



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-2-82-87>  
УДК 539.2

Поступила 26.03.2024  
Received 26.03.2024

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР НА ПОВЕРХНОСТЬ КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА Ti-C – СМЕСОВАЯ ТКАНЬ

*А. Г. АНИСОВИЧ, Институт прикладной физики НАН Беларуси,  
г. Минск, Беларусь, ул. Академическая, 16. E-mail: anna-anisovich@yandex.ru*  
*М. И. МАРКЕВИЧ, И. П. АКУЛА, Н. М. ЧЕКАН, Физико-технический институт НАН Беларуси,  
г. Минск, Беларусь, ул. Купревича, 10*  
*Е. Н. ЩЕРБАКОВА, Белорусский национальный технический университет,  
г. Минск, Беларусь, пр. Независимости, 65*

*Продемонстрирован метод формирования композиционного материала, заключающегося в том, что на одну сторону смесовой ткани 07С11-КВ (производство ОАО «Моготекс») наносили титан, а на другую сторону – углерод. Проведены испытания полученного материала в климатической камере при  $-20 \dots -40$  °С. Показано, что разработанный композиционный материал хорошо выдерживает пониженные температуры, не наблюдается дополнительной деформации композиционного материала и дефектов структуры. Данный композиционный материал может быть рассмотрен как перспективный для специальных применений в условиях пониженных температур (антистатических, поглощающих СВЧ излучение, биомедицинских).*

**Ключевые слова.** Смесовая ткань, алмазоподобный углерод, титан, климатические испытания.

**Для цитирования.** Анисович, А. Г. Исследование влияния низких температур на поверхность композиционного материала Ti-C – смесовая ткань / А. Г. Анисович, М. И. Маркевич, И. П. Акула, Н. М. Чекан, Е. Н. Щербакова // *Литье и металлургия*. 2024. № 2. С. 82–87. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-2-82-87>.

## INVESTIGATION OF LOW TEMPERATURE EFFECTS ON THE SURFACE OF Ti-C COMPOSITE MATERIAL – TEXTILE BLEND

*A. G. ANISOVICH, Institute of Applied Physics of the National Academy of Sciences of Belarus,  
Minsk, Belarus, 16, Academicheskaya str. E-mail: anna-anisovich@yandex.ru*  
*M. I. MARKEVICH, I. P. AKULA, N. M. CHEKAN, Physical-Technical Institute of the National Academy of  
Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 10, Kuprevicha str.*  
*E. N. SHCHERBAKOVA, Belarusian National Technical University, Minsk, Belarus, 65, Nezavisimosti ave.*

*A method for the formation of a composite material is demonstrated, which involves applying titanium to one side of the textile blend 07S11-KV (produced by OJSC “Mogotex”) and carbon to the other side of the fabric. Tests were conducted on the obtained material in a climatic chamber at temperatures ranging from  $-20$  °C to  $-40$  °C. It is shown that the developed composite material withstands low temperatures well, with no additional deformation of the composite material or structural defects observed. This composite material can be considered as promising for special applications in low-temperature conditions (antistatic, microwave absorbing, biomedical).*

**Keywords.** Textile blend, diamond-like carbon, titanium, climatic testing.

**For citation.** Anisovich A. G., Markevich M. I., Akula I. P., Chekan N. M., Shcherbakova E. N. Investigation of low temperature effects on the surface of Ti-C composite material – textile blend. *Foundry production and metallurgy*, 2024, no. 2, pp. 82–87. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2024-2-82-87>.

### Введение

В Республике Беларусь разработка и производство текстиля, обладающего специальными свойствами, является приоритетным и инновационным направлением. Значимость приобретают разработки технического текстиля на основе отечественного сырья [1, 2]. В настоящее время уделяется большое внимание формированию комбинированных текстильных материалов для различных применений. Представляют интерес радиопоглощающие и бактерицидные свойства таких материалов. В последнее время

активно изучаются антибактериальные свойства алмазоподобных пленок на текстильных материалах. В [3] исследовали антибактериальные свойства DLC-пленки против двух типов бактерий (*Staphylococcus aureus* и *Klebsiella pneumoniae*) с помощью стандартной методики оценки Международной организации по стандартизации (ISO) 20743. Результаты показали, что такие покрытия могут подавлять рост активных бактерий и использоваться в биомедицинских целях.

