

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ В КАЧЕСТВЕ НАПОЛНИТЕЛЯ ДРЕВЕСНОЙ ПЫЛИ

STRUCTURE AND PROPERTIES OF COMPOSITE MATERIALS WITH A WOOD DUST FILLER

УДК 685.34.082

**А.Н. Радюк^{1*}, А.Н. Буркин¹, В.М. Шаповалов²,
С.В. Зотов², А.А. Тимофеенко²**

¹Витебский государственный технологический университет

²Институт механики металлополимерных систем имени В.А. Белого

<https://doi.org/10.24412/2079-7958-2023-2-38-49>
**A. Radyuk^{1*}, A. Burkin¹, V. Shapovalov², S. Zotov²,
A. Timofeenko²**

¹Vitebsk State Technological University

²V.A. Belyi Metal-Polymer Research Institute

РЕФЕРАТ

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ, РЕЦИКЛИНГ, ОТХОДЫ, ПЕНОПОЛИУРЕТАН, ДРЕВЕСНАЯ ПЫЛЬ, ТЕХНОЛОГИЯ, СОСТАВЫ, СВОЙСТВА, СТРУКТУРА

В настоящее время для получения новых композиционных материалов с определенным комплексом свойств эффективным направлением считается переработка отходов на основе различных древесных наполнителей и термопластичных полимеров.

Целью исследования является определение возможности применения измельченных древесных отходов (древесной пыли) в качестве наполнителя в полиуретановую основу для создания материалов для подошв обуви.

В статье приведено описание технологии получения гранулята и материалов, представлены различные рецептурные составы для получения материалов для подошв обуви. Получены композиционные материалы с использованием в качестве наполнителя древесной пыли в количестве 1–5,0 мас. %, исследованы физико-механические показатели свойств и представлены данные СЭМ-среза образцов.

Введение наполнителя позволяет рационально использовать отходы лесопиления и фрезерования плит, значительно удешевить композицию, получить приемлемые прочностные характеристики при максимальном наполнении.

ABSTRACT

COMPOSITE MATERIALS, RECYCLING, WASTE, POLYURETHANE FOAM, WOOD DUST, TECHNOLOGY, COMPOSITIONS, PROPERTIES, STRUCTURE

Currently, the processing of waste materials based on various wood fillers and thermoplastic polymers is considered to be an effective direction for producing new composite materials with a certain complex of properties.

The aim of the study is to determine the possibility of using pulverized wood waste (wood dust) as a filler in polyurethane base for creating materials for shoe soles.

The article describes the technology of producing granulate and materials, presents various formulation compositions for materials used for shoe soles manufacturing. Composite materials containing wood dust in the amount of 1–5.0 wt.% as a filler were produced, physical and mechanical properties were investigated and SEM data of the samples' shearing were presented.

Addition of the filler allows to use rationally the wastes of sawing and milling, to cheapen considerably the composition, to receive acceptable strength characteristics at maximum filling.

Using the wastes of various productions for making new products, it is possible to partially reduce environmental pollution and increase the utilization rate of expensive raw materials which are not produced in Belarus.

* E-mail: ana.r.13@mail.ru (A. Radyuk)

Используя отходы различных производств для получения новых изделий, можно частично сократить загрязнение окружающей среды и

увеличить коэффициент использования дорогостоящих не производимых в Беларуси сырьевых ресурсов.

Введение

Одно из ведущих направлений в современной науке о полимерах занимает модифицирование полимеров с целью придания им заранее заданных свойств. Современные полимерные материалы являются многокомпонентными системами, в которых наряду с полимерной основой присутствуют различные добавки [1].

Для создания новых композиционных материалов эффективным направлением считается переработка отходов на основе различных древесных наполнителей и термопластичных полимеров. Путем варьирования рецептур композиций получают материалы с определенным комплексом физико-механических, технологических и эксплуатационных свойств.

Высокая механическая прочность древесных наполнителей при малом объемном весе, низкие электризуемость и теплопроводность, упругость и волокнистая структура обусловили их широкое применение в производстве полимерных композиционных материалов. Из древесных дисперсных наполнителей наибольшее распространение получили древесная волокнистая масса в виде древесной пыли, представляющая собой тонкоизмельченную и высушенную древесину волокнистой структуры.

Древесная пыль относится к легким органическим наполнителям растительного происхождения. Являясь материалом местного сбора и изготовления, древесная пыль по применению является экономически выгодным отходом производства. Это обусловлено наличием достаточных объемов, как самой древесной пыли, так и древесных отходов лесопиления и деревообработки. Ее дешевизна и очень высокие тиксотропные свойства идеальны для применения ее в качестве наполнителя для многих материалов.

Применение предлагаемого способа использования древесной пыли обеспечит экологический эффект, который заключается в высвобождении площадей, ранее используемых под ее складирование; исключении рассеивания пыли

на прилегающие к предприятию территории, как промышленного, так и жилого назначения [2].

Большое число исследований в этой области посвящено изучению возможности применения измельченных древесных отходов [3]. Особый раздел в данной области научных исследований занимает изучение реологических свойств композиционных материалов, в которых в качестве наполнителя используется древесная пыль [4]. Наибольший интерес представляют исследования влияния основных характеристик компонентов композита: вид, влажность, размер частиц, процентное соотношение содержания компонента относительно всей композиции.

Целью исследований в данной работе является определение возможности применения измельченных древесных отходов (древесной пыли) в качестве наполнителя в полиуретановую основу для создания материалов для подошв обуви.

Материалы и методы исследования

В качестве основного компонента композитов использовали вторичное полимерное сырье – отходы пенополиуретана (ППУ) обувных предприятий г. Витебска (ЧПУП «Обувное ремесло»).

