republic of Belarus, no. a 19980897, 2003.
13. Radyuk A. N., Tsobanova N. V., Burkin A. N., Borozna V. D. Production of details of a bottom of footwear from waste of polyurethane foams. *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii "Dizayn, tekhnologii i innovatsii v tekstil'noy i legkoy promyshlennosti" (INNOVATsII – 2018). Ch. 2* [Collection of materials of the international scientific and technical conference “Design, technologies and innovations in the textile and light industry” (INNOVATIONS – 2018). Part 2]. Moscow, 2018, pp. 151–155 (In Russian).

Информация об авторах

Радюк Анастасия Николаевна – магистр экономических наук, аспирант кафедры «Техническое регулирование и товароведение». Витебский государственный технологический университет (210038, г. Витебск, пр-т Московский, 72, Республика Беларусь). E-mail: ana.r.13@mail.ru

Буркин Александр Николаевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Техническое регулирование и товароведение». Витебский государственный технологический университет (210038, г. Витебск, пр-т Московский, 72, Республика Беларусь). E-mail: a.burkin@tut.by

Information about the authors

Radyuk Anastasiya Nikolayevna – Master of Economic Sciences, PhD student, the Department of Technical regulation and commodity science. Vitebsk State Technological University (72, Moskovsky Ave, 210038, Vitebsk, Republic of Belarus). E-mail: ana.r.13@mail.ru

Burkin Aleksandr Nikolayevich – DSc (Engineering), Professor, Head of the Department of Technical regulation and commodity science. Vitebsk State Technological University (72, Moskovsky Ave, 210038, Vitebsk, Republic of Belarus). E-mail: a.burkin@tut.by

Поступила 04.11.2019