В [4–7] подробно рассмотрены, в частности, морфология поверхности и радиопоглощающие свойства композиционных материалов на основе различных тканей с металлизированными покрытиями. При этом важно знать и устойчивость таких материалов к низким температурам [8]. Эти материалы могут создаваться на основе смесовых тканей, которые состоят из натуральных и синтетических волокон и сочетают в себе высокую воздухопроницаемость, гигроскопичность, низкую усадку, несминаемость, прочность и износостойкость.

Цель данной работы – синтез, исследование морфологии поверхности композиционного материала на основе смесовой ткани, модифицированной кластерами углерода и титана при последующих климатических испытаниях при низких температурах.

### Материалы и методики эксперимента

Объект исследования – смесовая ткань (полиэстр+хлопковое волокно) 07C11-KB (производство ОАО «Моготекс»), состав – 30–40% хлопка, остальное – полиэстр.

Модификацию тканей проводили кластерами титана с одной стороны и кластерами углерода с другой.

Формирование покрытий углерода и титана выполняли гибридным методом, основанном на разложении молекул углеводородного газа высокотоковым импульсом катодно-дугового разряда в вакууме. Для осаждения АПУ покрытия использовали установку УВНИПА-1-002, оборудованную двумя источниками дуговой плазмы и четырьмя ионно-лучевыми источниками с анодным слоем типа «Радикал». После откачки вакуумной камеры до остаточного давления порядка  $5 \cdot 10^{-3}$  Па для удаления с поверхности ткани следов органических загрязнений выполняли ионно-лучевую очистку (ИЛО) поверхности ионами аргона при следующих параметрах работы ионных источников: давление аргона –  $1,5 \cdot 10^{-2}$  Па, ускоряющее напряжение – 1,5–2,0 кВ, ускоряющий ток – 20–40 мА, время обработки – 20 мин. В процессе проводили визуальный контроль общего состояния образцов через смотровые окна вакуумной камеры с целью предотвратить возможный их перегрев и деформацию (оплавление). Предварительно перед формированием покрытий поверхность ткани обрабатывали высокоэнергетическими ионами аргона для удаления органических загрязнений в течение 15 мин при следующих параметрах: давление аргона в вакуумной камере – порядка  $3,7 \cdot 10^{-2}$  Па, ускоряющее напряжение – 2 кВ, ионный ток – 20 мА, время очистки – 15 мин. Толщина углеродного покрытия составила приблизительно 0,8–1,2 мкм.

После нанесения покрытия углерода технологическую оснастку с образцами тканей устанавливали в вакуумную камеру установки УВНИПА-1-001. Установка формирует металлическую плазму с помощью источников стационарной металлической плазмы. Так как образцы в процессе перемещения между вакуумным оборудованием могли подвергнуться загрязнению поверхности посторонними веществами, то после вакуумирования на установке УВНИПА-1-01 проводили ионно-лучевую обработку ионами аргона с помощью источника ионов «Радикал» в течение 3 мин при следующих параметрах: давление аргона –  $1,8 \cdot 10^{-2}$  Па, ускоряющее напряжение – 2 кВ, ток – 30 мА.

При нанесении покрытия из титана использовали дуговой источник (ток дуги 55А) в режиме сепарации плазмы. Поскольку температура покрытия при его формировании на поверхности ткани может достигать нескольких сотен градусов Цельсия, то процесс осуществляли путем чередования периодов работы источника плазмы (1 мин) и паузы для охлаждения ткани (1 мин). Толщина покрытия титана составила примерно 0,5 мкм.

Испытания при низких температурах выполняли в климатической камере СМ-70/150–80 ТВХ. Образцы подвергали температурному воздействию при температурах –20, –30 и –40 °С в течение 6 ч; влажность составляла 50%.