Для подготовки композиционных материалов разработана технологическая схема получения гранулята, состоящая из следующих операций:

- подготовка отходов ППУ;
- измельчение отходов ППУ в дробилке роторно-ножевого типа до размеров частиц 10–15 *мм*;
- сушка в сушильной камере или термошкафу с принудительной конвекцией воздуха при температуре 80 °С в течение 3 часов до влажности 0,2–0,3 %;
- термомеханическая переработка в двухшнековом экструдере SUPLAST 25/2 *мм* (ООО «СуПласт», РБ) при температуре переработки 110–185 °С и скорости вращения шнека 50–70 *об/мин* с получением стренг диаметром 3 *мм*;
- охлаждение стренг в водяной ванне;

– резка стренг с помощью режущего устройства до получения гранул длиной 2–4 мм.

С целью повышения технологичности переработки композиций применяли следующие ингредиенты: масло трансмиссионное TAD17 (МИ, ТУ 0253-003-71148628-2005) и стеарат кальция (стСа, ТУ 2232-002-57149839-07) в количестве 0,5–5,0 мас. %.

В качестве наполнителей использовали отходы деревообработки: древесную пыль (ДП) с размером частиц 8–78 мкм в количестве 1,0–5,0 мас. %.

Далее методом экструзии из гранулята, содержащего технологические добавки и дисперсный наполнитель, формировали композиционные материалы. Предполагается, что этот наполнитель выступает в роли структурирующих (т. е. модифицирующих матрицу) агентов, что должно способствовать изменению физико-механических и других характеристик композитов. Составы и режимы получения композиционных материалов представлены в таблице 1.

Образцы для исследования получали методом литья под давлением механических смесей компонентов при технологических режимах, характерных для исходных ПУ. Окончательная гомогенизация композиции осуществлялась в ма-

териальном цилиндре термопластавтомата «ТП EN30» (Hengsen, Китай). Из полученных композиционных материалов на термопластавтомате при температуре 170–190 °С были изготовлены образцы в виде лопаток, столбиков и пластин.

При выборе материалов для подошв обуви предприятия-производители рассматривают комплекс их физико-механических свойств. В связи с этим в работе были выделены следующие показатели физико-механических свойств материалов и деталей для низа обуви: плотность, твердость, абразивный износ, относительное удлинение, предел прочности и модуль упругости. Характеристика показателей свойств материалов для низа обуви и методика их оценки представлена в таблице 2.

Результаты и обсуждение

Сегодня известны различные классификации материалов для низа обуви: по назначению, цвету, условиям эксплуатации, виду изделий и т. д. При этом классификация материалов для подошв обуви по структуре материала представляется наиболее предпочтительной, поскольку именно этот фактор является определяющим при характеристике основных потребительских свойств подошвы. Классифицируя материалы для подошв и подошвы обуви по признаку

Таблица 1 – Составы и режимы получения композиционных материалов

№ п/п	Составы композиций, мас. %	Температура в экструдере по зонам, °С	Крутящий момент, $M_{кр}, Н \cdot м$
1	ППУ гранулят	125, 140, 150, 160, 170, 160	–
2	ППУ (98,5) + стСа (0,5) + МИ (1)	125, 140, 150, 160, 170, 160	9,43–11,53
3	ППУ (97,5) + стСа (0,5) + МИ (1) + ДП (1)	125, 140, 150, 160, 170, 160	8,65
4	ППУ (96,5) + стСа (0,5) + МИ (1) + ДП (2)	125, 140, 150, 160, 170, 160	10,22
5	ППУ (95,5) + стСа (0,5) + МИ (1) + ДП (3)	125, 140, 150, 160, 170, 160	11,00–11,27
6	ППУ (94,5) + стСа (0,5) + МИ (1) + ДП (4)	125, 140, 150, 160, 170, 160	10,22–10,74
7	ППУ (93,5) + стСа (0,5) + МИ (1) + ДП (5)	125, 140, 150, 160, 175, 160	9,96–10,48

Таблица 2 – Физико-механические показатели свойств материалов для низа обуви

Наименование показателя, обозначение, ед. измерения	ТНПА	Применяемые средства измерения, оборудование	Сущность испытания	Обработка результатов
Плотность (ρ), $г/см^3$	ГОСТ 267-73 [5]	Аналитические весы XS204, Mettler Toledo, США	Определение отношения массы образца к объему вытесненной им жидкости известной плотности при заданной температуре испытания	Гидростатическим методом, по формуле ГОСТ 267-73. Результат – среднее арифметическое испытаний трех образцов
Твердость (H), усл. ед.	ГОСТ 263-75 [6]	Твердомер ТМ-2	Измерение сопротивления образцов погружению в них индентора	Среднее арифметическое всех измерений, округленное до целого числа
Абразивный износ (V_i), $мл^3/л$	ГОСТ 11012-2017 [7]	Тестер абразивного износа APG-300, Fritz Heckert, ГДР	Определение уменьшения объема образца в результате истирания	По формуле (1), ГОСТ 11012-2017. Результат – среднее арифметическое значение показателей истирания всех испытанных образцов, округленное до первого десятичного знака
Относительное удлинение (ϵ), %	ГОСТ 11262-80 [8]	Измерительный комплекс Instron 5567 с программным обеспечением Merlin, Instron, Великобритания	Образец растягивают вдоль его главной продольной оси с постоянной скоростью, в процессе растяжения измеряют нагрузку, выдерживаемую образцом, и удлинение образца и определяют заданные показатели	Результат – значения показателей образцов с погрешностью измерений 0,5 % и построение экспериментальных зависимостей
Предел прочности (σ), $МПа$				
Модуль упругости (E), $МПа$				

структуры, различают пористые, непористые (монолитные) и кожеподобные (волокнисто-наполненные) [9].

