

УДК 675.1:658.567.1

**Е. И. Кордикова, Г. Н. Дьякова**

Белорусский государственный технологический университет

**МАТЕРИАЛЫ НА ОСНОВЕ ВТОРИЧНОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА  
И ИЗМЕЛЬЧЕННЫХ ОТХОДОВ КОЖ**

В работе приведены результаты исследований технологических и физико-механических свойств композиционного материала на основе вторичного полипропилена с использованием в качестве наполнителя измельченных кожевенных отходов wet-blue и цветных кож конечного потребления. В публикации изложены результаты испытаний на растяжение и изгиб образцов с разным размером частиц, определены прочностные и упругие характеристики материала, показано влияние размера частиц наполнителя на основные технологические и механические характеристики, а также показано влияние размеров частиц наполнителя на механизмы вязкого течения между смыкающимися плитами.

При стандартных параметрах технологии прессования предварительно пластицированной заготовки (пласт-формования) наилучшие результаты по значениям физико-механических свойств композиционного материала получены при использовании более мелких размеров частиц наполнителя при оптимальной по показателям текучести степени наполнения 30 мас. %.

При проведении исследования композиционных материалов на основе вторичных термопластичных полимеров и кожевенных отходов проанализирована актуальность данного метода при решении проблемы утилизации образующихся отходов кожевенной промышленности.

Полученные характеристики для исследуемых композиций показывают достаточный уровень физико-механических свойств для использования дубленых отходов кожевенного производства в качестве наполнителя композиционного материала для применения его в изготовлении ненагруженных конструкций.

**Ключевые слова:** переработка отходов, кожевенные отходы, измельчение, размер частиц, предел прочности, модуль упругости, текучесть, вязкость, композиционные материалы, пласт-формование.

**E. I. Kordikova, H. N. Dyakova**

Belarusian State Technological University

**MATERIALS BASED ON RECYCLED POLYPROPYLENE  
AND SHREDDED LEATHER WASTE**

The paper presents the results of research of technological and physical and mechanical properties of a composite material based on secondary polypropylene when used as a filler from fine leather waste wet-blue and non-ferrous leathers of final consumption. The paper presents the results of tests for stretching and bending of samples with different particle sizes, determines the strength and elastic characteristics of the material, shows the influence of the size of the filler particles on the main technological and mechanical characteristics, Shows the influence of the size of the filler particles on the mechanisms of viscous flow in the formation between the closing plates.

With standard parameters of the pre-plasticized preform pressing technology (formation), the best results in terms of the physical and mechanical properties of the composite material are obtained by using smaller sizes of filler particles with an optimal degree of filling by weight of 30 wt.

When conducting research on composite materials based on secondary thermoplastic polymers and leather waste, the relevance of this method was analyzed in solving the problem of recycling of the resulting waste from the leather industry.

The obtained characteristics for the studied compositions show a decent level of physical and mechanical properties for the use of tanned leather waste as a filler of composite material for its use in the manufacture of unloaded structures.

**Key words:** waste processing, leather waste, grinding, particle size, strength limit, modulus of elasticity, fluidity, viscosity, composite materials, plastic forming.

**Введение.** Переработка отходов кожевенного производства является неотъемлемой частью промышленного комплекса и позволяет решить или снизить остроту экологических и экономических проблем предприятий отрасли.

Твердые неплавкие отходы можно использовать в качестве наполнителя для полимерных материалов. Механические характеристики и формуемость композиций будет зависеть от размеров частиц и соотношения наполнитель – полимер.

Целью исследования является оценка технологических и физико-механических свойств исходной композиции и композиционного материала, полученного по методу прессования предварительно пластицированной заготовки (пласт-формование), отработка состава, пригодного для получения формованных изделий различного назначения.

**Основная часть.** Для исследований составляли композиции из вторичного агломерированного полипропилена, который образуется в результате разделки корпусов аккумуляторных батарей (КАБ) с основными характеристиками, описанными в литературе [1].

