

**ЛАЗЕРНАЯ МОДИФИКАЦИЯ БАЗАЛЬТОВЫХ ТЕКСТИЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ  
ДЛЯ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ПРИМЕНЕНИЙ В ЛЁГКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ**

**Маркевич Мария Ивановна** – доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник  
Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси

**Асанов Дауранбек Жадигерович** – доктор философии по физико-математическим наукам  
[dauranbek83@list.ru](mailto:dauranbek83@list.ru)

Нукусский государственный педагогический институт имени Ажинияза

**YENGIL SANOATDA FUNKSIONAL QO‘LLANMALAR UCHUN BAZALT TO‘QIMACHILIK  
MATERIALLARINI LAZER YORDAMIDA MODIFIKATSIYALASH**

**Markevich Mariya Ivanovna** – fizika-matematika fanlari doktori, professor, bosh ilmiy xodimi  
Belarus Milliy fanlar akademiyasining Fizika-texnika instituti

**Asanov Dauranbek Jadigerovich** – fizika-matematika fanlari bo‘yicha falsafa doktori  
Ajiniyoz nomidagi Nukus davlat pedagogika instituti

**LASER MODIFICATION OF BASALT TEXTILE MATERIALS FOR FUNCTIONAL  
APPLICATIONS IN LIGHT INDUSTRY**

**Markevich Maria Ivanovna** – Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Chief Research Scientist  
Physical-Technical Institute of the National Academy of Sciences of Belarus

**Asanov Dauranbek Jadigerovich** – Doctor of Philosophy in Physical and Mathematical Sciences  
Nukus State Pedagogical Institute named after Ajiniyaz

**Таянч сўзлар:** лазер билан ишлов бериш, базалт толалар, тоқимачилик материаллари, сирт морфологияси, термофизик бузилиш, енгил саноат.

**Резюме.** Мақолада бошқариладиган модификациялаш режимларини ишлаб чиқиш учун ТБК-100 базалт матосига лазер нурланишининг таъсири ўрганилди. Ишлов бериш 60-240 Дж энергия сарфи ва белгиланган экспозиция вақти билан амалга оширилди. Намуналарнинг сирт морфологияси ва элемент таркиби сканерловчи электрон микроскопия ва энергодисперсион микротаҳлил усуллари ёрдамида ўрганилди. Энергия киритишнинг чегаравий қийматидан ошганда толаларнинг эриши ва диаметри тахминан 450 мкм бўлган тешиklarнинг ҳосил бўлиши кузатилди; бузилиш жараёни термофизик характерга эга экани аниқланди. Базалт матоларни лазер ёрдамида перфорациялаш орқали ўтказувчанлиги бошқариладиган функционал материаллар олиш истиқболлари кўрсатиб берилди.

**Ключевые слова:** лазерная обработка, базальтовые волокна, текстильные материалы, морфология поверхности, термофизическое разрушение, лёгкая промышленность.

**Резюме.** В статье исследовано воздействие лазерного излучения на базальтовую ткань ТБК-100 для разработки режимов её управляемой модификации. Обработка проводилась при энерговкладах 60-240 Дж и фиксированном времени экспозиции. Морфология поверхности и элементный состав образцов изучались методами сканирующей электронной микроскопии и энергодисперсионного микроанализа. Установлено, что при превышении порогового энерговклада происходит плавление волокон с образованием сквозных отверстий диаметром около 450 мкм; разрушение носит термофизический характер. Показана перспективность лазерной перфорации базальтовых тканей для получения материалов с регулируемой проницаемостью.

**Key words:** laser processing, basalt fibers, textile materials, surface morphology, thermophysical degradation, light industry.

**Summary.** The article The effect of laser radiation on basalt fabric TBK-100 was investigated in order to develop regimes for its controlled modification. The treatment was carried out at energy inputs of 60-240 J with a fixed exposure time. The surface morphology and elemental composition of the samples before and after laser treatment were studied using scanning electron microscopy and energy-dispersive microanalysis. It was established that when the threshold energy input is exceeded, intensive melting of the fibers occurs with the formation of through holes with a diameter of about 450 μm; the damage mechanism is of a thermophysical nature. The obtained results demonstrate the prospects of laser perforation of basalt fabrics for producing functional materials with controlled permeability.

