

Используя методы стереометрической металлографии, определены объемная доля  $\epsilon$ -фазы  $V_\epsilon = 0,58$  и  $\gamma$ -фазы  $V_\gamma = 0,42$ . Исследовано влияние выдержки быстрозатвердевшей фольги сплава  $\text{In}_{41}\text{Sn}_{27}\text{Bi}_{32}$  при комнатной температуре на параметры ее микроструктуры на поверхности  $A$ . С увеличением времени старения происходит монотонное изменение средней хорды случайной секущей  $d$  и удельной поверхности  $S$  межфазной границы (Таблица 2).

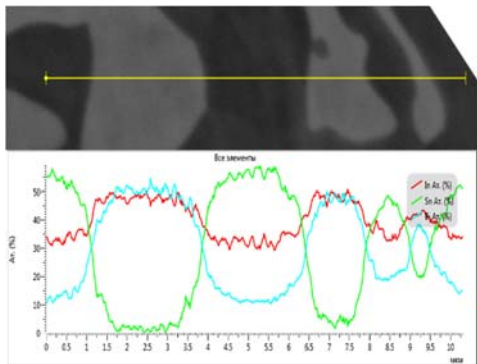


Рисунок 2 – Распределение компонентов вдоль линии сканирования электронного луча по поверхности фольги

Таблица 2. Параметры микроструктуры фольг на их поверхности от времени выдержки после изготовления

Время выдержки, ч	Объемная доля $\epsilon$ -фазы	Средняя длина хорд на $\epsilon$ -фазе, мкм	Удельная поверхность межфазной границы, $\text{мкм}^{-1}$
1,3	0,59	0,8	2,8
3,0	0,57	1,0	2,5
24	0,58	1,7	1,5
70	0,57	2,0	0,9

Выдержка фольги в течение 70 ч вызывает увеличение средней хорды до  $d = 1,9$  мкм и уменьшение удельной поверхности межфазной границы до  $S = 0,9$   $\text{мкм}^{-1}$ . Такое изменение  $d$  и  $S$  фольги вызвано тем, что комнатная температура является высокой для исследуемого сплава. Отношение комнатной температуры к температуре ликвидуса исследуемого сплава в абсолютной шкале достигает 0,8. В сплаве активно происходят диффузионные процессы, способствующие

миграции межфазных границ, а также улучшению их структуры [8].

#### Заключение

Фольги тройного сплава  $\text{In}_{41}\text{Sn}_{27}\text{Bi}_{32}$ , полученные высокоскоростным затвердеванием, имеют двухфазную структуру: состоят из  $\epsilon$ - и  $\gamma$ -фаз.

Выдержка фольг при комнатной температуре вызывает монотонное увеличение средней хорды на сечениях выделений и уменьшение удельной поверхности межфазной границы установленных фаз.

Формирование однородной дисперсной структуры способствует улучшению технологических характеристик данного спая при использовании его в качестве припоя [7].

#### Литература

1. Kamal M., Gouda E.S. Effect of Rapid Solidification on Structure and Properties of Some Lead-Free Solder Alloys // Materials and Manufacturing Processes, 2006. Vol. 21. P. 736–740.
2. Yoon S.W., Rho B.-S., Lee H. M., Kim C.-U., Lee B.-J. Investigation of the Phase Equilibria in the Sn-Bi-InAlloy System // Metall. Mater. Trans. A. 1999. Vol. 30A. P. 1503–1515.
3. Васильев В.А., Митин Б.С., Высокоскоростное затвердевание расплава (теория, технологии и материалы) / Под ред. Б.С. Митина. – М. : ИнтерметИнжиниринг, 1998. – 400 с.
4. Шепелевич В.Г. Быстрозатвердевшие легкоплавкие сплавы. – Минск : БГУ, 2015. – 192 с.
5. Салтыков С.А. Стереология в металлведении. – М. : Металлургия, 1976. – 272 с.
6. Смитлз К. Дж. Металлы. – М. : Металлургия, 1980. – 447 с.
7. Пашков И.Н., Пикунов М.В., Таволжанский С.А., Пашков А.И. Разработка процессов получения и применения сплавов припоев в дисперсионном состоянии с микрокристаллической или аморфной структурой // Металлург, 2010. – № 6. – С. 43–45.
8. Шепелевич В.Г., Ван Цзинцзе, Щербаченко Л.П. Фазовый состав, микроструктура и микротвердость быстрозатвердевших сплавов системы индий-олово // Новости науки и технологий, 2017. – № 1(40). – С. 48–53.

