

**В. П. Тихонова, Г. Р. Рахматуллина, Д. К. Низамова,
О. В. Фукина, К. А. Безценный**

АНАЛИЗ СВОЙСТВ И СТРУКТУРЫ ПЕРГАМЕНТА ИЗ РАЗНЫХ ВИДОВ СЫРЬЯ

Ключевые слова: пергамент, поры, шкуры коз, овец, лошади, предел прочности, удлинение, структура, краевой угол смачивания.

Пергамент из шкур животных является продуктом кожевенного производства. Ввиду редкого и малого производства пергамента из шкур животных, в Российской Федерации не существует для него государственного стандарта. Косвенно для определения показателей качества пергамента может подойти ГОСТ 4.11-81 «Система показателей качества продукции. Кожа. Номенклатура показателей». Пергамент, изготовленный из шкур животных, имеет различную область применения, включая пищевые продукты. Характерными свойствами пергамента является его щелочность и высокая гигроскопичность. Первое свойство обуславливает его повышенную стабильность, так как в условиях избыточной щелочности материала меньше подвергается воздействию кислой окружающей среды, содержащей кислые оксиды серы и азота, и лучше противостоит разрушительному действию микроорганизмов. Второе же обстоятельство является основной причиной повреждения рукописей и документов. При этом для пергамента губительна как избыточная, так и пониженная влажность воздуха. В работе проведен анализ механических показателей пергамента, их смачивающей способности, а также проведена оценка структуры капиллярно-пористого материала в зависимости от вида сырья. Экспериментально установлено, что пергамент характеризуется высокой прочностью (до 5 раз выше прочности кожи) при достаточно низком показателе удлинения (до 4 раз ниже удлинения кожи). При этом наиболее прочным является пергамент из шкур коз по сравнению с пергаментом из шкур овец и лошадей, это связано со специфическим строением данного материала, а именно плотным переплетением пучков коллагеновых волокон, образующих густую горизонтально-волокнистую связь и характеризующейся преимущественным преобладанием пор размером 0,5652 мкм. Кроме того, пергамент из шкур коз имеет гидрофобную поверхность, благодаря плотной структуре лицевого слоя.

**V. P. Tikhonova, G. R. Rakhmatullina, D. K. Nizamova,
O. V. Fukina, K. A. Beztsenny**

ANALYSIS OF THE PROPERTIES AND STRUCTURE OF PARCHMENT MADE FROM DIFFERENT TYPES OF RAW MATERIALS

Keywords: parchment, pores, goat, sheep, and horse skins, tensile strength, elongation, structure, contact angle

Animal skin parchment is a product of leather production. Due to the rare and small-scale production of animal skin parchment, there is no state standard for it in the Russian Federation. Indirectly, GOST 4.11-81 "System of product quality indicators. Leather. Nomenclature of indicators." Parchment made from animal skins has various applications, including food products. The characteristic properties of parchment are its alkalinity and high hygroscopicity. The first property determines its increased stability, since in conditions of excessive alkalinity, the material is less exposed to the acidic environment containing acidic sulfur and nitrogen oxides and better resists the destructive action of microorganisms. The second circumstance is the main cause of damage to manuscripts and documents. At the same time, both excessive and low air humidity are destructive for parchment. The work analyzes the mechanical properties of parchment, its wetting ability, and evaluates the structure of the capillary-porous material depending on the type of raw material. Experiments have shown that parchment is characterized by high strength (up to 5 times higher than that of leather) with a fairly low elongation index (up to 4 times lower than that of leather). At the same time, parchment made from goat skins is the most durable compared to parchment made from sheep and horse skins. This is due to the specific structure of this material, namely the dense interweaving of collagen fiber bundles, forming a thick horizontal-fiber bond and characterized by a predominance of pores measuring 0.5652 microns. In addition, goatskin parchment has a hydrophobic surface due to the dense structure of the face layer.

Введение

Пергамент — прочный материал, о чём свидетельствуют древнейшие сохранившиеся пергаментные рукописи, он представляет собой высушенное голье из шкур животных [1]. Для изготовления пергамента, как правило, использовались шкуры овец, баранов, телят, лошадей [2]. На юге Европы в средние века употребляли, по приданью, козы и овечьи шкуры, а в Германии и Франции пользовались преимущественно телячими. Несмотря на свою гигроскопичность, пергамент довольно устойчив к действию микроорганизмов благодаря щелочности [3]. Основная задача в обеспечении сохранности таких рукописей и книг

состоит в обеспечении благоприятного температурно-влажностного режима хранения.