**Введение.** Развитие лёгкой промышленности в условиях цифровизации и внедрения высоких технологий требует применения новых методов обработки текстильных материалов, обеспечивающих повышение их эксплуатационных и функциональных характеристик. Среди таких методов особое место занимает лазерная обработка, характеризующаяся бесконтактным характером воздействия, высокой локализацией теплового поля и возможностью точного управления параметрами процесса. Лазерные технологии широко применяются в машиностроении, микроэлектронике, медицине и материаловедении. Их

использование в текстильной промышленности позволяет реализовывать процессы резки, перфорации, маркировки и структурирования поверхности без механического контакта, что существенно снижает риск повреждения волокон и загрязнения материала. Особый интерес представляют базальтовые волокна, получаемые из природного базальта путём плавления и вытягивания непрерывных нитей. Эти волокна обладают высокой термостойкостью, химической инертностью, устойчивостью к ультрафиолетовому излучению и биологическому воздействию. Температурный диапазон эксплуатации базальтовых

волокон составляет от -260 до +700 °С, а кратковременное воздействие температур может достигать 1000 °С. Низкая теплопроводность и высокая механическая прочность делают базальтовые ткани перспективными для применения в фильтрующих, теплоизоляционных и защитных изделиях [1-2].

Несмотря на практическую значимость базальтовых материалов, процессы их взаимодействия с лазерным излучением остаются недостаточно изученными. В большинстве работ рассматривается лазерная абляция металлов и полимеров, тогда как минеральные волокна исследованы фрагментарно. Недостаточно изучены закономерности изменения морфологии поверхности волокон и механизмы разрушения базальтовых тканей при различных режимах лазерного воздействия [1-3].

Целью настоящей работы является экспериментальное исследование влияния лазерного излучения на структуру и морфологию базальтовой ткани и установление пороговых режимов энерговложения, приводящих к управляемой модификации материала.

**Материалы и методы исследования.** В качестве объекта исследования использовалась базальтовая ткань марки ТБК-100, выпускаемая ОАО «Полоцк-Стекловолокно». Ткань изготовлена полотняным переплетением из крученых базальтовых нитей. Поверхностная плотность составляла около 100 г/м<sup>2</sup>. Теплопроводность материала находилась в пределах 0,031-0,038 Вт/(м·К). Лазерное воздействие осуществлялось в стационарном режиме при фиксированном положении образца относительно источника излучения. Энерговклад изменялся в диапазоне 60-240 Дж. Время экспозиции составляло до 4 мин. Обработка проводилась без дополнительного охлаждения образцов. Морфология поверхности и элементный состав исследовались с использованием сканирующего электронного микроскопа SEM-515, оснащённого системой энергодисперсионного микроанализа (EDS) на основе Si(Li)-детектора и программного обеспечения Genesis SEM Quant ZAF. Измерения выполнялись при ускоряющем напряжении 6,4-30 кВ, что обеспечивало получение информации о микроструктуре и химическом составе поверхностных слоёв материала [2-4].

**Результаты и обсуждение.** Исходная базальтовая ткань характеризуется регулярным переплетением нитей и наличием межволоконных зазоров. Поверхность отдельных волокон имеет микронеоднородности, обусловленные технологией вытягивания расплава. Данные элементного анализа подтверждают, что материал относится к оксидным силикатным системам с преобладанием кремния и алюминия. Присутствие кальция и железа характерно для базальтового сырья и влияет на температуру размягчения волокон. Такой состав определяет способность материала переходить в вязкотекучее состояние при локальном нагреве без разрушения кристаллохимической структуры, что является важным фактором при лазерной обработке.

Таблица 1 - Элементный состав исходной базальтовой ткани (EDS, мас. %)

| Si   | Al   | Ca  | Fe  | O    |
|------|------|-----|-----|------|
| 45.2 | 12.4 | 6.7 | 8.3 | 18.3 |

При энерговкладе менее 60 Дж существенных изменений морфологии поверхности не выявлено. При дальнейшем увеличении энергии наблюдается локальное оплавление волокон и деформация структуры ткани. При энерговкладе 240 Дж происходит интенсивное плавление материала с формированием сквозных отверстий диаметром порядка 450 мкм. В зоне воздействия формируются сфероидальные и каплевидные структуры, характерные для быстрого затвердевания расплава [3-8].