Для исследования структуры образцов использовали инвертированный металлографический микроскоп МИ-1; способ контрастирования – темнопольное освещение. Образцы ткани целиком укладывали на предметный столик микроскопа. Для исследования выбирали участок в центре образца, наилучшим образом выполнявший условия по резкости изображения. Метод исследования в темном поле основан на освещении объекта полым конусом света, что достигается однократным прохождением света через оптическую

систему микроскопа с отражением от параболического зеркала. Таким образом, центральные лучи конуса падающего света не попадают на образец, а изображение формируется наклонными лучами. При этом в объектив попадает только свет, отраженный от наклонных участков образца: границ зерен и фаз, различных включений, неплоскостных участков неметаллических материалов. Изображение структуры воспринимается как обратное тому, которое наблюдается при освещении в светлом поле: детали структуры, которые были темными при светлоспольном освещении, в «темном поле» ярко освещены. Темнопольное освещение позволяет расширить возможности металлографического микроскопа в исследовании неметаллических объектов. Неровную поверхность в светлом поле можно практически не увидеть в связи с сильным рассеянием света. Освещение в темном поле зрения дает исключительно контрастные изображения при большой разрешающей способности объектива; также сохраняется натуральный вид окрашенных объектов [9].

### Результаты и их обсуждение

Ткань в исходном состоянии без покрытия имеет полотняное переплетение (рис. 1), наиболее распространенное из всех ткацких переплетений. В этом переплетении основные нити (через одну) перекрываются уточными нитями, поэтому ткани полотняного переплетения наиболее прочны [10, 11]. Лицевая и изнаночная стороны ткани имеют одно и то же строение (рис. 1, а). Раппорт переплетения по основе и утку равен двум. Наблюдается некоторое разволокнение нитей (рис. 1, б), в большей степени за счет волокон хлопка. Структура отдельных волокон показана на рис. 1, в. Волокна хлопка 1 имеют характерный рельеф. Волокно полиэстера 2 гладкое, края волокна подсвечиваются за счет отражения света от наклонной поверхности в темном поле. Диаметр волокон полиэстера составляет порядка 13 мкм, хлопка – ~21 мкм.

На рис. 2, 3 представлена морфология поверхности композиционного материала с каждой из сторон после нанесения покрытий. Дополнительного разволокнения не наблюдается (рис. 2, а, б, рис. 3, а, б). Поверхность образцов неоднородна. На всех снимках видна диффузия (через отверстия в переплетениях) наносимых элементов на другую сторону. Так, на стороне, где наносили углерод, имеются филаменты,

