



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-3-142-146>
УДК 539.2

Поступила 05.03.2019
Received 05.03.2019

МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ И МАГНИТОРЕЗОНАНСНЫЕ СВОЙСТВА ЛАВСАНА, МОДИФИЦИРОВАННОГО КЛАСТЕРАМИ СТАЛИ ИОННО-ПЛАЗМЕННЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ

А. Г. АНИСОВИЧ, И. П. АКУЛА, А. П. ЛАСКОВНЕВ, М. И. МАРКЕВИЧ, Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. Купревича, 10, E-mail: anna_anisovich@yandex.ru, В. Ф. СТЕЛЬМАХ, Белорусский государственный университет, г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 4, Н. М. ЧЕКАН, Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. Купревича, 10

Полимерные материалы в основном являются диэлектриками. При использовании защитной одежды из таких материалов может происходить накопление статического электричества. Электризация материалов создает пожарную опасность в присутствии пыли- и различных газовых смесей. Для снижения накопления зарядов статического электричества на поверхности защитной одежды проводили модификацию лавсана кластерами стали 12X18H10T. Модификация лавсана проводилась в вакууме с использованием источника стационарной металлической плазмы, работающего в режиме сепарации. Процесс велся путем чередования периодов работы источника плазмы (1 мин) и паузы для охлаждения ткани (1 мин).

Приведены результаты исследования морфологии поверхности лавсановой ткани со стальным покрытием и магниторезонансных измерений поглощения энергии СВЧ. Выявлены основные закономерности спектров магниторезонансного поглощения. Методом электронного магнитного резонанса (ЭМР) установлено, что спектры представляют собой неоднородно уширенные широкие линии с эффективным значением g-фактора $2,2 \pm 0,1$ и шириной линии 110,1 мТл. Установлено, что нерезонансное поглощение электромагнитного поля СВЧ незначительно.

Ключевые слова. Лавсановая ткань, магниторезонансное поглощение, катодно-дуговое осаждение, электромагнитное загрязнение окружающей среды.

Для цитирования. Анисович, А. Г. Морфология поверхности и магниторезонансные свойства лавсана, модифицированного кластерами стали ионно-плазменным воздействием / А. Г. Анисович, И. П. Акула, А. П. Ласковнев, М. И. Маркевич, В. Ф. Стельмах, Н. М. Чекан // *Литье и металлургия*. 2019. № 3. С. 142–146. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-3-142-146>.

MORPHOLOGY OF THE SURFACE AND MAGNETIC RESONANCE PROPERTIES OF LAVSAN MODIFIED BY STEEL CLUSTERS BY ION-PLASMA EXPOSURE

A. G. ANISOVICH, I. P. AKULA, A. P. LASKOVNEV, M. I. MARKEVICH, Physical-Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 10, Kuprevich str. E-mail: anna_anisovich@yandex.ru, V. F. STELMAKH, Belarusian State University, Minsk, Belarus, 4, Nezavisimosti ave., N. M. CHEKAN, Physical-Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 10, Kuprevich str.

Polymeric materials are mainly dielectrics. The use of protective clothing made of such materials may occur accumulation of static electricity. The electrification of materials creates a fire hazard in the presence of dust and various gas mixtures.

For reducing the accumulation of static electricity charges on the surface of protective clothing carried out the modification of polyethylene terephthalate by clusters of steel 12X18H10T. Modification was carried out in a vacuum using stationary metal plasma source operating in the mode of separations. The process was carried out by alternating periods of the source plasma (1 minute) and pause for tissue cooling (1 minute).

The results of the study of the surface morphology of polyethylene terephthalate steel coated fabrics and magnetic resonance absorption measurements of microwave energy is given.

The main regularities of the magnetic-resonance absorption spectra are revealed. Method of electronic magnetic resonance (EMR) found that the spectra are inhomogeneous broadened broad lines with effective g-factor value of 2.2 ± 0.1 and the line width of 110.1 mTl. It was found that the nonresonance absorption of the electromagnetic field of microwave is insignificant.

Keywords. Polyethylene terephthalate (lavsan) fabric, magnetic – resonance absorption, cathode-arc deposition, electromagnetic pollution of the environment.

For citation. Anisovich A. G., Akula I. P., Laskovnev A. P., Markevich M. I., Stelmakh V. T., Chekan N. M. Morphology of the surface and magnetic resonance properties of lavsan modified by steel clusters by ion-plasma exposure. *Foundry production and metallurgy*, 2019, no. 3, pp. 142–146. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2019-3-142-146>.

