

УДК [675.8+666.193.2]-026.5/.56

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОМПОЗИЦИОННЫХ  
МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ЛЕГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
С ПРИМЕНЕНИЕМ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОЛОКОН**

*Н.И. Тагаева, Е.Ю. Шампаров*

Рассмотрены физико-механические свойства композиционных материалов по типу обувных кожкартонов, полученных на основе кожевенных, целлюлозных, текстильных и минеральных волокон. Приведены составы и метод получения экспериментальных образцов с применением базальтовых волокон, обработанных СВЧ-волнами в водной среде. Это позволяет модифицировать поверхность структуры и улучшить связывание их в композициях с различными волокнами и проклеивающими материалами.

*Ключевые слова:* композиционные материалы; обувной картон; кожевенные, целлюлозные, текстильные, базальтовые волокна; проклеивающие материалы; теплопроводность; намокаемость.

---

**МИНЕРАЛДЫК БУЛАЛАРДЫ КОЛДОНУУ МЕНЕН ЖЕҢИЛ ӨНӨР ЖАЙЫНЫН  
КАЛДЫКТАРЫНЫН НЕГИЗИНДЕ КОМПОЗИЦИЯЛЫК МАТЕРИАЛДАРЫНЫН  
ФИЗИКАЛЫК-МЕХАНИКАЛЫК КАСИЕТТЕРИН ИЗИЛДӨӨ**

*Н.И. Тагаева, Э.Ю. Шампаров*

Макалада териден, целлюлозадан, текстилден жана минералдык булалардан алынган булгары бут кийимдердин картон түрүндөгү курама материалдарынын физикалык жана механикалык касиеттери талкууланат. Суулуу чөйрөдө микротолкундар менен иштетилген базальт жипчелерин колдонуу менен эксперименталдык үлгүлөрдү алуунун курамы жана ыкмасы көрсөтүлөт. Бул түзүмдүн бетин өзгөртүүгө жана ар кандай булалар жана жабыштыргыч материалдар менен композицияларда алардын байланышын жакшыртууга мүмкүндүк берет.

*Түйүндүү сөздөр:* курама материалдар; бут кийим картону; булгаары, целлюлоза, текстиль, базальт буласы; жабыштыргыч материалдар; жылуулук өткөрүмдүүлүк; нымдуулук.

---

**RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES  
OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON LIGHT INDUSTRY WASTE  
USING OF MINERAL FIBERS**

*N.I. Tagaeva, E.Yu. Shamparov*

The article is devoted to the physical and mechanical properties of composite materials of the type of shoe leather cardboard, obtained on the basis of leather, cellulose, textile and mineral fibers. Compositions and a method for obtaining experimental samples using basalt fibers treated with microwave waves in an aqueous medium are given. This allows to modify the surface of the structure and improve their bonding in compositions with various fibers and sizing materials.

*Keywords:* composite materials; shoe board; leather, cellulose, textile, basalt fibers; sizing materials; thermal conductivity; wetness.

**Введение.** Композиционные материалы, полученные на основе восстановленного сырья, имеют большое экономическое значение и способствуют развитию ресурсосберегающих технологий. Такой подход очень важен для отраслей легкой промышленности, где вырабатывается большое количество волокнистых отходов, переработка которых является достаточно актуальной проблемой. Разработка композиционных материалов на основе отходов производств легкой, текстильной индустрии является одним из способов ее решения.

В работе исследуется возможность использования отходов легкой и текстильной промышленности в качестве вторичного сырья, а также минеральных волокон для получения композиционных материалов по типу картонов с улучшенными свойствами. Минеральные волокна, в частности базальтовые, обладают большим температурным интервалом – от  $-269$  до  $+700-900$  °С, гигроскопичностью менее 1 %, а также кислото-, щелоче- и пароустойчивостью, тепло-, радио-, звукоизоляцией. Наибольший интерес представляют такие свойства базальтовых волокон, как устойчивость к микробам, бактериям, паразитам, влаге, агрессивным средам, к перепадам температур, отсутствие вредных и токсичных испарений. Включение базальтовых волокон в состав картонов позволит получить композиционные материалы с улучшенными свойствами.