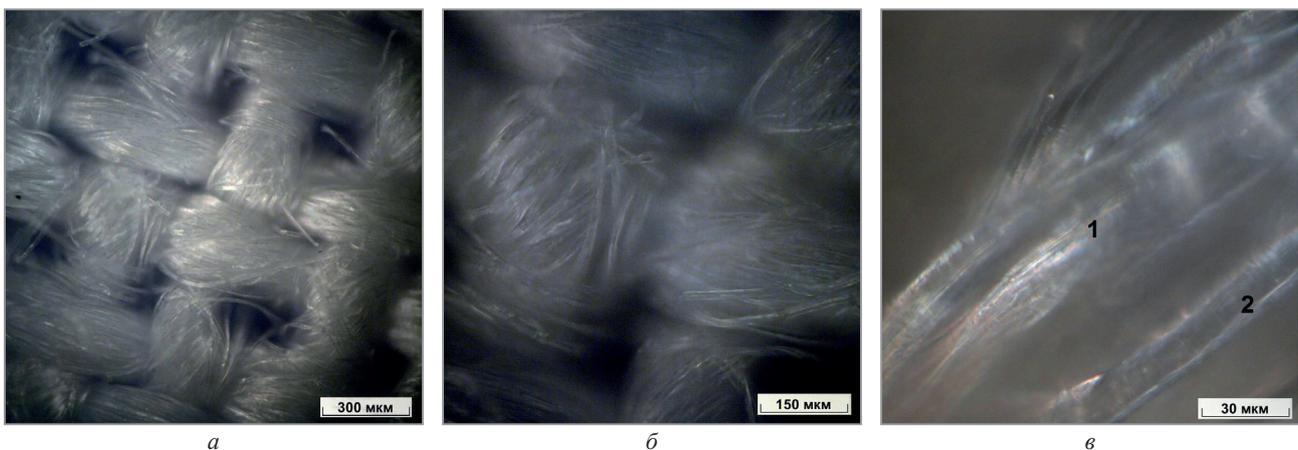


Рис. 1. Смесовая ткань в исходном состоянии при различных увеличениях

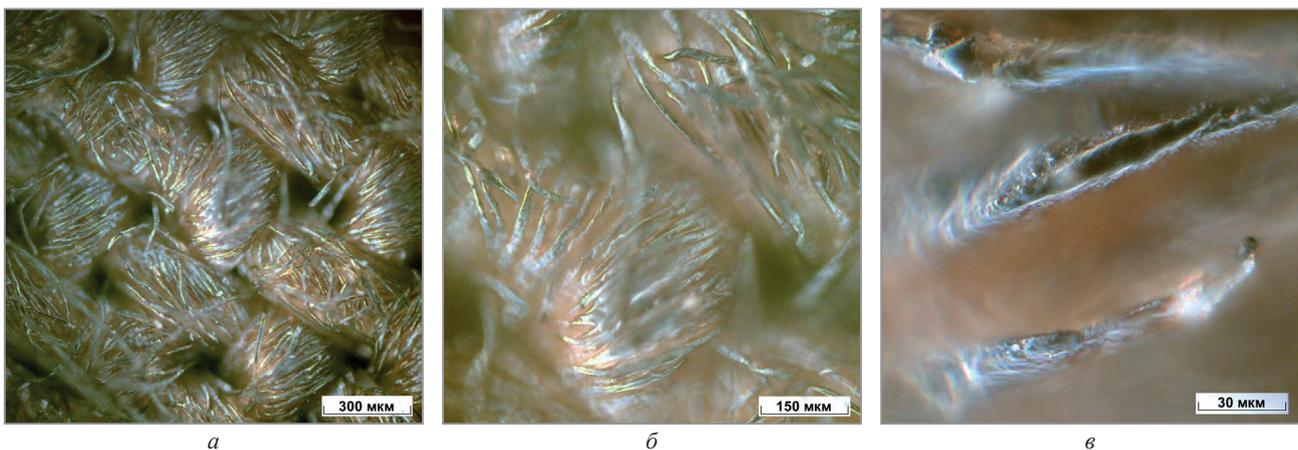


Рис. 2. Поверхность ткани после нанесения углеродного покрытия

покрытые титаном поверх покрытия углерода. Такое же явление наблюдается и с обратной стороны. На поверхности, сформированной углеродом, наблюдается капельная фаза (рис. 2, в); на покрытии титана капельная фаза отсутствует (рис. 3, в). На поверхности волокон, покрытых титаном, наблюдаются интерференционные явления (рис. 3, в).

После климатических испытаний во всем исследованном интервале температур поверхность ткани не претерпевает существенных изменений. На рис. 4, 5 показана структура волокон ткани с покрытием поле испытаний при  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ . На поверхности волокон не наблюдается изменений структуры покрытия, нарушений сплошности или отслоения металлизированного слоя. Также отсутствует деформация композиционного материала. На поверхности титанового покрытия интерференционные явления отсутствуют.