В состав кожеподобных (волокнисто-наполненных) материалов помимо основного составляющего (ингредиента) – полимерной матрицы входит также волокнистой наполнитель.

Самым распространенным кожеподобным материалом в легкой промышленности является

кожволон или кожеподобная резина, представляющая собой полимерную матрицу, армированную вискозными волокнами до 5 мас. % и обладающую высокими показателями физико-механических свойств [10]. Однако в Республике Беларусь подобные материалы не выпускаются, а импортируются из дружественных стран ближнего и дальнего зарубежья. Поэтому получение подобных материалов позволит со-

кратить импортную составляющую в себестоимости продукции.

В связи с этим анализ свойств полученных образцов материалов проводился в сравнении с уже известными значениями свойств кожволонов, по структуре которых близки полученные композиционные материалы.

Для лабораторных исследований образцов материалов проводились испытания по определению показателей, представленных и описанных в таблице 2.

Плотность изделий является одним из важнейших показателей их качества и назначения. С плотностью материалов для низа обуви связаны показатели при растяжении, твердость, теплозащитные и амортизационные свойства и др. Плотность полученных образцов материалов представлена на рисунке 1.

Плотность полученных образцов материалов составила 1,222–1,262 г/см³, необходимо отметить, что наполнение вторичного ППУ ДП до 5 мас. % способствует незначительному увели-

чению плотности образцов, по сравнению с не-наполненным, а введение ДП 5 мас. % позволяет снизить плотность образцов до 1,222 г/см³. Значение плотности подошвенных материалов из первичного полиуретана должно быть не более 1,2 г/см³ согласно данным производителей [11]. Этому требованию могут соответствовать образцы вторичного ППУ, содержащие ДП в количестве 1 мас. %, 2 мас. % и 5 мас. %. Согласно ГОСТу 10124 [12] значение плотности для пластин и деталей для низа обуви клеевого метода крепления должно быть не более 1,3 г/см³. Этому требованию могут соответствовать образцы вторичного ППУ, содержащие ДП в количестве 3 мас. % и 4 мас. %.

Необходимо отметить, что сравнение с первичным полиуретаном связано с тем, что образцы изготавливаются на полиуретановой матрице, а с резинами – в связи с установленными методиками, требованиями и нормативами испытаний на резину для низа обуви, применяемыми в обувном материаловедении, на обувных

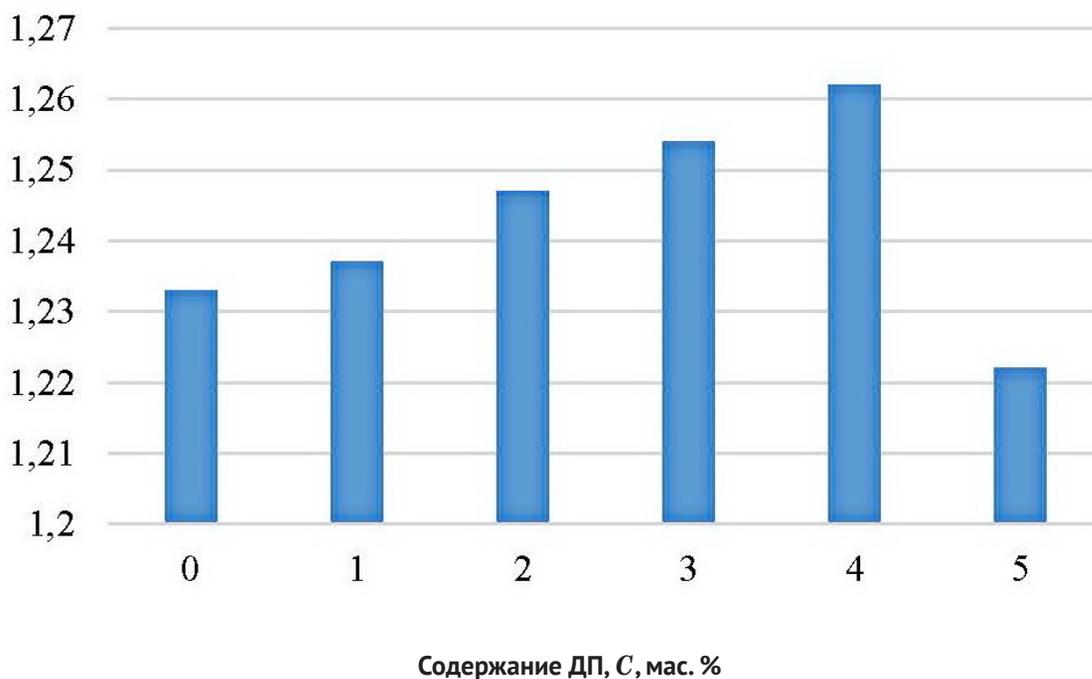


Рисунок 1 – Плотность вторичного ППУ в зависимости от содержания древесной пыли (ДП) в композите

предприятиях и в центрах испытаний для различных подошвенных материалов.

Предел прочности материалов при растяжении в значительной мере определяет технологические и эксплуатационные свойства изделий. Предел прочности при растяжении обуславливается многими факторами: качественным составом композита (вид полимера, наполнителей, пластификатора и стабилизатора и др.) и количественным содержанием отдельных составных частей (относительное количество полимера в композиции, дозировка наполнителей, пластификатора, стабилизатора и др.), правильностью проведения процесса изготовления композита (соблюдение порядка загрузки составных частей, равномерность их смешения, температурный режим смешения и др.), режимом переработки и литья композита (соблюдение установленных параметров, т. е. времени, температуры и давления).