В качестве наполнителя рассматривали измельченные отходы wet blue (WB) и готовых кож конечного потребления (ЦК). Высушенный наполнитель готовых цветных кож подвергали измельчению на фрезерной дробилке ATLANT 168/2 (БЗС0215), в результате чего получили дробленый материал с разным размером частиц после однократного, двукратного и трехкратного измельчения (рис. 1) для дальнейшего использования в композициях.

Гранулометрический анализ измельченных компонентов проводили с использованием ситового метода (СТБ ИСО 2591–1–2002) на вибростенде электродинамическом ПЭ-6700 с набором сит от 0,063 до 5,000 мм.

Исследования параметров сыпучести (насыпная плотность, сыпучесть, угол естественного откоса) проводили на тестере сыпучести Pharma Test PTG-S4, который используется для выполнения измерений в соответствии с ГОСТ 11065.1–93.

По итогу исследований получили, что с увеличением числа дроблений средний размер частиц wet blue уменьшился с 4,7 мм при однократном до 1,1 мм при трехкратном измельчении, а для цветной кожи составил 1,2 мм. При этом содержание мелкой фракции (<2 мм) для всех продуктов по отношению к общей массе увеличилось от 1% при однократном до 10% при трехкратном измельчении [2].

График массового распределения фракций от размера частиц становится более «узким»

и приближается к нормальному закону распределения, что позволяет говорить о более однородном получаемом продукте. Дальнейшее увеличение числа измельчений не приводит к заметному изменению фракционного состава.

Таким образом, изменяя число измельчений исходного материала, можно получить более однородный продукт с преимущественным содержанием мелкой фракции.

При уменьшении размера частиц (увеличение числа дроблений) вследствие лучшей упаковки материала уменьшается насыпной объем, а насыпная плотность при этом увеличивается в 1,5 раза.

Основные показатели измельченных отходов кож представлены в таблице.

Технологические режимы переработки композиций выбирали исходя из свойств компонентов, необходимости предотвращения возможной деструкции кожевенных отходов, обеспечения плавления полимерного материала, а также хорошей гомогенизации смеси в материальном цилиндре и получения плотного формованного материала после прессования.

Температура по зонам экструдера составила 180°C, 200°C, 220°C; время цикла – 11 мин (при содержании 30 мас. %) и 14 мин (при 50 мас. %) (время, затраченное на перемещение материала от накопителя в форму и смыкание плит – 4 с; усилие прессования – 4 т; время выдержки в форме до достижения в материале температуры стеклования – 2 мин).

В процессе получения образцов методом пласт-формования плиты с большой степенью наполнения (40 мас. % и 50 мас. %) не растекаются по форме (рис. 2, а, б). Это происходит в связи с тем, что кожа не плавится, и с повышением количества наполнителя в композиционном материале увеличивается его вязкость, следовательно, получить образцы с качественной внешней поверхностью и хорошим распределением наполнителя в диапазоне имеющихся температурно-временных режимах нет возможности (рис. 2, в, г).

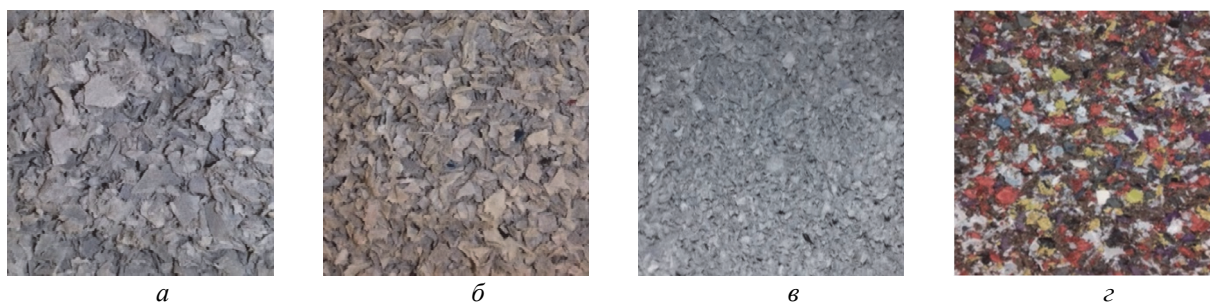


Рис. 1. Измельченные отходы кожевенного производства после однократного (а), двукратного (в), трехкратного (в, з) дробления; а – в – отходы wet blue; з – готовая кожа конечного потребления