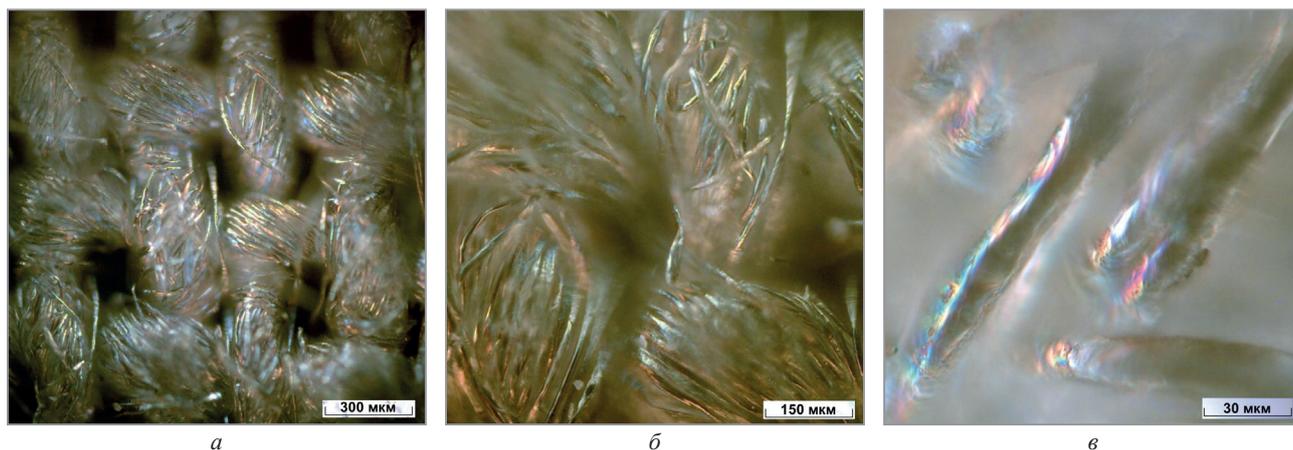


Рис. 3. Поверхность ткани после нанесения титанового покрытия

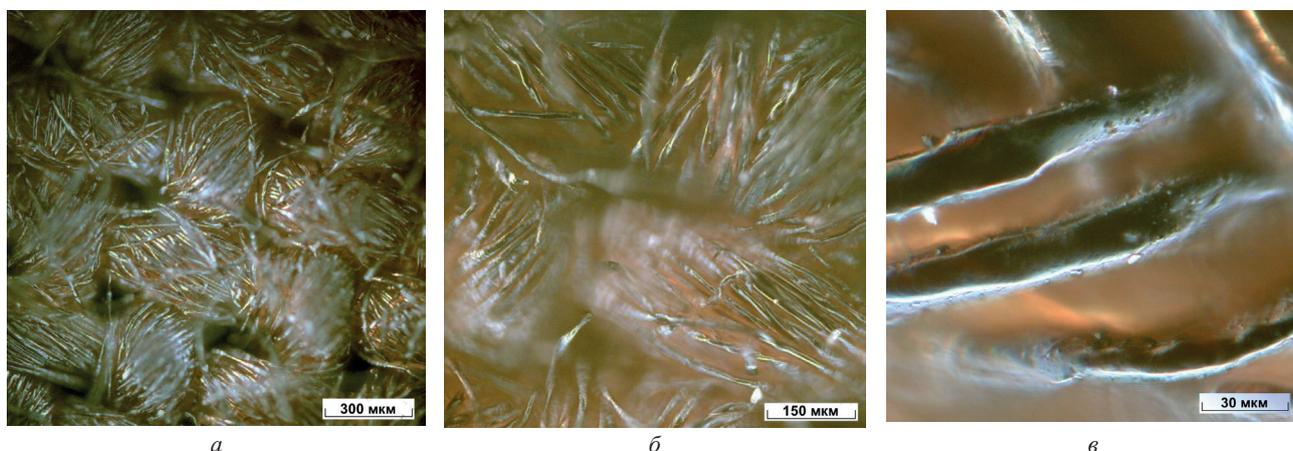


Рис. 4. Морфология поверхности ткани с покрытием углерода после климатических испытаний, температура  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$

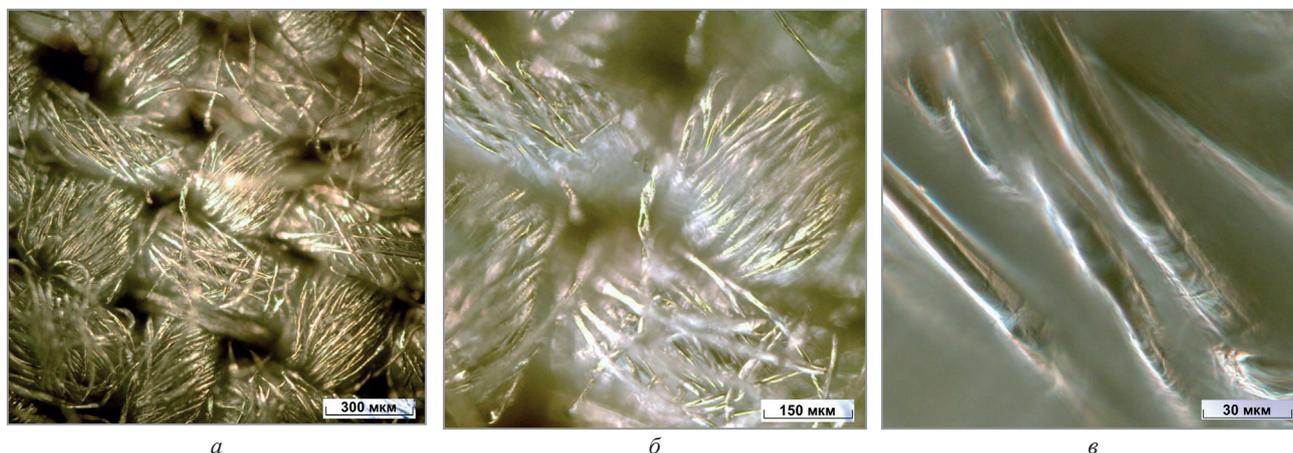


Рис. 5. Морфология поверхности ткани с покрытием титана после климатических испытаний, температура  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$