Картон имеет широкое применение в различных современных отраслях промышленности, в том числе обувные и галантерейные картон, которые используются в легкой промышленности. Обувные картон имеют нормированные показатели и характеристики, позволяющие применять их в качестве деталей низа обуви (основные, вкладные стельки, задники и т. д.). Из показателей их физико-механических свойств нормированы: толщина, плотность, намокаемость и набухаемость, предел прочности при растяжении и удлинение при разрыве, жесткость при статическом изгибе и истираемость во влажном состоянии и т. д.

В работе рассматриваются теплозащитные свойства картонов, которые могут быть улучшены за счет применения базальтовых волокон, характеризующиеся низкой теплопроводностью ( $0,03-0,04$  Вт/(м·К)). Несмотря на достаточные показатели теплопроводности обувных картонов  $0,1-0,12$  Вт/(м·К), при увлажнении этот показатель увеличивается. При поглощении влаги ухудшаются механические свойства картонов, что влияет на формование деталей обуви, а при ее носке – на изменение линейных размеров деталей низа обуви после намокания и сушки. Такие показатели оказывают влияние на срок эксплуатации обуви [1].

Для получения композиционных материалов типа картонов, использованы кожевенные волокна длиной от 3 до 7 мм, целлюлозные и текстильные волокна – разволокненные и измельченные, а также базальтовые волокна с различной длиной в дробленном виде и обработанные на плазматроне в жидкой среде. При обработке базальтовых волокон СВЧ в жидкой среде и их сушки, получена волокнистая масса минеральных волокон, легких и мягких на ощупь. Как показали исследования базальтовых волокон под электронным микроскопом (рисунок 1), их структурная поверхность претерпела изменения, за счет чего повысилась гидрофильность, свойлачиваемость и адгезивные свойства.

Для получения удовлетворяющих физико-механических и гигиенических свойств картонов, их пространственная волокнистая структура должна представлять собой взаимно пронизывающие сетки волокон и проклеивающего материала. При малом содержании связующих, непрерывная сетка может не образоваться, а при значительно большем их количестве происходит отделение волокон проклеивающим материалом, который образует в отдельных частях монолитность, нарушая подвижность структуры, что влияет на основные рассматриваемые авторами свойства, как предел прочности и теплопроводность.

Для проведения исследований были получены 32 экспериментальных образца – различные по составу и проклеивающим материалам. Образцы под № 1–4 были получены на основе кожевенных, целлюлозных и базальтовых волокон, № 18–32 – с добавлением текстильных волокон. Образцы № 5–17 были получены для предварительной апробации новых связующих латексов: 303, ВОП, полученных в КНИТУ (г. Казань), которые показали достаточно хорошую клеящую способность, а также

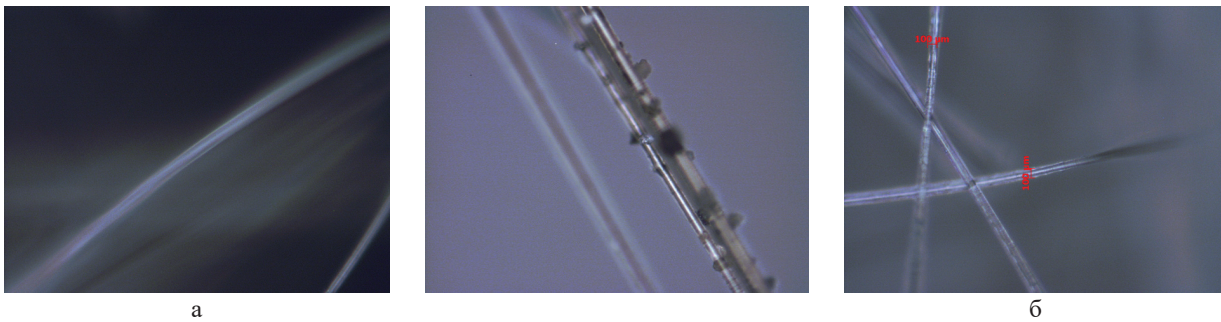


Рисунок 1 – Базальтовое волокно под микроскопом:  
а – до обработки; б – после обработки СВЧ (увеличение в 200 раз)

поливинилацетатной эмульсии (ПВА). В состав были включены: наполнитель, пластификатор, перкарбонат натрия для оседания клеящих веществ на волокне.