Введение

В настоящее время активно развивается разработка материалов специального назначения на основе высоких технологий в области химии полимеров [1–5]. Востребованным направлением является создание тканых материалов, в частности металлизированных текстильных материалов. Это связано прежде всего с ростом количества источников электромагнитного «загрязнения» окружающей среды, вызванного появлением сотовой связи, персональных компьютеров и других источников ВЧ- и СВЧ-излучения. Актуальны работы, направленные на изыскание защиты человека от негативных воздействий электромагнитных полей. Наиболее остро стоит вопрос о разработке радиопоглощающих материалов, особенно в сфере беспилотных летающих аппаратов. В связи с этим перспективны металлизированные ткани и нетканые материалы, которые по своим свойствам более универсальны, чем металлизированные пленки [6, 7].

Цель данного исследования – изучение морфологии поверхности и установление особенностей магниторезонансного поглощения ткани из лавсана, модифицированной кластерами стали 12X18H10T.

Материалы и методики эксперимента

Лавсановая ткань $(C_{10}H_8O_4)_n$ состоит из полиэфирных волокон, которые получают в результате реакции терефталетовой кислоты и этиленгликоля. Полиэтилентерефталат относится к группе алифатически-ароматических полиэфиров, которые используются для производства волокон, пищевых пленок и пластиков, представляющих одно из важнейших направлений в полимерной индустрии и смежных отраслях. Он прочен, износостоек, является хорошим диэлектриком [8].

В данной работе покрытия из стали 12X18H10T наносили на лавсановую ткань (производства КНР) методом импульсного катодно-дугового осаждения в вакууме $3,5 \cdot 10^{-3}$ Па. Перед нанесением покрытия лавсановую ленту промывали в ультразвуковой ванне в этаноле. При напряжении основного разряда 300 В энергия импульсов разряда составляла порядка 95 Дж.

Во избежание перегрева тонкого полимерного материала длительность импульса составила 30 с. Проводили пять циклов с паузой 30 с между циклами. Температура подложки – 100 ± 10 °С.

Исследования состава образцов проводили с помощью системы энергодисперсионного (EDS) микроанализа, установленной на сканирующем электронном микроскопе SEM 515. Это комплекс, в состав которого входят Si(Li) детектор со сверхультратонким окном, охлаждаемый жидким азотом, компьютер и пакет программного обеспечения Genesis SEM Quant ZAF Software. Измерения проводили при различных значениях ускоряющего напряжения: от минимального порога чувствительности системы микроанализа (6,4 кВ) до максимального значения ускоряющего напряжения, равного 30 кВ.

Исследования магнитного резонанса выполняли на специализированном малогабаритном анализаторе ЭМР «Минск 22» при комнатной температуре. Рабочая длина волны – 3 см, максимальное значение индукции магнитного поля – 450 мТл, частота модуляции – 30 кГц. Для калибровки интенсивности сигналов объектов исследования использовали образец из монокристалла рубина ($Al_2O_3: Cr^{3+}$). В процессе измерений дополнительный контроль стабильности работы спектрометра осуществляли путем измерения калибровочного материала двухвалентного марганца ($MgO: Mn^{2+}$) [9, 10].

Исследование морфологии поверхности волокна проводили с использованием металлографического комплекса на основе инвертированного микроскопа МИ-1 в отраженном свете при увеличениях от 100 до 1000 крат с освещением по методу темного поля. При использовании темнопольного освещения объект освещается полым конусом света. При этом освещены неплоскостные участки образца, что позволяет анализировать сложные поверхности, изломы, а также неметаллические материалы [11, 12].

Основная часть. Поверхность лавсановой ткани в исходном состоянии показана на рис. 1, 2. При исследовании поверхности ткани в растровом электронном микроскопе ячейка плетения просматривается недостаточно отчетливо (рис. 1, а). При использовании металлографического микроскопа в отраженном свете при освещении по методу светлого поля (рис. 1, б) формируется неконтрастное изображение. В темном поле изображение отдельных волокон контрастно, ячейка плетения отчетливо видна при увеличении 100 крат (рис. 2, а). При использовании увеличения 1000 крат возможно рассмотреть отдельные