### Выводы

Продemonстрирован метод формирования композиционного материала, заключающегося в том, что на одну сторону смесовой ткани 07С11-КВ (производство ОАО «Моготекс») наносили титан, а на другую сторону – углерод. Проведены исследования морфологии поверхности данного композиционного материала с последующими испытаниями в климатической камере. Методом оптической микроскопии установлено, что происходит проникновение наносимых материалов на противоположные стороны материала основы. Полученный композиционный материал хорошо выдерживает пониженные температуры, не наблюдается дополнительной деформации отдельных волокон материала, отслоения покрытий от основы или структуры нанесенных слоев. Данный композиционный материал может быть рассмотрен как перспективный для специальных применений (антистатических, поглощающих СВЧ излучение, биомедицинских).

### ЛИТЕРАТУРА

1. Морфология поверхности ткани 07С11-КВ после лазерного воздействия / А.Г. Анисович [и др.] // Квантовая электроника: материалы 13-й Междунар. науч.-техн. конф., 22–26 ноября. 2021. – Минск: БГУ, 2021. – С. 461–464.
2. Магниторезонансная диагностика радиопоглощающих композиционных материалов / С.В. Адашкевич [и др.] // Полимерные материалы и технологии. – 2015. – Т. 1, № 1. – С. 71–75.
3. Antibacterial property of DLC film coated on textile material / N. Kitahara [et al.] // *Diamond & Related Materials*. – 2010. – Vol. 19. – P. 690–694.
4. Диагностика магниторезонансного поглощения энергии СВЧ аморфного углерода на подложке лавсана / И.П. Акула [и др.] // *Электроника–Инфо*. – 2017. – № 1. – С. 55–56.
5. Морфология поверхности и диагностика магниторезонансного поглощения энергии СВЧ лавсана, модифицированного кластерами углерода / А.Г. Анисович [и др.] // Прикладные проблемы оптики, информатики, радиофизики и физики конденсированного состояния: V Междунар. науч.-практ. конф., 16–17 мая 2019. – Минск: БГУ, 2019. – С. 202–203.
6. Морфология поверхности, антистатические и магнитные свойства ткани 07С11-КВ / А.Г. Анисович [и др.] // *Электроника плюс*. – 2019. – № 4. – С. 51–52.
7. Морфология поверхности, магниторезонансные и антистатические свойства ткани 07С11-КВ с покрытием из нержавеющей стали / А.Г. Анисович [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2020. – № 1. – С. 87–92.
8. Изменение поверхности смесовой ткани 07С11-КВ, модифицированной кластерами углерода и циркония, при климатических испытаниях / А.Г. Анисович [и др.] // *Литье и металлургия*. – 2023. – № 2. – С. 94–96.
9. Анисович, А.Г. Возможности использования темнопольного освещения для анализа несвязанных объектов / А.Г. Анисович // *Литье и металлургия*. 2013. – № 1. – С. 116–122.
10. Кукин, Г.Н. Текстильное материаловедение (текстильные полотна и изделия) / Г.Н. Кукин, А.Н. Соловьев. – М.: Легпромбытиздат, 1992. – 272 с.
11. Ефремов, Д.Е. Теория переплетений. Часть 1. Главные и производные переплетения / Д.Е. Ефремов, Г.И. Толубеева. – Иваново: Ивановская государственная текстильная академия, 2007. – 33 с.