Таблица 2. Влияние энерговклада на параметры разрушения ткани

| Энергия, Дж | Диаметр отверстия, мкм | Характер изменений   |
|-------------|------------------------|----------------------|
| 60          | —                      | локальное оплавление |
| 120         | 180 ± 20               | частичное разрушение |
| 180         | 310 ± 30               | формирование дефекта |
| 240         | 450 ± 40               | сквозное отверстие   |

Точки соответствуют экспериментальным данным (таблица 2), сплошная линия – аппроксимация степенной зависимостью. Микроструктурный анализ показывает, что лазерное воздействие приводит к сглаживанию поверхности волокон и появлению округлых оплавленных участков. Наблюдаемые сфероидальные формы свидетельствуют о кратковременном расплавлении материала и его быстром затвердевании при охлаждении. Эти изменения подтверждают, что разрушение ткани обусловлено тепловым механизмом, а не механическим разрушением волокон

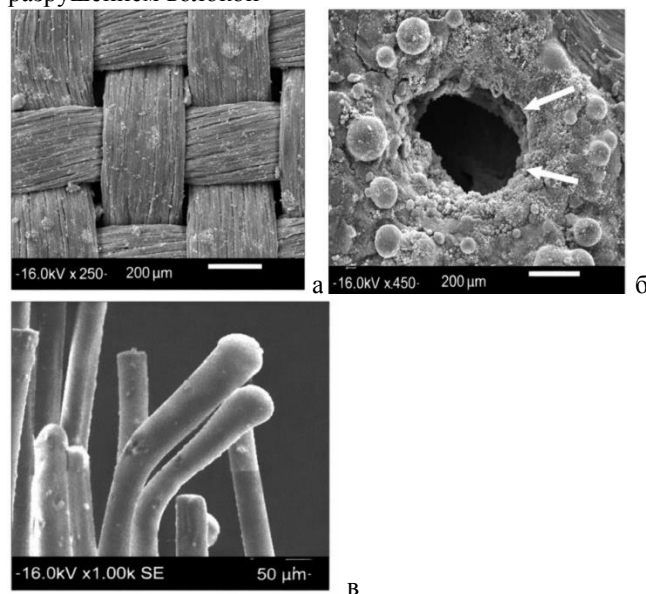


Рисунок 1. Морфология поверхности базальтовой ткани: а – исходное состояние; б – зона лазерного воздействия (240 Дж); в – отдельные оплавленные волокна.

Экспериментально установлено, что диаметр формируемых отверстий монотонно возрастает с увеличением энерговложения лазерного излучения. Зависимость диаметра отверстий от энерговложения носит монотонный характер и обусловлена увеличением объёма расплавленного материала. Порог образования отверстий соответствует достижению температуры размягчения волокон, а нелинейность

кривой связана с расширением зоны теплового воздействия при росте энергии импульса.

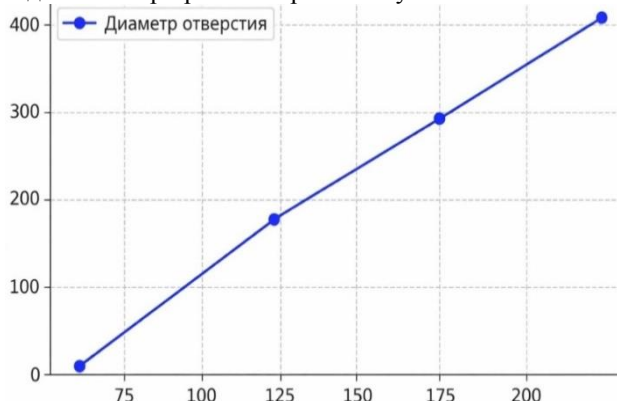


Рисунок 2. Зависимость диаметра отверстия от энергосложения лазерного излучения  $d(E)$ . По оси X - энергия, Дж; по оси Y - диаметр отверстия, мкм.