При производстве пергамента кожу не дубили, а тщательно вычищали, затем скоблили и высушивали под натяжением, получая листы тонкой и прочной кожи белого или желтоватого цвета [4].

Хотя пергамент из шкур животных считается устаревшим материалом, он и по сей день находит свое применение как в народном хозяйстве, так и при изготовлении элементов декора интерьера, элементов религиозной литературы, музыкальных инструментов, протезов и т. д. [5].

Пергамент по своей природе является натуральным материалом. Он на 90% состоит из коллагена — самого распространенного белка,

помимо коллагена в него входят эластин, гликопротеины, жиры и минералы [6]. Молекулы коллагена, в виде фибрилл, образуют волокна, между которыми есть полости. Рельеф поверхности пергамента, как бахтармаяной, так и лицевой сторон, образован коллагеновыми волокнами и фибриллами, ориентированными в разных направлениях.

Проводились исследования по исследованию влияния потока неравновесной низкотемпературной плазмы на прохождение отмочно-зольных процессов получения пергамента из шкур коз [7], а также на структуру коз, овец [8] и лошадей [9]. Установлено эффективное электрофизическое воздействие на структуру плотного материала, позволяющее изменить его пористость и, как следствие, интенсифицировать процессы производства пергамента. Кроме того, определен оптимальный режим плазменной модификации, способствующий повышению прочностных характеристик. Однако не проведен анализ исходной структуры пергамента из различного вида сырья.

Объекты и методы исследования

В работе в качестве объектов исследования рассматривается пергамент из шкур овцы, козы и лошадиных шкур [10]. Интерес к данному исследованию связан с различным применением этого древнего материала, так, пергамент из шкур овцы использовался для повседневных документов, из шкур коз - для важных рукописей, из шкур лошади - для крупноформатных документов.

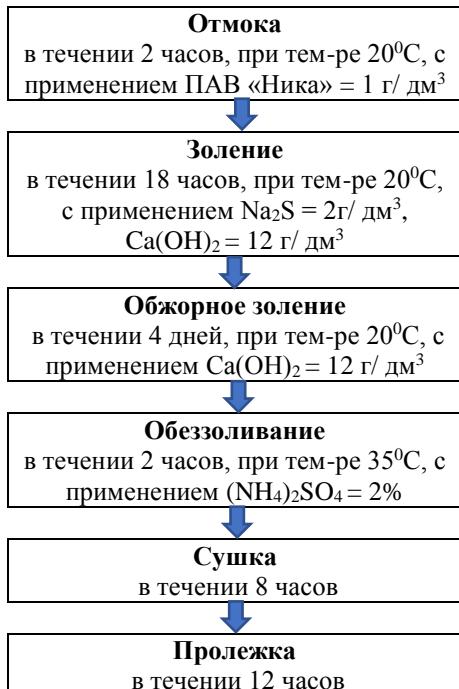


Рис. 1 – Блок-схема получения пергамента из шкур животных

Fig. 1 – Block diagram of parchment production from animal skins

Исследование направлено на сравнительный анализ пергамента из разного вида сырья по механическим показателям, краевому углу

смачивания, а также по структурным особенностям определяемых по размеру сквозных пор и поперечному срезу волокнистого материала.

Механические характеристики определяли с помощью универсальной испытательной машины Schimadzu AGS-5000 N [11].

Микрофотографии срезов пергамента получали с помощью 3D-сканирующего лазерного микроскопа LEXT OLS 4100 (OLYMPUS) [12].

Для определения сквозных пор использовали газожидкостной порометр POROLUX™100 [13].

Краевой угол смачивания определяли на установке Kruss Easy Drop DSA 20E (Германия) методом «лежащих» капель [14].

Пергамент получали по технологии, представленной в блок-схеме (рис.1).