Относительное удлинение материалов при разрыве является важным показателем их эксплуатационных свойств. Подошвы обуви с низкими показателями относительных удлинений при разрыве быстрее изнашиваются в процессе пользования обувью, а в ряде случаев ломаются по линии изгиба в пучках. На величину относительных удлинений материалов при разрыве влияют в основном те же факторы, что и на предел прочности при растяжении.

Важнейшей особенностью многих полимеров является то, что они находятся в высокоэластическом состоянии в широком диапазоне температур, что позволяет выбирать материал, который будет сохранять эластические свойства при заданных условиях эксплуатации. Механические свойства материалов для низа обуви являются следствием их высокоэластического состояния. Упругость высокомолекулярных тел является следствием ограниченности возможных конформационных превращений макромолекул под действием нагрузки.

Зависимости свойств композитов от рецептурного состава описанных выше показателей представлены на рисунке 2.

По данным рисунка 2 можно отметить, что при наполнении ДП предел прочности при растяжении и модуль упругости практически не изменяются, несколько снижаясь при повыше-

нии концентрации ДП (5 мас. %), по-видимому, вследствие эффекта наполнения. Деформация наполненного образца заметно ниже, чем ненаполненного. Ниже представлен анализ значений физико-механических характеристик.

Предел прочности полученных образцов материалов составил 13,8–16,0 *МПа*, что значительно превышает значение предела прочности подошвенных материалов из первичного полиуретана согласно данным производителей [11], исключение составляют только PU Compact фирмы The Dow Chemical Company (>30 *МПа*), Rubber-Like PU Compact фирмы The Dow Chemical Company (>20) и некоторые марки фирмы Xuchuan Chemical (Suzhou) Co (1,5–18 *МПа*). Согласно ГОСТу 10124 [12] значение предела прочности для пластин и деталей для низа обуви клеевого метода крепления должно быть не менее 4,5 *МПа*. Значения полученных образцов материалов превышают нижнюю пороговую границу показателя на 206,7–255,6 %.

При определении относительного удлинения при разрыве выяснилось, что оно составляет несколько меньше, чем заявленные нормативы, однако данный показатель превысил 100 %, также следует предположить, что данное значение показателя может быть обусловлено увеличением ДП в материале, т.к. на это указывает высокое значение плотности и твердости исследуемого композита [13]. Согласно данным производителей [11] минимальное значение относительного удлинения составляет 160 % (полиуретан System фирмы BCI Holding SA), согласно ГОСТу 10124 [12] значение относительного удлинения для пластин и деталей для низа обуви клеевого метода крепления должно быть не менее 170 %. Как можно заметить, значение показателя относительного удлинения согласно рисунку 2 не соответствует требуемым значениям, так как не «доходит» до минимальных требуемых значений. Наибольшее значение удлинения зафиксировано у вторичного ППУ, содержащего ДП в количестве 3 мас. % (132 %).

Модуль упругости составил 23,9–24,8 *МПа*. Данный показатель не входит в перечень регламентированных показателей для подошвенных материалов согласно [11, 12]. Тем не менее, если сравнивать значение для резин и первичных по-