Образцы, проклеенные ПВА, исследовали на оптимальную концентрацию связующего из вариаций от 10 до 60 мас. ч. и его влияния на теплопроводность. Как показали результаты исследований, расход проклеивающего материала должен находиться в пределах 25–35 на 100 массовых частей всех составляющих. При увеличении проклеивающего материала до 50 мас.ч. и более, прочность полученных образцов повышалась, и теплопроводность имела более высокие показатели (рисунок 2).

Для сравнительных экспериментов использовались базальтовые волокна двух видов: дробленые длиной 1–3 мкм, и обработанные на плазмотроне. Смешение увлажненных волокон: кожевенных, базальтовых, целлюлозных, текстильных осуществлялось в пропорциях 1:1:0,8:0,8 и 1:1:0,5:0,5 с добавлением связующего, далее на подложке отливали образцы, подвергали сушке, прессованию и определяли коэффициент теплопроводности.

При стационарном тепловом режиме определяли количество теплоты, необходимое для сохранения постоянной разности температур двух поверхностей, изолированных друг от друга испытываемым материалом. На таком принципе устроен прибор для определения коэффициента теплопроводности (рисунок 3). Прибор был разработан в МГУДиТ на кафедре физики.

Образцы материала размером примерно 10×10 см, толщиной  $d$ , мм, и массой  $m$ , г, располагали между нагревательным элементом и холодильником. Устанавливая постоянное значение температур нагревателя  $T_n$  и холодильника  $T_x$ , с помощью вольтметра и амперметра контролировали расход электроэнергии, идущей на поддержание постоянного перепада температуры. По полученным значениям силы тока  $I$  и напряжения нагревателя  $U$ , рассчитывали мощность нагревателя  $P$ , Вт.

Тепловое сопротивление  $R_t$ , Вт/(м<sup>2</sup>\*К) определяли по формуле:

$$R_t = \frac{P}{S\Delta T} \quad , \quad (1)$$

где  $S = 0,00723$  мм<sup>2</sup>;  $\Delta T = T_n - T_x$ , где  $\Delta T$  – разница температур нагревателя и холодильника.

$$P = \frac{U^2}{R} \quad , \quad (2)$$

где  $R = 20$  Ом.

Удельную теплопроводность материала Вт/(м\*К) рассчитывали по формуле:

$$\lambda = R_t d \quad . \quad (3)$$

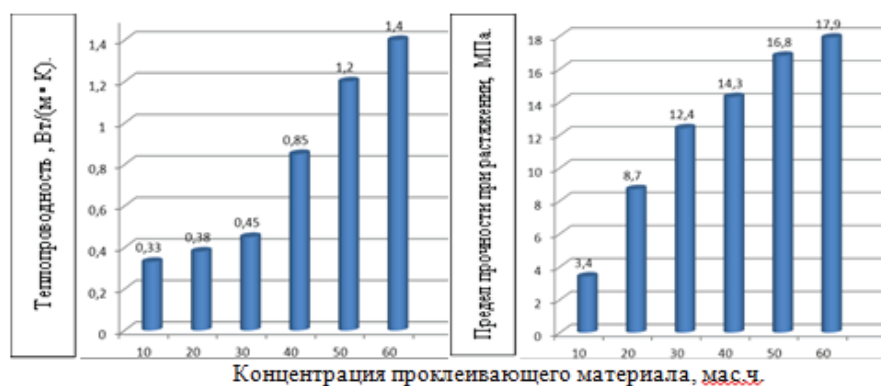


Рисунок 2 – Теплопроводность и предел прочности при растяжении полученных образцов

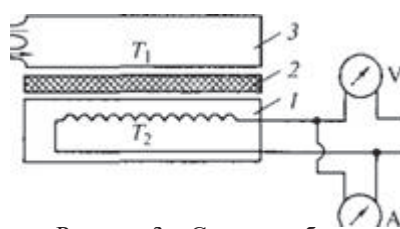


Рисунок 3 – Схема прибора:

1 – нагревательный элемент; 2 – материал; 3 – холодильник

Результаты измерений и расчетов приведены в таблице 1. Диапазон удельной теплопроводности экспериментальных образцов – от 0,04 до 0,1. Наиболее низкую теплопроводность показали образцы № 21, 24, 28. В составе образца № 21 – базальт молотый и кожевенные волокна длиной до 5 мм, ПВА. В образце № 24 базальт с плазменной обработкой и ПВА; № 28 – базальт измельченный и латекс 303. При равных условиях латексы показали более стабильную теплопроводность с латексом ВОП от 0,065 до 0,080 и латексом 303 от 0,040 до 0,068. ПВА способствует более широкому спектру показателей от 0,049 до 0,088, в зависимости от состава композиционного материала. При увеличении количества целлюлозных и текстильных волокон теплопроводность повышается независимо от обработки базальтовых волокон. Среди образцов, где кожевенные волокна имеют меньшую длину и используются базальтовые волокна с разной обработкой, наибольшее влияние на теплопроводность оказывает проклеивающий материал ПВА.

При применении более длинных кожевенных волокон, теплопроводность возрастает, т. к. поверхность этих волокон имеет большее количество активных групп и высокую адгезивность, что придает прочность полученным образцам, этому же способствует наличие целлюлозных и текстильных волокон, также имеющих хорошую активность к связующему.

Предел прочности при растяжении согласно нормативным данным (ГОСТ 7626–85, ГОСТ 9542–83) для обувных картонов составляет 3–6 МПа [2]. Полученные образцы типа картонов, характеризуются показателями в пределах 1,5–4,5 МПа в зависимости от их состава (рисунок 4). Из всех полученных образцов для дальнейших исследований, последние отбирались с более прочными характеристиками.

Одним из важных свойств картонов, влияющих на сроки эксплуатации обуви, является способность их поглощать влагу при непосредственном контакте, что характеризует намокаемость и одновременно их набухаемость по толщине, а также последующее изменение линейных размеров при высушивании. Следует отметить, что намокаемость в определенной степени является показателем

Таблица 1 – Результаты определения теплопроводности

№ образца	Толщина образца, мм	Масса образца, г	Температура нагревателя, °С	Температура холодильника, °С	Разность температур, °С	Напряжение нагревателя, В	Мощность нагревателя, Вт	Тепловое сопротивление, Вт/(м <sup>2</sup> ·К)	Удельная теплопроводность, Вт/(м·К)
1	2,5	13,96	39,25	18,25	21,0	8,9	3,9605	26,0851	0,065213
2	2,8	14,49	39,375	17,625	21,75	8,78	3,8544	24,5110	0,068631
3	3,8	20,10	39,5	17,06	22,44	7,3	2,6645	16,4231	0,062408
4	3,4	23,00	39,5	18,19	21,31	8,94	3,9962	25,9372	0,088187
18	4,3	22,24	39,5	17,75	21,75	8,12	3,2967	20,9645	0,090147
19	4,1	20,53	39,25	18,375	20,875	8,7	3,7845	25,0752	0,102808
20	3,4	19,05	39,375	17,25	22,125	7,71	2,9722	18,5805	0,063174
21	3,5	13,92	40,0	16,56	23,44	6,9	2,3805	14,0466	0,049163
22	4,7	22,98	39,625	16,44	23,185	6,81	2,3188	13,8331	0,065015
23	4,1	17,11	39,5	16,875	22,625	7,71	2,9722	18,1699	0,074496
24	3,5	13,26	40,0	16,25	23,75	6,95	2,4151	14,0650	0,049227
25	4,5	22,56	40,0	17,0	23,0	7,03	2,4711	14,8599	0,066869
26	4,0	18,46	39,375	17,25	22,125	7,51	2,8200	17,6290	0,070516
27	4,5	19,46	40,0	17,375	22,625	7,01	2,4570	15,0203	0,067591
28	4,3	21,03	40,0	17,25	22,75	7,56	1,5456	9,3972	0,040408
29	5,5	21,75	39,625	16,5	23,125	6,51	2,1190	12,6740	0,069707
30	4,2	22,67	40,0	17,25	22,75	7,62	2,9032	17,6506	0,074133
31	4,0	20,94	39,5	16,81	22,69	7,52	2,8275	17,2359	0,068943
32	5,5	23,28	39,25	16,875	22,375	6,88	2,3667	14,6300	0,080465