Экспериментальная часть

Ключевым показателем качества материалов являются их механические свойства, которые характеризуют способность материала сопротивляться воздействию нагрузок [15]. В работе исследованы прочность при разрыве и относительное удлинение пергамента из шкур козы, овцы и лошади. Результаты представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Механические свойства пергамента
Table 1 – Mechanical properties of parchment

Пергамент	Механические свойства	
	Прочность при разрыве, 10 МПа	Относительное удлинение, %
из шкур козы	9,9	16
из шкур овцы	7,7	11
из шкур лошади	4,8	5

Из таблицы 1 видно, что пергамент из шкур козы имеет наибольшую прочность и растяжимость, показатели значительно превосходят аналогичные кожевенные материалы из шкур овцы и лошади. Скорей всего это связано с тем, что потовых желез в шкуре козы меньше, чем в шкурах овец, при этом сами железы меньше по размерам. Прочность пергамента из шкур коз выше прочности из шкур овец и лошади на 22% и 206% соответственно, при этом удлинение больше до 3 раз. Хочется отметить достаточно высокую прочность пергамента, при незначительном относительном удлинении.

Качество пергамента зависит от его способности взаимодействовать с водой, поэтому проведены исследования по определению краевого угла смачивания (рис.2).

Из рисунка 1 видно, что наибольший краевой угол смачивания имеет пергамент из шкур козы и составляет $94,2^\circ$ у пергамента из шкур овцы и лошади угол уменьшается на 19% и 39% соответственно.

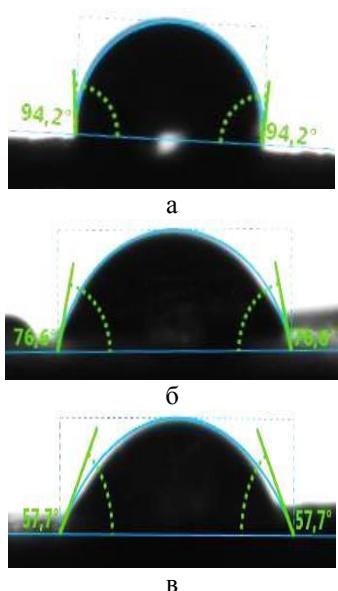


Рис. 2 – Краевой угол смачивания поверхности пергамента: а – из шкур коз; б – из шкур овец; в – из шкур лошади

Fig. 2 – Contact angle of wetting on parchment surfaces: a – goat skins; b – sheep skins; c – horse skins

В связи с тем, что изменения свойств капиллярно-пористого материала напрямую зависят от его строения и пористости, проведены исследования размеров пор (таблица 2) и продольных срезов пергамента при увеличении в 450 раз (рис. 2).

Таблица 2 – Размеры пор пергамента

Table 2 – Pore sizes of parchment

Пергамент	Размер поры, мкм		
	большая	средняя	маленькая
из шкур козы	0,5652	0,4231	0,0799
из шкур овцы	2,175	1,104	0,2963
из шкур лошади	0,2345	0,2323	0,1495

Из значений, представленных в таблице 2 видно, что пергамент характеризуется различными размерами пор, однако анализ корректирующих дифференциальных кривых позволяет сделать вывод, что у пергамента из шкур козы доминируют большие поры, т.е. процент потока через них составляет порядка 90%. У пергамента из шкур овцы и лошади наибольший процент потока проходит через маленькие поры 0,2963 мкм и 0,1495 мкм соответственно.

Из рисунка 3 видно, что пергамент из шкур коз имеет плотное переплетение пучков коллагеновых волокон, образуя густую горизонтально-волокнистую вязь, пустоты незначительные и преобладают в сетчатом слое. В свою очередь пергамент из шкур лошади имеет множество пустот, преимущественно в сетчатом слое, также пергамент

из шкур овцы характеризуется локализацией существенных пустот.

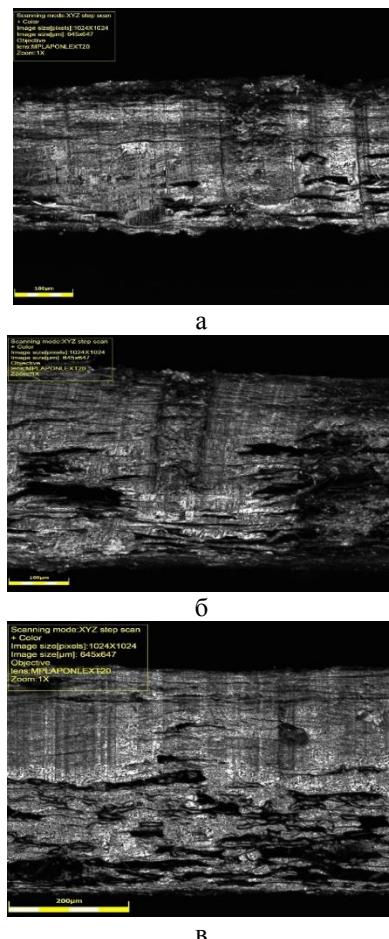


Рис. 3 – Микрофотографии среза пергамента при 450 кратном увеличении: а – из шкур коз; б – из шкур овец; в – из шкур лошади