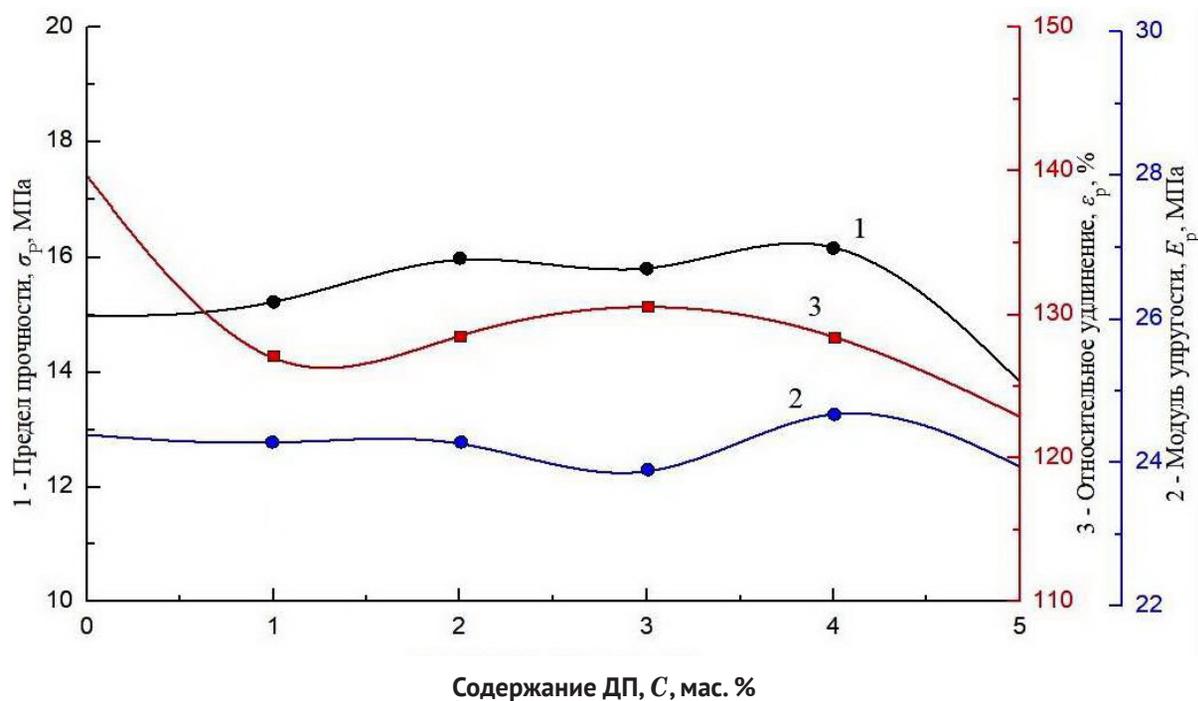


Рисунок 2 – Зависимость физико-механических характеристик вторичного ППУ от содержания древесной пыли (ДП) в композите: 1 – предел прочности при растяжении (σ_p); 2 – модуль упругости при растяжении (E_p); 3 – относительное удлинение при разрыве (ϵ_p)

лиуретанов, то согласно [14] модуль упругости при растяжении 100 % может составлять 12 и 29 МПа соответственно. Согласно полученным значениям, они значительно превосходят значения модуля упругости для резин, но немного уступают значениям для первичного полиуретана, при этом в требованиях приводится верхняя граница показателя.

Показатель твердости материалов для низа обуви отражает их технологические и эксплуатационные свойства. Материалы с низкими показателями твердости плохо поддаются обработке на обувных фабриках, деформируются при прессовании в процессе приклеивания к обуви, создают неудобства при носке обуви. Излишне твердые материалы обладают худшей амортизационной способностью и во многих случаях быстрее изнашиваются.

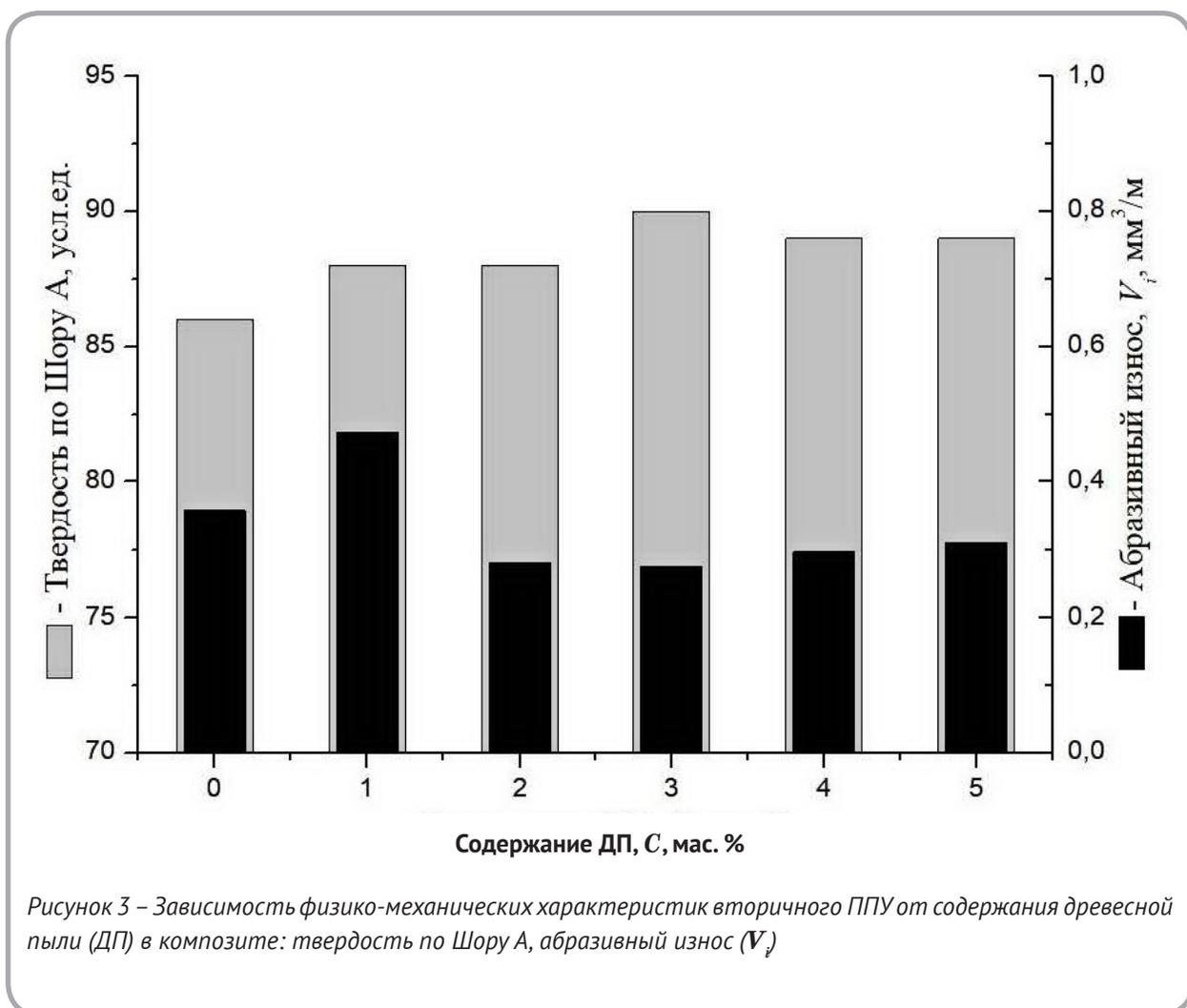
Еще одним очень важным свойством материалов для низа обуви является их высокая устойчивость к истиранию, определяемому усталостным разрушением поверхностного слоя ма-

териала при трении. На величину износа влияют вид полимера и его дозировка в композиции, вид наполнителя и его количество по отношению к полимеру, правильность изготовления композита, режимы переработки и литья и другие факторы.