Наблюдаемые изменения морфологии базальтовой ткани свидетельствуют о том, что взаимодействие лазерного излучения с материалом сопровождается интенсивным локальным нагревом, приводящим к плавлению силикатной фазы волокон. Формирование отверстий обусловлено переходом материала в вязкотекучее состояние и вытеканием расплава из зоны воздействия под действием сил поверхностного натяжения и температурных градиентов. Экспериментально наблюдаемый порог формирования сквозных дефектов соответствует энергетическому балансу фазового перехода, определяемому выражением:

$$E_{cr} = \rho V [c_p (T_m - T_0) + L_m]$$

Где  $\rho$  – плотность материала,  $V$  – объём зоны поглощения лазерного излучения,  $c_p$  – удельная теплоёмкость,  $(T_m)$  – температура размягчения силикатной фазы,  $(T_0)$  – начальная температура,  $(L_m)$  –

удельная теплота плавления. При  $E < E_{cr}$  реализуется режим поверхностного оплавления без разрушения структуры ткани. При  $E \geq E_{cr}$  происходит переход материала в вязкотекучее состояние и формирование сквозного отверстия. Экспериментальная зависимость диаметра отверстия  $d$  от энергосложения  $E$  носит монотонный характер и может быть аппроксимирована степенной функцией:

$$d(E) \sim (E - E_{th})^{0.6}$$

Погрешность определения диаметра отверстий обусловлена разрешающей способностью электронного микроскопа и неидеальной формой дефектов. Средняя относительная погрешность измерений не превышала 8-10 %. Разброс значений диаметра отверстий при фиксированном энергосложении связан с вариацией толщины волокон и неоднородностью структуры ткани. Погрешность задания энергосложения оценивалась как не превышающая 5 % и определялась нестабильностью мощности лазерного излучения и точностью задания времени экспозиции [4-11].

**Заклучение.** В работе проведено экспериментальное исследование процессов лазерной модификации базальтовых текстильных материалов. Установлено, что доминирующим механизмом разрушения является термофизический процесс, связанный с локальным нагревом и плавлением силикатной матрицы волокон. Экспериментально определены пороговые значения энергосложения, при превышении которых происходит формирование сквозных отверстий в структуре ткани. Показана возможность управляемого формирования пористой структуры базальтовых тканей, что открывает перспективы их применения в качестве функциональных материалов с регулируемой проницаемостью для фильтрационных, теплоизоляционных и защитных изделий.

## Литература

1. Давыдова И.Ф., Ковун Н.С., Шведов Е.П. Базальтопластики для работ при повышенных температурах. // Все материалы. Энциклопедический справочник. – ВИАМ. №6, 2012.
2. Отмахов В.И., Варламов Н.В., Мананков А.Н., Лапова Т.В. Физико-химические исследования тектитов в интересах космического мониторинга. // Известия томского политехнического университета. Т. 309, №5, 2006. – С. 40-44.
3. Ates A.O., Durmuş G., Ilki A. Tensile and flexural behaviors of basalt textile reinforced sprayed glass fiber mortar composites. // Materials. Т. 16, №12, 2023. – Р. 4251.
4. Tugan A., Durur G., Haşcelik B. Investigation of performance characteristics of carbon, glass, basalt hybrid woven fabrics. // Journal of Textiles and Engineer. Т.32, №138, 2025. – Р. 116-127.
5. Vashishtha A., Sharma D. Mechanical performance of basalt and glass woven composites. // Tekstil ve Mühendis. Т. 31, №134, 2024. – Р. 88-98.
6. Казакова М.Н., Эминов А.А., Шокосимов И.К. Химико-минералогическое исследование базальта и серпентина для получения минерального волокна. // Стекло и керамика. №4, 2023. – С. 40-45.
7. Матчонова Н.Н. Структура базальтового волокна. // Замонавий тадқиқотлар, инновациялар, техника ва технологияларнинг долзарб муаммолари ва ривожланиш тенденциялари. №1, 2022. – С. 112-116.
8. Абдиев Ю.А., Сафаров О.М. Базальтовое волокно: основные понятия и области применения. // Web of Scientist: International Scientific Research Journal, Т. 3, №5, 2022. – Р. 77-83.
9. Markevich M.I., Kamalov A.B., Asanov D.J., Esbergenov D.M., Kazakbaeva M.A. East Eur. J. Phys. 2, 394, 2024.
10. Анисович А.Г., Маркевич М.И., Журавлева В.И., Асанов Д.Ж., Камалов А.Б. Диагностика наночастиц, полученных методом лазерной абляции. // Научно-практический журнал. Неразрушающий контроль и диагностика. №1, 2022. – С. 12-16.
11. Ласковнев А.П., Маркевич М.И., Малышко А.Н., Журавлева В.И., Асанов Д.Ж. Абляционное формирование наночастиц в водной среде из мишени силумина. // Электроника плюс. Научно-практическое издание: №1, 2022. – С. 49-52.