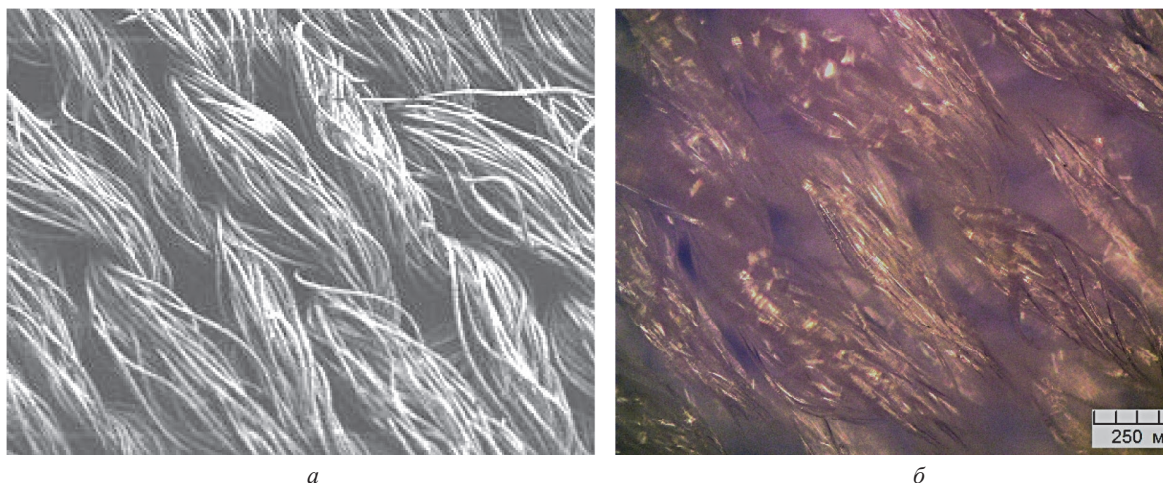


Рис. 1. Поверхность лавсановой ткани, исходное состояние: *а* – растровое изображение; *б* – металлографический микроскоп, светлопольное освещение; увеличения уравнианы