Зависимости свойств композитов от рецептурного состава описанных выше показателей представлены на рисунке 3.

По данным рисунка 3 можно отметить, что твердость композита увеличивается при одновременном некотором снижении абразивного износа. Ниже представлен анализ значений физико-механических характеристик.

Твердость по Шору А составила 88–90 усл. ед., что соответствует значениям твердости подошвенных материалов из первичного полиуретана согласно данным производителей [11] (не более 90 усл. ед.), но не соответствует требованиям согласно ГОСТу 10124 [12] для пластин и деталей для низа обуви клеевого метода крепления (70–80 усл. ед.).



Значение абразивного износа отличается у полученных материалов в зависимости от содержания древесной пыли (ДП) в композите. Наилучшее значение наблюдается у вторичного ППУ с содержанием ДП 3 мас. % ($0,28 \text{ мм}^3/\text{м}$), наихудшее – у вторичного ППУ с содержанием ДП 1 мас. % ($0,48 \text{ мм}^3/\text{м}$). Необходимо отметить, что данный показатель не входит в перечень регламентированных показателей для подошвенных материалов из первичного полиуретана согласно данным производителей [11] и требованиям ГОСТа 10124 [12]. Для подошвенных материалов из первичного полиуретана регламентируется износ на закрепленном абразиве, происходящий на машинах барабанного типа в соответствии со стандартом ISO 4649 и измеряемый либо в мг (не более 30–250) либо в мм^3 (не более 60–500) [11]. Для резин согласно ГОСТу 10124 [12] регламентируется показа-

тель сопротивления истиранию – не более $2,5 \text{ Дж}/\text{мм}^3$. Согласно работе [15] можно получить расчетные значения износа в мм^3 на 1 м пути трения для подошвенных материалов из первичного полиуретана, составившие не более $3,0\text{--}25,0 \text{ мм}^3/\text{м}$. Анализируя полученные значения с расчетными значениями материалов из первичного полиуретана, можно сделать вывод о соответствии полученных образцов материалов требованиям.

Полученные результаты дополнены данными сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) в соответствии с рисунком 4.

Из представленных данных видно, что введение дисперсных наполнителей влияет на структурирование полимерной матрицы. При наполнении полимерной матрицы ДП фиксируется равномерное распределение наполнителя по объему матрицы (на рисунке 4 видны вкрап-