Fig. 3 – Micrographs of parchment cross-sections at 450x magnification: a – from goat skins; b – from sheep skins; c – from horse skins

Заключение

В результате проведенных исследований можно заключить, что среди всех рассмотренных шкур животных наибольшими механическими и гидрофизическими свойствами поверхности обладает пергамент из шкур козы. Это связано со специфической капиллярно-пористой структурой, а именно плотным переплетением коллагеновых волокон, отсутствием существенных пустот.

Литература

1. Энциклопедия кругосвет – Агиография [электронный ресурс], URL: https://www.krugosvet.ru/enc/kultura_i_obrazovanie/religiya/A_GIOGRAFIYA.html.
2. Б. А. Тихонов, В. П. Тихонова, *Новые технологии и материалы легкой промышленности : материалы XVIII Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых ФГБОУ ВО «КНИТУ»*, 341-343 (2022).
3. Д. К. Низамова, Т. М. Назыров, *Современные методы получения материалов, обработки поверхности и нанесения покрытий : материалы I Всероссийской конференции с*

- международным участием ФГБОУ ВО «КНИТУ», 297-298 (2023).
4. И.А. Рахматуллин, Г.Р. Рахматуллина, *Современные методы получения материалов, обработки поверхности и нанесения покрытий : материалы I Всероссийской конференции с международным участием ФГБОУ ВО «КНИТУ»*, 299-300 (2023).
5. Ю. Я. Тюменев, В. И. Стельмашенко, С. А. Вилкова. *Материалы для процессов сервиса и индустрии моды и красоты* Москва: Дашиков и К, 2014. 400 с.
6. Т.С. Федосеева, О.Н. Беляевская, В. И. Гордюшина, Е. Л. Малахевская, С. А. Писарева, *Курс лекций «Реставрационные материалы»* Индрик, Москва, 2016. 232 с.
7. В. П. Тихонова, Г. Р. Рахматуллина, Р. Ф. Ахвердиев, К. Гатаулина, Вестник Технологического университета, **20**, 16, 69-71 (2017).
8. В.П. Тихонова, Г.Р. Рахматуллина, Д.К. Низамова, А.А. Чеботарев, Р.Ф. Ахвердиев, *Новые технологии и материалы легкой промышленности : материалы XIX Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых ФГБОУ ВО «КНИТУ»*, 265-267 (2023).
9. Б.С. Умаров, В.П. Тихонова, А.В. Мокеев, Ю.Е. Бесценная, Н.А. Бесценный, *Новые технологии и материалы легкой промышленности : материалы XVI Всероссийской научно-практической конференции с элементами научной школы для студентов и молодых ученых ФГБОУ ВО «КНИТУ»*, 331-334 (2020).
10. И.П. Страхов., Химия и технология кожи и меха, –М.: Легпромбытиздат, 1985. 496 с.
11. ГОСТ 938.11-69. Кожа. Метод испытаний на растяжение, М: Издательство стандартов Москва, 1969. 11 с.
12. Микроскоп конфокальный лазерный LEXT OLS 4100 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/64204-16-lexit-ols-4100-73644>.
13. Измерение пористости. Инструменты для измерения пористости [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.porometer.ru/>.
14. Фролова, Ю.Г. Лабораторные работы и задачи по коллоидной химии. М.: Химия, 1986. 216 с.
15. А. В. Островская, Г. Г. Лутфуллина, И. Ш. Абдуллин Химия и технология кожи и меха: теоретические основы : учебник для вузов. — Москва : Издательство Юрайт, 2025. 161 с.
- school for students and young scientists of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "KNRTU", 341-343 (2022).
3. D. K. Nizamova, T. M. Nazirov, Modern methods of obtaining materials, processing Surfaces and Coatings : proceedings of the First All-Russian Conference with International Participation of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "KNRTU", 297-298 (2023).
4. I.A. Rakhmatullin, G.R. Rakhmatullina, Modern methods of obtaining materials, surface treatment and coating : proceedings of the I All-Russian Conference with international participation of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "KNRTU", 299-300 (2023).
5. Yu. Ya. Tyumenev, V. I. Stelmashenko, S. A. Vilkova. Materials for the processes of service and the fashion and beauty industry Moscow: Dashkov and K, 2014. 400 p
6. T.S. Fedoseeva, O.N. Belyaevskaya, V. I. Gordyushina, E. L. Malachevskaya, S. A. Pisareva, Lecture course "Restoration materials" Indrik, Moscow, 2016. 232 p
7. V. P. Tikhonova, G. R. Rakhmatullina, R. F. Akhverdiev, K. Gataulina, Herald of Technological University, 20, 16, 69-71 (2017).
8. V.P. Tikhonova, G.R. Rakhmatullina, D.K. Nizamova, A.A. Chebotarev, R.F. Akhverdiev, New technologies and materials of light industry : proceedings of the XIX All-Russian Scientific and Practical Conference with elements of a scientific school for students and young scientists of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "KNRTU", 265-267 (2023).
- 9.B.S. Umarov, V.P. Tikhonova, A.V. Mokeev, Yu.E. Priceless, N.A. Priceless, New technologies and materials of light industry : proceedings of the XVI All-Russian Scientific and Practical Conference with elements of a scientific school for students and young scientists of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "KNRTU", 331-334 (2020).
10. I.P. Strakhov, Chemistry and technology of leather and fur, Moscow: Legprombytizdat, 1985. 496 p.
11. GOST 938.11-69. Skin. Tensile Testing Method, Moscow: Publishing House of Standards, Moscow, 1969. 11 p.
12. LEXT OLS 4100 confocal laser microscope [Electronic resource]. – Access mode: URL: <https://all-pribors.ru/opisanie/64204-16-lexit-ols-4100-73644>.
13. Measurement of porosity. Tools for measuring porosity [Electronic resource]. – Access mode: <https://www.porometer.ru/>
14. Frolova, Yu.G. Laboratory work and tasks in colloidal chemistry. Moscow: Khimiya, 1986. 216 p.
15. A.V. Ostrovskaya, G. G. Lutfullina, I. Sh. Abdullin Chemistry and technology of leather and fur: theoretical foundations : textbook for universities. Moscow : Yurait Publishing House, 2025. 161 p.