### REFERENCES

1. Anisovich A.G., Akula I.P., Zhuravleva V.I., Markevich M.I., Chekan N.M. Morfologiya poverhnosti tkani 07S11-KV posle lazernogo vozdejstviya [Surface morphology of fabric 07S11-KV after laser exposure]. *Kvantovaya elektronika: Materialy 13-j Mezhdunar. nauch.-tekhn. konf., 22–26 noyabrya 2021 = Quantum Electronics: Proceedings of the 13th international scientific and technical conference, November 22–26, 2021*. Minsk, BGU Publ., 2021, pp. 461–464.
2. Adashkevich S.V., Stel'mah V. F., Bakaev A.G., Gordienko A.I., Markevich M.I., Chaplanov A.M., Shcherbakova E.N. Magnitirezonansnaya diagnostika radiopogloshchayushchih kompozitsionnyh materialov [Magnetic resonance diagnostics radioabsorbing composite materials]. *Polimernye materialy i tekhnologii = Polymer materials and technologies*, 2015, vol. 1, no. 1, pp. 71–75.
3. Kitahara N., Sato T., Isogawa H., Ohgoe Y., Masuko S., Shizuku F., Hirakuri K.K. Antibacterial property of DLC film coated on textile material. *Diamond & Related Materials*, 2010, vol. 19, pp. 690–694.
4. Akula I.P., Markevich M.I., Stel'mah V.F., Chaplanov A.M., Chekan N.M. Diagnostika magnitirezonansnogo pogloshcheniya energii SVCH amorfnoogo ugleroda na podlozhke lavsana [Diagnostics of magnetic resonance absorption of microwave energy of amorphous carbon on a lavsan substrate]. *Elektronika-Info = Electronics-Info*, 2017, no. 1, pp. 55–56.
5. Anisovich A.G., Akula I.P., Markevich M.I., Stel'mah V. F., Chekan N.M. Morfologiya poverhnosti i diagnostika magnitirezonansnogo pogloshcheniya energii SVCH lavsana, modifitsirovannogo klasterami ugleroda [Surface morphology and diagnostics of magnetic resonance absorption of microwave energy of lavsan modified with carbon clusters]. *Prikladnye problemy optiki, informatiki, radiofiziki i fiziki kondensirovannogo sostoyaniya: V Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., 16–17 maya 2019 = Applied problems of optics, computer science, radiophysics and condensed matter physics: V International Scientific and Practical Conference, May 16–17, 2019*. Minsk, BGU Publ., 2019, pp. 202–203.
6. Anisovich A.G., Akula I.P., Laskovnev A.P., Markevich M.I., Stel'mah V.F., Chekan N.M. Morfologiya poverhnosti, antistaticheskie i magnitnye svojstva tkani 07S11-KV [Surface morphology, antistatic and magnetic properties of fabric 07S11-KV]. *Elektronika plus = Electronics Plus*, 2019, no. 4, pp. 51–52.
7. Anisovich A.G., Akula I.P., Zalesskiy V.G., Markevich M.I., Stelmakh V.F., Chekan N.M. Morfologiya poverhnosti, magnitirezonansnye i antistaticheskie svojstva tkani 07S11-KV s pokrytiem iz nerzhavayushchej stali [Surface morphology, magnetic resonant and antistatic properties of 07S11-KV fabric coated with stainless steel]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2020, no. 1, pp. 87–92.

8. **Anisovich A.G., Markevich M.I., Akula I.P., Chekan N.M., Shcherbakova E.N., Kevra E.V.** Izmenenie poverhnosti smesovoy tkani 07S11-KV, modificirovannoy klasterami ugleroda i cirkoniya, pri klimaticheskikh ispytaniyah [Changing the surface of the 07S11-KV mixed fabric modified by carbon and zirconium clusters, during climate tests]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2023, no. 2, pp. 94–99.
9. **Anisovich A.G.** Vozmozhnosti ispol'zovaniya temnopol'nogo osveshcheniya dlya analiza nesvyazannykh obektov [Possibilities of application of darkfloor lighting for analysis of unlinked objects]. *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*, 2013, no. 1, pp. 116–122.
10. **Kukin G.N., Solov'ev A.N.** *Tekstil'noe materialovedenie (tekstil'nye polotna i izdeliya)* [Textile materials science (textile fabrics and products)]. Moscow, Legprombytizdat Publ., 1992, 272 p.
11. **Efremov D.E., Tolubeeva G.I.** *Teoriya perepletений. Chast' 1. Glavnye i proizvodnye perepleteniya* [Theory of weaving. Part 1. Main and derivative weave]. Ivanovo, Ivanovo State Textile Academy Publ., 2007, 33 p.