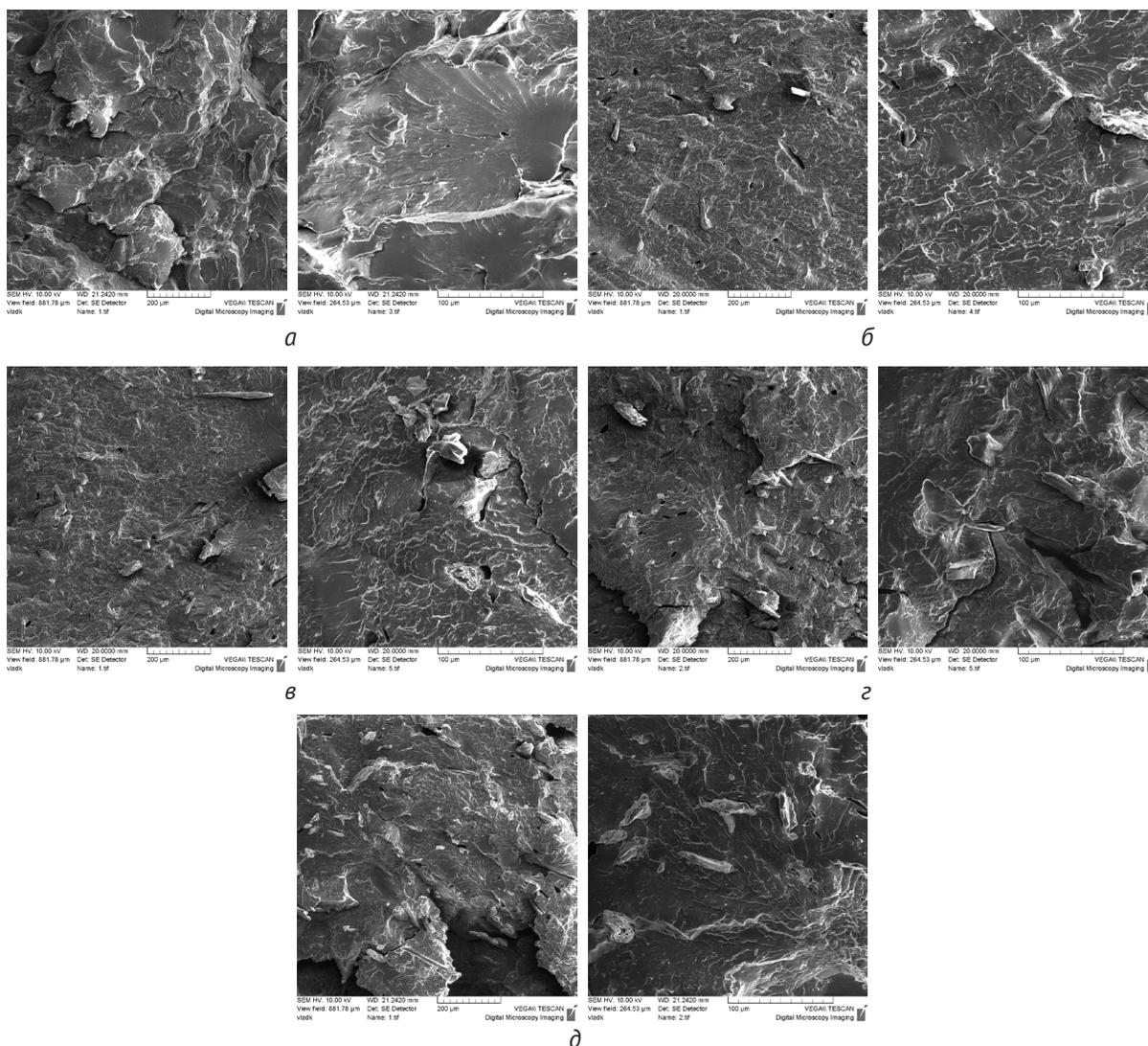


Рисунок 4 – Структуры срезов образцов с содержанием ДП 1–5 мас. %: а – 1 мас. %; б – 2 мас. %; в – 3 мас. %; г – 4 мас. %; д – 5 мас. %

ления частиц), вследствие чего формирование морфологии композита происходит относительно упорядоченным способом. По-видимому, дисперсные частицы ДП вначале располагаются в остаточных порах материала, а впоследствии, взаимодействуя с этими инкапсулированными частицами – на границах раздела «ДП – связующее», что ведет к относительно равномерному распределению наполнителя. Более заметное присутствие ДП при 5 мас. % иллюстрирует эффект наполнения, реализующийся в некотором ухудшении прочностных характеристик. Вероят-

но, определенную роль играет площадь поверхности дисперсных частиц [16].

Структура на рисунке 4 а характеризуется неоднородной расплавленной поверхностью, 4 б и 4 в характеризуется хорошей адгезией между частицами древесной пыли и полиуретановой матрицей, имеет меньше полостей и пустот и более однородную поверхность, 4 г и 4 д за счет скопления частиц ДП на поверхности не проникают и не взаимодействуют с полиуретановой матрицей, что говорит о плохой межфазной адгезии. Эти наблюдения СЭМ ясно объяс-

няют усиление физико-механических свойств вторичного полиуретана, содержащего ДП в количестве 2 мас. % и 3 мас. %.

Заключение

Проведенное исследование позволяет предположить, что древесные наполнители в виде ДП можно рассматривать как недорогие функциональные добавки в полиуретановую основу для обеспечения достижения приемлемых и воспроизводимых физико-механических показателей свойств и технологических показателей процесса их переработки для получения конкурентоспособных импортозамещающих изделий с заданным ресурсом и высоким гарантированным сроком службы. Это обуславливается определенными рецептурно-технологическими параметрами формирования композита,

связанными с тем, что дисперсные частицы в виде ДП проникают в остаточные поры отходов ППУ, вступая во взаимодействие друг с другом и способствуя возникновению упорядоченных структур, тем самым выполняя роль не только наполнителя композиционных материалов, но и роль структурирующей и упрочняющей добавки.

В рамках работы также установлено, что введение в композицию ДП в количестве 1,0–5,0 мас. % и совмещение ее с полиуретановой основой позволяет повысить твердость, износостойкость композиционных материалов при сохранении уровня прочностных показателей, что позволяет приблизить их по показателям качества к материалам, используемым в обувной промышленности для получения подошв обуви (резины и первичный полиуретан).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шаповалов, В. М., Тартаковский, З. Л. (2003), *Многокомпонентные полимерные системы на основе вторичных материалов*, Гомель: ИММС НАН Беларуси, 262 с.
2. Черкасова, Н. Г., Стрикун, В. В. (2017), Влияние древесной пыли на качество композиционных строительных материалов, *Хвойные бореальной зоны*, 2017, том XXXV, № 1 (2), С. 106–110.
3. Клёсов, А. А. (2010), *Древесно-полимерные композиты*, СПб.: Научные основы и технологии, 736 с.
4. Stavrov, V. P., Spiglazov, A. V., Sviridenok, A. I. (2007), Rheological parameters of molding thermoplastic composites high-filled with wood particles, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 2007, vol. 12, № 2, pp. 527–536.
5. ГОСТ 267-73. Резина. Методы определения плотности, Введ. 1975.01.01, ИПК Издательство стандартов, Москва, 2001, 5 с.

REFERENCES

1. Shapovalov, V. M., Tartakovskiy, Z. L. (2003), *Mnogokomponentnye polimernye sistemy na osnove vtorichnykh materialov* [Multicomponent polymer systems based on secondary materials], Gomel: IMMS NAS of Belarus, 262 p.
2. Cherkasova, N. G., Strikun, V. V. (2017), Influence of wood dust on the quality of composite building materials [Vlianiye drevesnoy pyli na kachestvo kompozitsionnykh stroitel'nykh materialov], *Hvojnyye boreal'noy zony – Conifers of the boreal zone*, 2017, Vol. XXXV, № 1 (2), pp. 106–110.
3. Klyosov, A. A. (2010), *Drevesno-polimernye kompozity* [Wood-polymer composites], St. Petersburg: Scientific bases and technologies, 736 p.
4. Stavrov, V. P., Spiglazov, A. V., Sviridenok, A. I. (2007), Rheological parameters of molding thermoplastic composites high-filled with wood particles, *International Journal of Applied Mechanics and Engineering*, 2007, vol. 12, № 2, pp. 527–536.