References

1. Encyclopedia of Circumnavigation – Hagiography [electronic resource], URL: https://www.krugosvet.ru/enc/kultura_i_obrazovanie/religiya/A_GIOGRAFIYA.html.
2. B. A. Tikhonov, V. P. Tikhonova, New technologies and materials of light industry : proceedings of the XVIII All-Russian Scientific and Practical conference with elements of a scientific

© В. П. Тихонова – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры Плазмохимических технологий наноматериалов и покрытий (ПТНиП), Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), Казань, Россия, bog208@mail.ru; Г. Р. Рахматуллина - д-р тех.наук, доцент, заведующий кафедрой ПТНиП, КНИТУ, Gulnaz-f@yandex.ru; Д. К. Низамова – канд. техн. наук, доцент кафедры ПТНиП, КНИТУ, nizamova.darya.93@mail.ru; О. В. Фукина – д-р тех.наук, доцент, профессор кафедры Российский экономический университет имени Г.В. Плеханова, Москва, Россия, fukina.ov@rea.ru; К. А. Безценный – студент кафедры ПТНиП, КНИТУ, yakostyapain@gmail.com.

© V. P. Tikhonova – PhD (Technical Sci.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Plasma Chemical Technologies of Nanomaterials and Coatings, (PCTNC), Kazan National Research Technological University (KNRTU), Kazan, Russia, bog208@mail.ru; G. R. Rakhmatullina – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Associate Professor, Head of the PCTNC department, KNRTU, Gulnaz-f@yandex.ru; D.K. Nizamova – PhD (Technical sci.), Associate Professor of the PCTNC department, KNRTU, nizamova.darya.93@mail.ru; O. V. Fukina – Doctor of Sciences (Technical Sci.), Associate Professor, Professor of the Department of the Russian Economical University named after G.V. Plekhanov, Moscow, Russia, fukina.ov@rea.ru; K. A. Beztseenny – Student of the PCTNC department, KNRTU, yakostyapain@gmail.com.

Дата поступления рукописи в редакцию – 15.09.25.

Дата принятия рукописи в печать – 25.09.25.