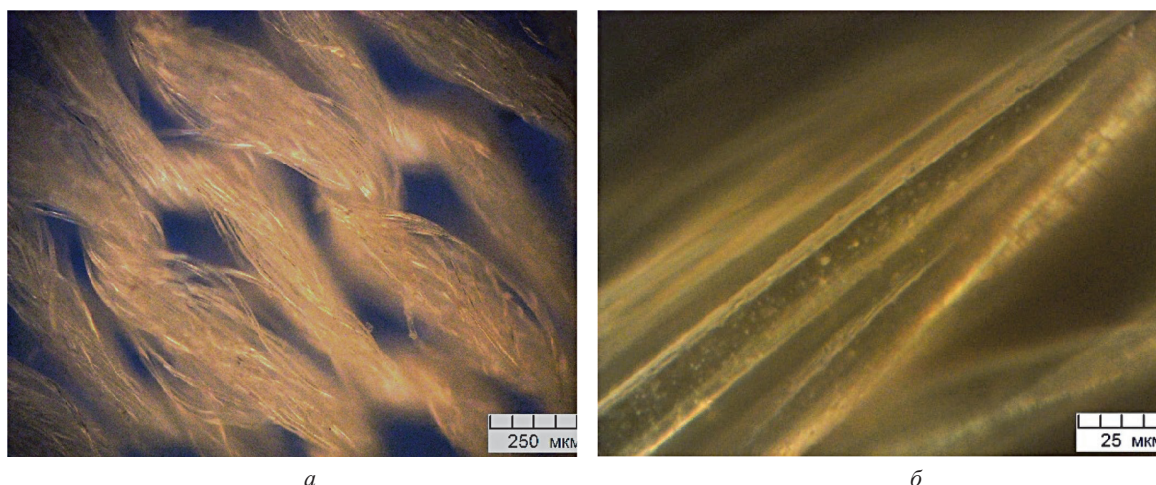


Рис. 2. Поверхность лавсановой ткани, исходное состояние; темнопольное освещение

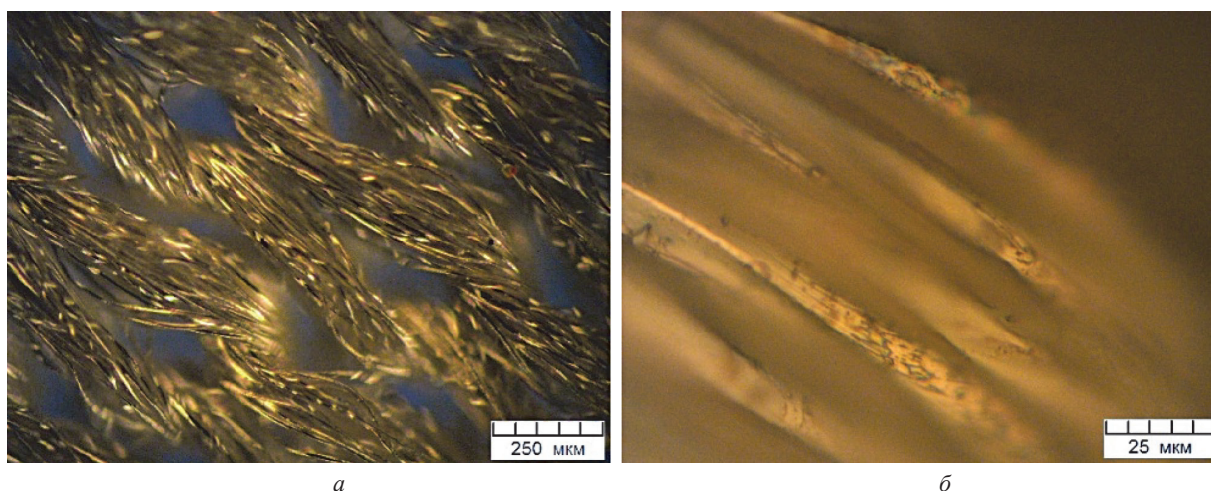


Рис. 3. Поверхность лавсановой ткани с покрытием нержавеющей стали

волокна (рис. 2, *б*). Поверхность ткани после металлизации представлена на рис. 3. При увеличении 100 крат отдельные нити волокна видны достаточно отчетливо, но дают блики в соответствии с их ориентацией относительно падающего света (рис. 3, *а*). При повышении увеличения возможно рассмотреть структуру поверхности волокон (рис. 3, *б*). Нанесенное стальное покрытие равномерно покрывает ткань лавсана и декорирует ее. Диаметр отдельных филаментов составляет ~13 мкм.

Элементный состав ткани с покрытием приведен на рис. 4. В покрытии присутствуют углерод, кислород, титан, фосфор, хром, железо, никель, медь.

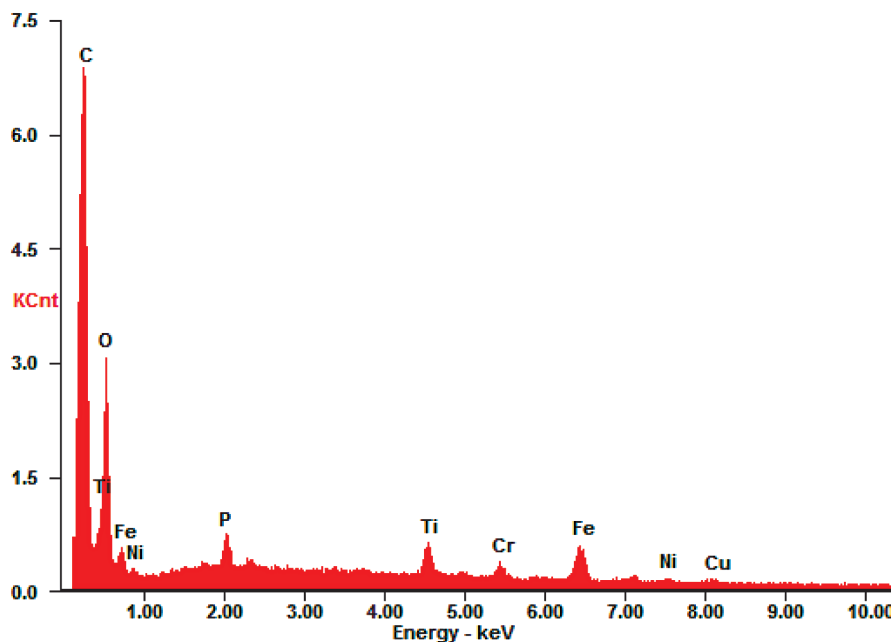


Рис. 4. Элементный состав покрытия из стали, нанесенного на поверхность лавсановой ткани