6. ГОСТ 263-75. *Резина. Метод определения твердости по Шору А*, Введ. 1977.01.01, Государственный комитет СССР по стандартам, Москва, 1989, 5 с.
7. ГОСТ 11012-2017. *Пластмассы. Метод испытания на абразивный износ*, Введ. 01.07.2018, Стандартинформ, Москва, 2017, 7 с.
8. ГОСТ 11262-2017. *Пластмассы. Метод испытания на растяжение*, Введ. 01.10.2018, Стандартинформ, Москва, 2018, 19 с.
9. Павлинов, А. В. (2014), Подошвенные материалы на основе синтетических полимеров, *Вестник Казанского технологического университета*, 2014, № 6, С. 101–103.
10. Буркин, А. Н. [и др.] (2011), *Материаловедение кожевенно-обувного производства*, М.: Беларус. Энцыкл. імя П. Броўкі, 310 с.
11. Радюк, А. Н., Ковальчук, Е. А., Буркин, А. Н. (2022), Показатели физико-механических свойств полиуретановых систем, под общ. ред. Буркина А.Н., *Материалы для подошв обуви на основе отходов производства*, Витебск, С. 23–24.
12. ГОСТ 10124-76. *Пластины и детали резиновые непористые для низа обуви. Технические условия*, Введ. 1977.01.01, Государственный комитет СССР по стандартам, Москва, 1982, 10 с.
13. Долган, М. И. (2015), Свойства современных кожеподобных резин, Новое в технике и технологии в текстильной и легкой промышленности, *Материалы докладов международной научно-технической конференции*, Витебск, 2015, С. 339–341.
14. *Полиуретан*, режим доступа: <https://varyag-plus.ru/detail/4209/> (дата доступа 24.07.2023 г.)
5. Standard 267-73. *Rubber. Methods of density determination*, Vved. 1975.01.01, IPK Izdatel'stvo standartov, Moscow, 2001, 5 p.
6. Standard 263-75. *Rubber. Method for determining Shore A hardness*, Vved. 1977.01.01, Gosudarstvennyj komitet SSSR po standartam, Moscow, 1989, 5 p. 7.
7. Standard 11012-2017. *Plastics. Method of abrasive wear test*, Vved. 01.07.2018, Standartinform, Moscow, Moscow, 2017, 7 p.
8. Standard 11262-2017. *Plastics. Tensile test method*, Vved. 01.10.2018, Standartinform, Moscow, 2018, 19 p.
9. Pavlinov, A. V. (2014), Podoshvennye materialy na osnove sinteticheskikh polimerov [Podosol materials based on synthetic polymers], *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta – Herald of Technological University*, 2014, № 6, P. 101–103.
10. Burkin, A. N. [i dr.] (2011), *Materialovedenie kozhevenno-obuvnogo proizvodstva* [Materials science of leather and footwear production], М.: Belarus. Encykl. imya P. Broŭki, 310 p.
11. Radiuk, A. N., Kovalchuk, E. A., Burkin, A. N. (2022), Pokazateli fiziko-mehaniicheskikh svojstv poliuretanoovykh system [Indicators of physical and mechanical properties of polyurethane systems], edited by Burkin A.N., *Materialy dlja podoshv obuvi na osnove othodov proizvodstva* [Materials for shoe soles on the basis of production waste], Vitebsk, pp. 23–24.
12. Standard 10124-76. *Non-porous rubber plates and parts for shoe bottoms. Specifications*, Vved. 1977.01.01.01, Gosudarstvennyj komitet SSSR po standartam, Moscow, 1982, 10 p.
13. Dolgan, M. I. (2015), Properties of modern skin-like rubbers [Svojstva sovremennykh kozhepodobnykh rezin], *Novoe v tehnikе i tehnologii v tekstil'noj i legkoj promyshlennosti*,

15. Гумен, В. Р., Мильникова, Т. Н., Коврига, В. В. (2018), Сравнение износостойкости полиолефинов и термопластичных полиуретанов в условиях абразивного износа, *Пластические массы*, 2018, № 7-8, С. 29–32.
16. Теоретические и экспериментальные методы оценки структуры и свойств композиционных материалов на полимерной матрице из полиуретанов по заданию 8.4.2.4 подпрограммы «Многофункциональные и композиционные материалы» государственной программы научных исследований «Материаловедение, новые материалы и технологии» на 2021–2025 годы : отчет о НИР (промежуточный) : 2022-Г/Б-368 / УО «ВГТУ» ; науч. рук. А. Н. Буркин. – Витебск, 2022. – 67 с.
- Materials of reports of the international scientific and technical conference*, Vitebsk, 2015, pp. 339–341.
14. *Poliuretan* [Polyurethane], available at: <https://varyag-plus.ru/detail/4209/> (accessed 24 July 2023).
15. Gumen, V. R., Mylnikova, T. N., Kovriga, V. V. (2018), Comparison of wear resistance of polyolefins and thermoplastic polyurethanes under abrasive wear conditions [Srvanenie iznosostojkosti poliolefinov i termoplastichnyh poliuretanov v uslovijah abrazivnogo iznosa], *Plasticheskie massy – Plastic*, 2018, № 7-8, pp. 29–32.
16. Theoretical and experimental methods of evaluation of structure and properties of composite materials on polymer matrix from polyurethanes [Teoreticheskie i jeksperimental'nye metody ocenki struktury i svojstv kompozicionnyh materialov na polimernoj matrice iz poliuretanov] under the task 8.4.2.4 of the subprogram "Multifunctional and composite materials" of the state research program "Materials science, new materials and technologies" for 2021-2025 : research report (interim) : 2022-G/B-368 / EE "VGTU" ; scientific supervisor. A. N. Burkin. – Vitebsk, 2022. – 67 p.

Статья поступила в редакцию 30.08.2023 г.