гигиенических свойств (потовпитываемость). Намокаемость может находиться в пределах 12–25 %. Изменение линейных размеров допускается до 3 %, усадка – до 5 % [3]. Как известно, базальтовое волокно имеет низкую, не изменяющуюся во времени гигроскопичность (0,2–0,3 %), что обеспечивает стабильность теплофизических характеристик при длительной эксплуатации [4]. Включая базальтовые волокна в композиционные материалы, повышается их гидрофобность, снижается намокаемость, сохраняя линейные размеры образцов (рисунок 5).

Таким образом, результаты проведенных исследований по созданию благоприятных теплозащитных условий для носки обуви, позволяют расширить ассортимент продукции для деталей низа обуви. В частности, картонов с минеральными волокнами, которые снижают показатели теплопроводности, и позволяют создать хороший температурный режим внутри обуви на морозе. Это позволяет увеличить стойкость к намоканию, предотвращая расслоение и сохраняя линейные размеры деталей обуви, увеличивая тем самым продолжительность ее эксплуатации. Применение таких картонов для галантерейной продукции позволит сохранять форму изделий после воздействия влаги или намокания. Композиционный базальтовый материал в обувных изделиях также способствует повышению безопасности в условиях высоких температур.

Исследуемые характеристики картонов наиболее важны для специальной обуви, которая испытывает воздействие различных агрессивных сред, температурного диапазона, радиационных излучений и т. д. Необходимо отметить, что базальтовые волокна в силу своих уникальных свойств, в частности, устойчивости к высоким и низким температурам, кислотным и щелочным средам, способствуют повышению защитных функций стопы человека.