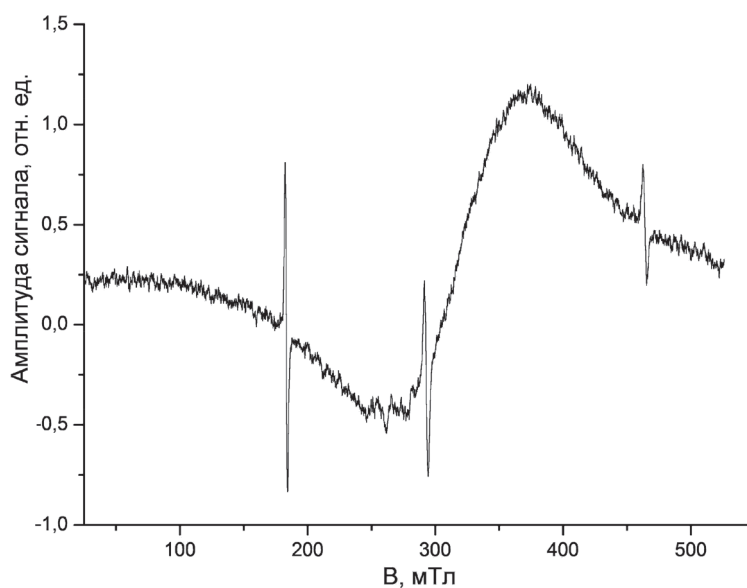


Рис. 5. Спектр ЭМР ткани с покрытием

На рис. 5 показан спектр магнитного резонанса ткани после нанесения покрытия. На спектре фиксируется спектральная линия с эффективным значением g -фактора $2,22 \pm 0,01$, ширина линии составляет 110,14 мТл. Из соотношения интенсивностей сигналов заполненного резонатора и калибровочного образца следует, что нерезонансное поглощение электромагнитного поля СВЧ в системе ослабляется незначительно, что свидетельствует о низкой проводимости покрытия.

Выводы

Исследована морфология поверхности углеродного покрытия на ткань из лавсана. Показана возможность нанесения однородного покрытия на ткань лавсана. Изучено магниторезонансное поглощение металлизированной ткани. Выявлены основные закономерности магниторезонансного поглощения. Методом ЭМР установлено, что спектры композита (ткань-покрытие) представляют собой неоднородно уширенные широкие линии с эффективным значением g -фактора $2,2 \pm 0,1$ и шириной 110,1 мТл, что свидетельствует о высокой концентрации магниторезонансных центров и высоком резонансном поглощении энергии СВЧ-поля, что существенно для создания защитной ткани от СВЧ-излучения. Нерезонансное поглощение СВЧ-поля незначительно.

ЛИТЕРАТУРА

1. Толстопятов Е. М. Нанесение тонкослойных покрытий из активированного потока продуктов лазерного распыления полимеров в вакууме / Е. М. Толстопятов, А. М. Красовский // Тез. докл. науч.-техн. конф. «Вакуумные покрытия-88», Минск, 20–21 апреля 1988 г. Минск, 1988. С. 90–91.
2. Борисова Н. В., Попова С. С., Распопова Г. А., Сладков О. М., Артеменко А. А. Металлизация углепластиков гальваническим способом // Пластические массы. 2007. № 3. С. 27–29.
3. Засимов В. М. Электрические свойства наполненных полиимидных пленок / В. М. Засимов, М. Г. Голубева // Пластические массы. 1980. № 12. С. 12–13.
4. Пат. 8461244 США. Intumescent coating compositions, 2013.
5. Пат. 20130090410 США. Энциклопедия полимеров, 1972.
6. Гаппаров Х. Г., Хомидов Я. Я., Файзиева Г. К. Виды и способы металлизирования текстильных материалов для пошива специальной одежды // Молодой ученый. 2016. № 11. С. 310–313.
7. Ткань с покрытием. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/115/30702>. Дата доступа: 28.02.2019.
8. Лавсан [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Полиэтилентерефталат>. Дата доступа: 28.02.2019.
9. Адашкевич С. В., Стельмах В. Ф., Бакаев А. Г. и др. Магниторезонансная диагностика радиопоглощающих композиционных материалов // Полимерные материалы и технологии. 2015. Т. 1. № 1. С. 71–75.
10. Маркевич М. И., Жигулин Д. В., Журавлева В. И., Стельмах В. Ф., Чапланов А. М. Воздействие импульсного лазерного излучения на базальтовую ткань // Полимерные материалы и технологии. 2018. Т. 4. № 3. С. 59–63.
11. Анисович А. Г. Искусство металлографии: использование методов оптического контрастирования / А. Г. Анисович // Весті НАН Беларусі. Сер. фіз.-тэхн. навук. 2016. № 1. С. 36–42.
12. Анисович А. Г., Румянцева И. Н. Искусство металлографии: возможности использования темнопольного изображения для анализа структуры металлов // Сб. материалов 4-й Междунар. науч.-техн. конф. «Современные методы и технологии создания и обработки материалов». Минск, 19–21 октября 2009 г. Кн. 1. С. 7–12.