УДК 666.193

### ИССЛЕДОВАНИЯ БАЗАЛЬТОВОЙ ТКАНИ МЕТОДАМИ МЕТАЛЛОГРАФИЧЕСКОГО АНАЛИЗА И ЭНЕРГОДИСПЕРСИННОГО МИКРОАНАЛИЗА

Анисович А.Г.<sup>1</sup>, Маркевич М.И.<sup>1</sup>, Чапланов А.М.<sup>1</sup>, Журавлева В.И.<sup>2</sup>, Щербакова Е.Н.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Физико-технический институт НАН Беларуси, Минск, Беларусь

<sup>3</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

#### Введение

Базальтовые волокна значительно отличаются от стекловолокна и силикатного волокна повышенной прочностью и возможностью примене-

ния в широком диапазоне положительных и отрицательных температур. Удельная прочность базальтового волокна в 2,5 раза превышает прочность легированных сталей и в 1,5 раза

прочность стекловолокна, оно не поддается коррозии и является более стойким к щелочам по сравнению со стекловолном, и по своим показателям занимает промежуточную позицию между углеродными волокнами и стекловолном.

Универсальность базальтового волокна в области применения обусловлена высокой температурой плавления (1400 °С), низким влагопоглощением (материал считается гидрофобным), низкой теплопроводностью, экологической чистотой. В промышленности данное волокно используется в рефрижераторах, печах, буровых вышках турбинах, в строительных работах для усиления дорожного асфальта, обеспечивает защиту металлоконструкций от высоких температур и т. д.

Теплоизоляционные изделия из базальтовых волокон могут применяться при температурах до 700°С. Кроме того, существует ряд составов на основе базальтовых пород, обладающих более высокой термостойкостью до 800°С. Базальтовые волокна применяются для изготовления фильтров для очистки отходящих газов от пылевых частиц на обогатительных и металлургических комбинатах, химических заводах, предприятиях промышленности строительных материалов и энергетики. На основе базальтовых волокон эксплуатируются фильтры для очистки воздуха с диапазоном рабочих температур 300–650°С.

Высокие электроизоляционные характеристики, радиопрозрачность для электромагнитного излучения базальтовой ткани используется для производства электроизоляционных материалов как высоковольтной так и низковольтной аппаратуры, при строительстве высоковольтных линий электропередач, для производства обтекателей и конструкций антенн, локаторов и другого радиотехнического оборудования.

Сырьем для производства волокна является базальт – природный материал магматического происхождения, имеющий высокую природную химическую и термическую стойкость. Содержание базальта в земной коре выше 30 %, что обуславливает его ценовую доступность.

Таким образом, исследование базальтовых тканей и волокон представляет не только научный, но и практический интерес.

Целью данной работы является исследование морфологии базальтовой ткани. Исследовалась базальтовая ткань, выпускаемая открытым акционерным обществом «Полоцк-Стекловолокно».

#### Методы проведения исследований

Исследования морфологии образцов проводились с помощью металлографического микроскопа МИ-1. Данный микроскоп использовался в режиме светлого поля в отраженном свете

Элементный анализ проводился с помощью системы энергодисперсионного (EDS) микроанализа, установленной на сканирующем электронном микроскопе SEM 515. Этот комплекс, в со-

став которого входят Si(Li) детектор со сверхультратонким окном, охлаждаемый жидким азотом, компьютер и пакет программного обеспечения Genesis SEM Quant ZAF software.

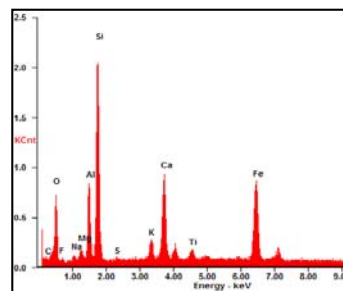
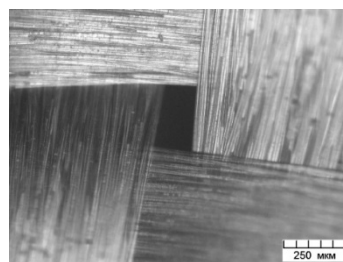
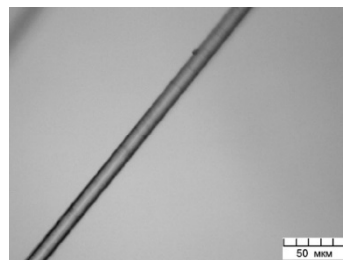


Рисунок 1 – Элементный состав базальтового волокна

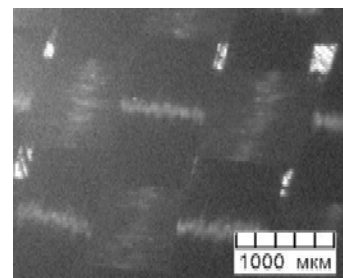


а

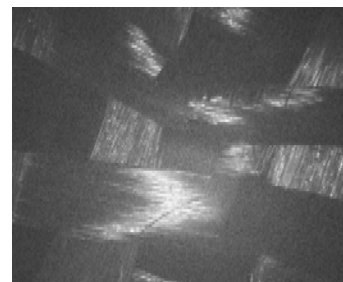


б

Рисунок 2 – Базальтовая ткань (а) и отдельное волокно (б)