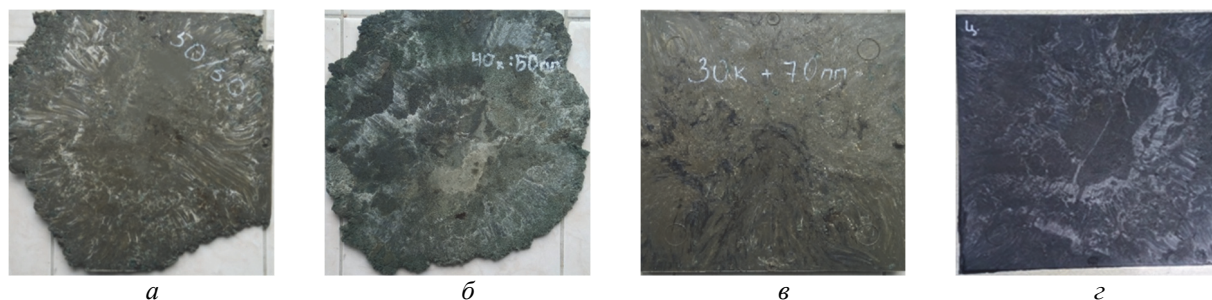


Рис. 2. Плиты из отходов кожевенного производства и вторичного полипропилена с различной степенью наполнения:  
 а – в – отходы wet blue; з – готовая кожа конечного потребления;  
 а – 50 мас. %; б – 40 мас. %; в, з – 30 мас. %

Для изучения влияния качества измельчения на свойства композиционного материала получали образцы методом пласт-формования, содержание наполнителя в которых выбирали неизменным – 30 мас. %.

Определение параметров вязкости проводили методом сжатия диска между плоскопараллельными плитами. Работу выполняли на пластовискозиметре с плоскопараллельными плитами. Для испытаний использовали образцы диаметром 30 мм и толщиной не более 10 мм. Результаты эксперимента при температуре переработки представлены в таблице.

Полученные результаты показывают, что с использованием более мелкого размера частиц наполнителя увеличивается текучесть композиционного материала, а соответственно, уменьшается вязкость композиции.

Исследование свойств при растяжении проводили в соответствии с ГОСТ 25.601–80, прочность при изгибе определяли по трехточечной схеме нагружения в соответствии с ГОСТ 4648–2014. Образцы для испытаний получали механической

вырезкой из отформованных плит с размерами согласно требованиям стандартов.

Определение механических свойств композиционных материалов проводили на универсальной испытательной машине MTS Criterion-43 с автоматической записью диаграммы деформирования. Для определения модуля упругости использовали экстензометр с базой, равной 50,8 мм, устанавливаемый на образец.

С уменьшением среднего размера частиц наполнителя в продукте наблюдается незначительное (до 17%) увеличение показателей прочности, причем при изгибе этот показатель выше. При этом коэффициент вариации внутри эксперимента снижается, что говорит о повышении однородности материала. Характеристики упругих свойств показывают такие же зависимости значений от размеров частиц. Все образцы разрушились без площадок текучести и при разрушении вели себя как хрупкие тела с величиной относительного остаточного удлинения 1,3–2,0%.

Результаты всех исследований представлены в таблице.