REFERENCES

1. Tolstopjatov E. M., Krasovskij A. M. Nanesenie tonkoslojnyh pokrytij iz aktivirovannogo potoka produktov lazernogo raspylenija polimerov v vakuumе [The application of thin-layer coatings from an activated stream of laser sputtering products of polymers in a vacuum]. *Tezisy dokladov nauchno-tehnicheskoy konferencii «Vakuumnye pokrytija-88», Minsk, 20–21 aprjela 1988 g = Abstracts of the report of the scientific and technical conference «Vacuum coatings-88», Minsk, April 20–21, 1988*. Minsk, pp. 90–91.
2. Borisova N. V., Popova S. S., Raspopova G. A., Sladkov O. M., Artemenko A. A. Metallizacija ugleplastikov gal'vanicheskim sposobom [Metallization of carbon plastics by electroplating]. *Plasticheskie massy = Plastics*, 2007, no. 3, pp. 27–29.
3. Zasimov V. M., Golubeva M. G. Jelektricheskie svojstva napolnennyh poliimidnyh plenok [Electrical properties of filled polyimide films]. *Plasticheskie massy = Plastics*, 1980, no. 12, pp. 12–13.
4. Intumescent coating compositions. A. Taylor, S. Butterfield, J. Darryl Green, W. Allen. Patent USA, no. 8461244, 2013.
5. Kargin V. A. Jenciklopedija Polimerov [Encyclopedia of Polymers]. Patent SShA, no. 20130090410, 1972.
6. Gapparov H. G., Homidov Ja. Ja., Fajzieva G. K. Vidy i sposoby metallizirovanija tekstil'nyh materialov dlja poshiva special'noj odezhdy [Types and methods of metallization of textile materials for tailoring special clothes]. *Molodoj uchenyj = Young scientist*, 2016, no. 11, pp. 310–313.
7. <https://moluch.ru/archive/115/30702>.
8. <https://ru.wikipedia.org/wiki/>.
9. Adashkevich S. V., Stel'mah V. F., Bakaev A. G., Gordienko A. I., Markevich M. I., Chaplanov A. M., Shherbakova E. N. Magnitorezonansnaja diagnostika radiopogloshhajushchih kompozicionnyh materialov [Magnetic resonance diagnostics of radio absorbing composite materials]. *Polimernye materialy i tehnologii = Polymeric materials and technologies*, 2015, vol. 1, no. 1, pp. 71–75.
10. Markevich M. I., Zhigulin D. V., Zhuravleva V. I., Stel'mah V. F., Chaplanov A. M. Vozdejstvie impul'snogo lazernogo izluchenija na bazal'tovuju tkan' [The impact of pulsed laser radiation on basalt fabric]. *Polimernye materialy i tehnologii = Polymer materials and technologies*, 2018, vol. 4, no. 3, pp. 59–63.
11. Anisovich A. G. Iskusstvo metallografii: ispol'zovanie metodov opticheskogo kontrastirovanija [The Art of Metallography: Using Optical Contrasting Techniques]. *Vesci NAN Belarusi. Ser. fiz.-techn. navuk = Proceeding of the National Academy of Sciences of Belarus. Physical-Technical series*, 2016, no. 1, pp. 36–42.
12. Anisovich A. G., Rumjanceva I. N. Iskusstvo metallografii: vozmozhnosti ispol'zovanija temnopol'nogo izobrazhenija dlja analiza struktury metallov [The art of metallography: the possibility of using a dark-field image to analyze the structure of metals]. *Sbornik materialov 4-j mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Sovremennye metody i tehnologii sozdaniya i obrabotki materialov», Minsk, 19–21 oktjabrja 2009 g = Collection of materials of the 4th international scientific and technical conference «Modern methods and technologies for the creation and processing of materials», Minsk, October 19–21, 2009*. Kniga no. 1, pp. 7–12.