а



б

Рисунок 3 – Макроструктура исходной (а) и облученной лазером при энергии 60 Дж (б) базальтовой ткани

Измерения проводились при различных значениях ускоряющего напряжения: от минимального порога чувствительности системы микроанализа (6,4 кВ) до максимального значения ускоряющего напряжения, которое составляет 30 кВ.

#### Результаты исследований

На рисунке 1 представлен элементный состав базальтовой ткани. Как видно из рисунка элементный состав базальта весьма разнообразен. Фазовый состав: кремнезем, окислы титана, железа, алюминия, марганца, магния, кальция, калия, натрия.

На рисунке 2 показаны результаты исследования базальтовой ткани полотняного плетения помощью металлографического микроскопа. Как видно из рисунка, диаметр волокон составляет порядка 10 мкм.

Для исследования изменения макроструктуры базальтовой ткани при внешних воздействиях было

проведено облучение лазером при вложенной энергии 60 Дж и времени воздействия 1 мин. Результаты исследований представлены на рисунке 3.

Таким образом, при данной энергии воздействия наблюдается незначительное повреждение базальтовой ткани, возникает обрыв пакетов волокна и смещение прилежащих участков ткани. Элементный состав при этом не изменяется.

#### Выводы

В результате проведенных комплексных исследований определен элементный состав и макроструктура базальтовой ткани полотняного плетения.

#### Литература

Демешкин, А.И., Шваб, А.А.. Исследование механических свойств непрерывного базальтового волокна применительно к производству композитных материалов, Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки, 3(24) (2011), С. 185–188.

УДК 621.7.09

### ИССЛЕДОВАНИЕ ОБРАЗЦОВ ИЗ ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА ДО И ПОСЛЕ МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЙ ОБРАБОТКИ Юрасова К.В.<sup>1</sup>, Биткаша В.С.<sup>1</sup>, Хомич Н.С.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Унитарное предприятие «Полимаг», Минск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет, Минск, Республика Беларусь

#### Введение

Проблема формирования поверхностей с рельефом наноуровня и приповерхностных слоев с минимальным количеством дефектов структуры чрезвычайно актуальна для ответственных изделий оптической и лазерной техники. [1]

Развитие традиционных методов финишной обработки деталей машин и приборов часто не отвечает современным требованиям. Выход на более высокий уровень качества возможен путем создания прогрессивных технологий, основанных на использовании нетривиальных физико-химических источников энергии. Одним из таких источников является энергия магнитного поля, все более широко применяемая во многих областях техники – от атомных реакторов до медицинских приборов. [2].

Сущность магнитно-абразивной обработки (МАО) основана на способности ферро магнитной массы, размещенной в магнитном поле, без каких-либо механизмов-преобразователей оказывать абразивное воздействие на обрабатываемую поверхность заготовок.

#### Методика исследования образцов

Образец из оптического стекла Ø40×10 мм выбран из номенклатуры изделий ОАО «Пеленг» (г. Минск) для проведения исследований нанорельефа поверхности до и после магнитно – абразивной обработки. Образец не подвергался дополнительной очистке исследуемой поверхности

перед проведением исследований на сканирующем зондовом микроскопе «Solver Pro M».

Исследование на сканирующем зондовом микроскопе «Solver Pro M» осуществлялось в контактном режиме в трех произвольно выбранных точках образца: центр, середина радиуса и 6–8 мм от края.

Для каждой выбранной точки сканирование проводилось последовательно на областях 68×68 мкм, 10×10 мкм, 1×1 мкм без перемещения образца.

Измерение и анализ характеристик нано рельефа поверхности образца осуществлялись с использованием специализированного программного обеспечения «Nova», сканирующего зондового микроскопа «Solver Pro M». С целью типизации исследуемых поверхностей перед проведением анализа топографии поверхности образца с использованием программного обеспечения «Nova» последовательно проводилось вычитание плоскости, поверхности второго порядка и поверхности третьего порядка. В результате анализа были определены следующие характеристики топографии поверхности образца: среднеквадратичное отклонение (RMS), параметр шероховатости (Sa).

На рисунках 1-3 показаны изображения поверхности (топография) до МАО на областях 68×68 мкм, 10×10 мкм, 1×1 мкм в точках образца: 6–8 мм от края, середина радиуса, центр. В таблице 1 представлены результаты определе-