**Результаты испытаний наполнителя и композиционного материала на его основе (содержание наполнителя 30 мас. %) [2, 3]**

Наименование показателя	Материал			
	WB1	WB2	WB3	ЦК
<b>Объемные показатели измельченного наполнителя</b>				
Средний размер частиц, мм	5–8	4–6	2–4	2–3
Насыпная плотность, г/см <sup>3</sup>	0,115	0,142	0,187	0,166
Угол естественного откоса, град	48,2	46,4	40,9	42,3
Коэффициент внутреннего трения	1,12	1,05	0,87	0,91
<b>Показатели вязкопластических свойств</b>				
Показатель степени, <i>n</i>	0,210	0,250	0,246	0,492
Коэффициент консистенции, кПа·с <sup><i>n</i></sup>	27,06	14,53	13,56	18,56
Условный предел текучести, кПа	6,49	5,00	5,68	5,43
<b>Физико-механические свойства</b>				
Предел прочности при растяжении $\sigma_p$ , МПа	8,50	8,71	9,64	8,2
Модуль упругости при растяжении $E_p$ , ГПа	0,95	0,95	0,87	0,79
Предел прочности при изгибе $\sigma_{из}$ , МПа	17,41	16,44	21,2	21,8
Модуль упругости при изгибе $E_{из}$ , ГПа	1,24	1,38	1,58	1,31

**Заключение.** По итогам проведенных результатов можно сделать вывод о возможности применения отходов кожевенного производства, в частности полуфабриката wet-blue и готовых кожаных изделий, в качестве наполнителей для изготовления формованных изделий. Максимальное насыщение полимера кожевенными отходами трехкратного дробления на этапе исследования составляет 30%, что позволяет получить материал со следующим набором

свойств: плотность – 1,28 г/см<sup>3</sup>, прочность при растяжении – 9,64 МПа, прочности при изгибе – 18,95 МПа. Предпочтительно использовать измельченные отходы кожи.

При стандартных технологических параметрах технологий пласт-формования и литья под давлением наилучшие результаты по значениям физико-механических свойств композиционного материала получены при использовании частиц наполнителя более мелких размеров.

### Список литературы

1. Карпович О. И., Калинин А. Н., Наркевич А. Л. Материалы на основе металлсодержащих полимерных отходов кабельной промышленности // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2017. № 2 (199). С. 227–231.
2. Кордикова Е. И., Дьякова Г. Н. Определение технологических показателей измельченных отходов кож // SWorld Journal. Svishtov, Bulgaria, October 2019. Issue no. 2. P. 27–32.
3. Дьякова Г. Н., Кордикова Е. И. Механические свойства композиционного материала на основе вторичного полипропилена и кожевенных отходов wet blue // Нефтехимия-2019: материалы II Международного научно-технического и инвестиционного форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 16–18 октября 2019 г. Минск: БГТУ, 2019. С. 97–100.

### References

1. Karpovich O. I., Kalinka A. N., Narkevich A. L. Materials based on metal-containing polymer waste from the cable industry. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 2, Chemical Technology, Biotechnology, Geoecology, 2017, no. 2, pp. 227–231 (In Russian).
2. Kordikova E. I., D'yakova H. N. Determination of technological indicators of crushed leather waste. *SWorld Journal*. Svishtov, Bulgaria, 2019, issue no. 2, pp. 27–32 (In Russian).
3. D'yakova H. N., Kordikova E. I. Mechanical properties of a composite material based on recycled polypropylene and wet blue leather waste. *Neftekhimiya-2019: materialy II Mezhduнародного nauchno-tekhnicheskogo i investitsionnogo foruma po khimicheskim tekhnologiyam i neftegazopererabotke* [Petrochemicals-2019: Materials of the II International Scientific, Technical and Investment Forum on Chemical Technologies and Oil and Gas Processing]. Minsk, 2019, pp. 97–100 (In Russian).

### Информация об авторах

**Кордикова Елена Ивановна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики и конструирования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kordikova@tut.by

**Дьякова Галина Николаевна** – ассистент кафедры механики и конструирования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: kravchenyagn1994@gmail.com

### Information about the authors

**Kordikova Elena Ivanovna** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Mechanics and Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kordikova@tut.by

**Dyakova Halina Nikolaevna** – assistant lecturer, the Department of Mechanics and Engineering. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kravchenyagn1994@gmail.com

Поступила 06.04.2020