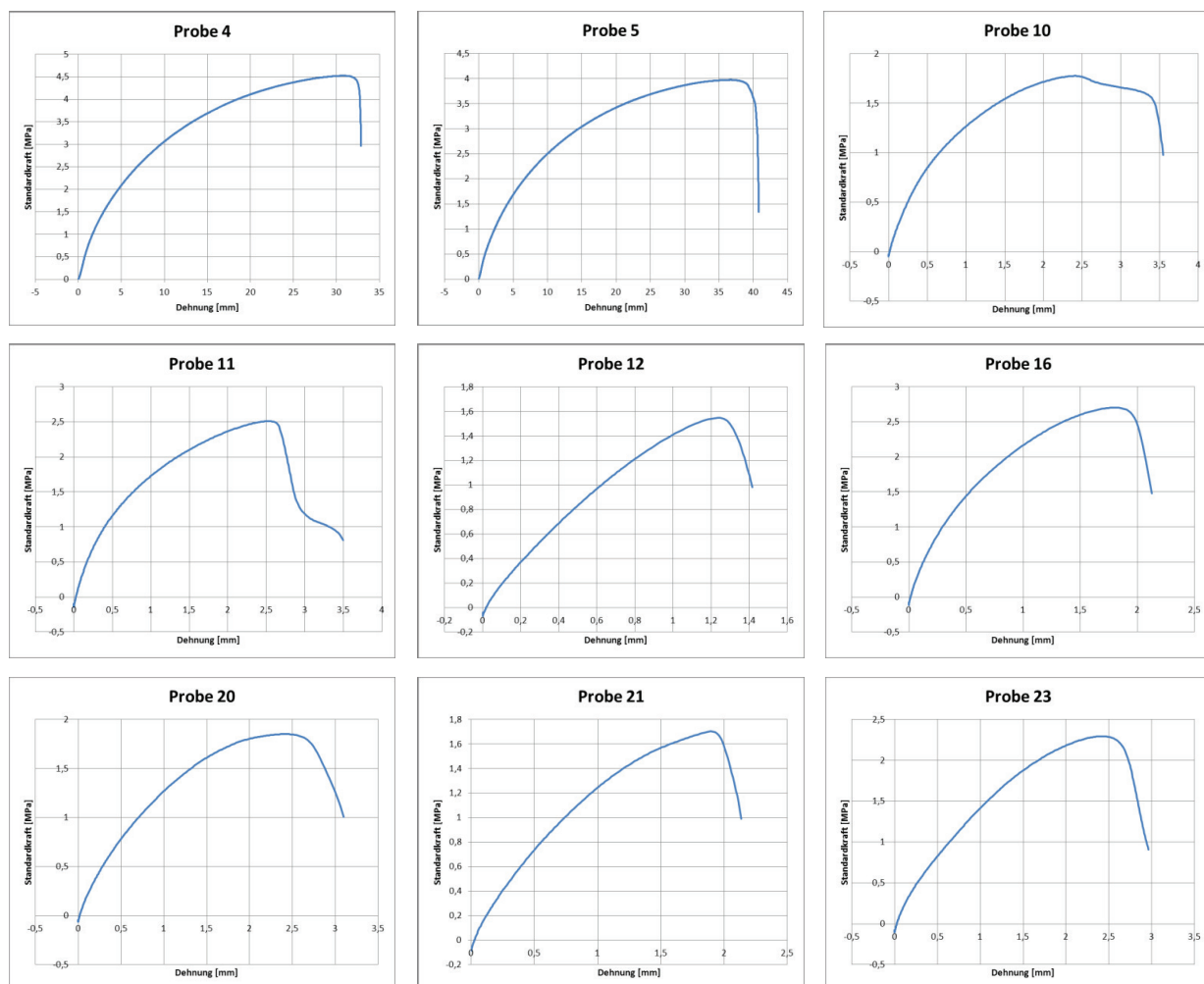


Рисунок 4 – Предел прочности при растяжении образцов на основе кожаненных, текстильных, целлюлозных отходов и базальтовых волокон

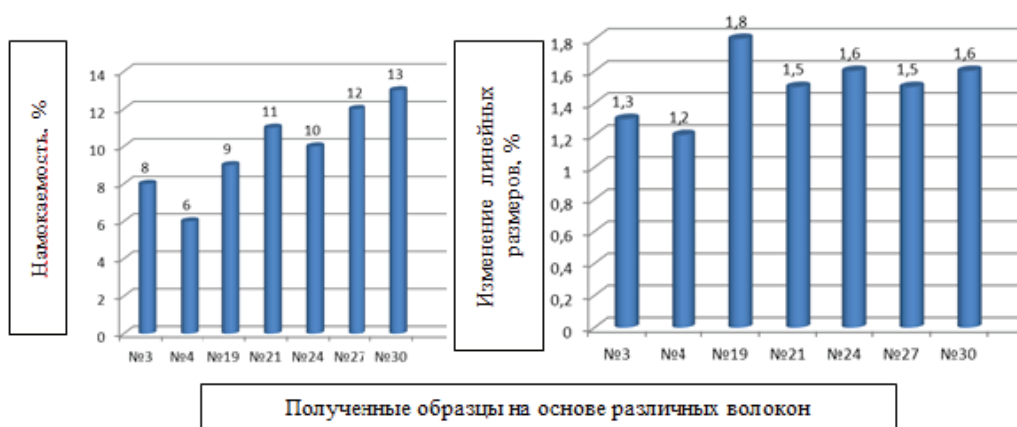


Рисунок 5 – Показатели намокаемости и изменение линейных размеров

*Литература*

1. *Иванова В.Я.* Материаловедение изделий из кожи / В.Я. Иванова. М.: Альфа-М, 2014. 208 с.
2. *Андрианова Г.П.* Химия и физика высокомолекулярных соединений в производстве искусственной кожи, кожи и меха / Г.П. Андрианова, Д.А. Куциди. М.: Легпромбытиздат, 2010. 468 с.
3. *Химия и технология полимерных пленочных материалов и искусственной кожи* / под ред. Г.П. Андриановой, К.А. Поляковой, А.С. Фильчикова и др. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Легпромбытиздат, 1990. 304 с.
4. *Джигирис Д.Д.* Основы производства базальтовых волокон и изделий: монография / Д.Д. Джигирис, М.Ф. Махова. М.: Теплоэнергетик, 2002. 411 с.