



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-3-79-83>  
УДК 539.2

Поступила 30.05.2020  
Received 30.05.2020

## МОРФОЛОГИЯ ПОВЕРХНОСТИ, МАГНИТОРЕЗОНАНСНЫЕ И АНТИСТАТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТКАНИ С УГЛЕРОДНЫМ ПОКРЫТИЕМ, МОДИФИЦИРОВАННЫМ КЛАСТЕРАМИ МЕТАЛЛОВ

А. Г. АНИСОВИЧ, И. П. АКУЛА, А. П. ЛАСКОВНЕВ, М. И. МАРКЕВИЧ, Н. М. ЧЕКАН,  
Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Беларусь, ул. Купревича, 10.  
E-mail: anna-anisovich@yandex.ru

*Исследованы морфология поверхности, магниторезонансные и антистатические свойства смесовой ткани 07С11-КВ производства ООО «Моготекс» с покрытием углерода, легированного кластерами металлов.*

*Покрытие наносили методом импульсного катодно-дугового осаждения в вакууме  $3,5 \cdot 10^{-3}$  Па. Установлено, что при нанесении покрытия формируется капельная фаза. Размеры капель достигают 20–25 мкм. Удельное поверхностное сопротивление на ткани 1 сторона / 2 сторона составляет  $3,2 \cdot 10^7$  и  $1,9 \cdot 10^7$  Ом соответственно. На спектре ЭПР фиксируются широкая спектральная линия с эффективным значением g-фактора  $2,27 \pm 0,01$  и шириной 94,4 мТл и узкая спектральная линия с эффективным значением g-фактора  $2,04 \pm 0,01$  и шириной 4,3 мТл, что соответствует углеродным кластерам покрытия.*

*Из соотношения интенсивностей сигналов заполненного резонатора и калибровочного образца следует, что нерезонансное поглощение электромагнитного поля СВЧ в системе ослабляется незначительно.*

**Ключевые слова.** Смесовая ткань, микроскопия, магниторезонансное поглощение, катодно-дуговое осаждение.

**Для цитирования.** Анисович, А. Г. Морфология поверхности, магниторезонансные и антистатические свойства ткани с углеродным покрытием, модифицированным кластерами металлов / А. Г. Анисович, И. П. Акула, А. П. Ласковнев, М. И. Маркевич, Н. М. Чекан // Литье и металлургия. 2020. № 3. С. 79–83. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-3-79-83>.

## SURFACE MORPHOLOGY, MAGNETIC RESONANCE AND ANTISTATIC PROPERTIES OF FABRIC WITH CARBON COATING, MODIFIED BY METAL CLUSTERS

A. G. ANISOVICH, I. P. AKULA, A. P. LASKOVNEV, M. I. MARKEVICH, N. M. CHEKAN,  
Physical-Technical Institute of National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus, 10, Kuprevich Str.  
E-mail: anna-anisovich@yandex.ru

*The morphology of the surface, the magnetic resonance and antistatic properties of the 07C11-KV blended fabric manufactured by Mogotex LLC with a carbon coating doped with metal clusters are studied.*

*The coating was applied by pulsed cathodic-arc deposition in vacuum of  $3.5 \cdot 10^{-3}$  Pa. It is established that during the coating a droplet phase is formed. The size of the drops reaches 20 – 25 microns. The result of measuring the surface resistivity on fabric 1 side / 2 side is  $3.2 \cdot 10^7$  and  $1.9 \cdot 10^7$  Ohm, respectively. On the EPR spectrum are recorded two lines. The first line is a broad spectral line with an effective g-factor of  $2.27 \pm 0.01$  and a width of 94.4 mT. The second line is narrow spectral line with an effective g-factor of  $2.04 \pm 0.01$  and a width of 4.3 mT. This is corresponds to carbon coating clusters.*

*From the ratio of the signal intensities of the filled resonator and the calibration sample, it follows that the non-resonant absorption of the microwave electromagnetic field in the system is slightly attenuated.*

**Keywords.** Blended fabric, microscopy, magnetic resonance, cathode-arc deposition.

**For citation.** Anisovich A. G., Akula I. P., Laskovnev A. P., Markevich M. I., Chekan N. M. Surface morphology, magnetic resonance and antistatic properties of fabric with carbon coating, modified by metal clusters. Foundry production and metallurgy, 2020, no. 3, pp. 79–83. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2020-3-79-83>.

### Введение

Актуальным направлением является разработка и получение тканей с антистатическим эффектом, которые уменьшают накопление зарядов статического электричества на поверхности изделий из нее, непосредственно контактирующих с человеческим телом и дополнительно обеспечивающей защиту от электромагнитных излучений. Данные ткани могут быть использованы для выпуска разнообразного ассортимента одежды и специальных швейных изделий. Часто для достижения требуемых антистатических свойств при изготовлении ткани используется введение углеродных или электропроводящих волокон [1–3]. Антистатическую ткань на основе полиэфирных волокон с тонким дискретным никелевым покрытием марки АРТН по ТУ 6–06–32–531–87 (производитель Всесоюзный научно-исследовательский институт синтетического волокна ВНИИСВ (Россия, г. Тверь)) получают методом химической металлизации из растворов. Однако, как показали научные исследования, наличие в структуре металлизированных нитей или дискретного никелевого покрытия не допускают непосредственного контакта с человеческим телом, повышают массу материала. Аллергия на никель является одним из видов контактной аллергии, приводящей к возникновению экземы после прямого контакта кожи с предметом, который содержит никель. При дальнейшем использовании предметов, содержащих никель и не переносимых организмом, может наблюдаться аллергия и на участках кожи, не имеющих прямого контакта с никелем. Аллергия может наблюдаться и на кобальт, алюминий, цинк, хром, практически отсутствует на золото и серебро. Представляется более целесообразным при производстве антистатических тканей, которые могут соприкасаться с кожей, применять нанесение в два этапа (металлическое, а затем углеродное) [4,5].

### Материалы и методики эксперимента

Для исследования использовали ткань 07С11-КВ производства ООО «Моготекс».

В данной работе покрытия наносили на ткань методом импульсного катодно-дугового осаждения в вакууме  $3,5 \cdot 10^{-3}$  Па. Покрытие углерода осаждали комбинированным PVD-CVD - методом. Сущность метода заключается в деструкции молекул углеводородного газа высокоэнергетическими ионами углерода, сформированными в высокоточном импульсном катодно-дуговом разряде на поверхности графитовой мишени. Продукты данного взаимодействия осаждаются на ткани в виде аморфного углерода. Образцы ткани устанавливали на расстоянии порядка 30 см от источника катодно-дуговой углеродной плазмы и вращали в течение процесса осаждения со скоростью 2 об/мин [6].

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  $3,2 \cdot 10^{-2}$  Па, ускоряющее напряжение – 2000 В, ионный ток – 20–40 мА, частота следования импульсов – 2,5 Гц. Процесс подлегирования производили в два этапа. Наносили покрытие из стали 12Х18Н10Т на ткань методом импульсного катодно-дугового осаждения в среде аргона  $P=1,5 \cdot 10^{-2}$  Па. Покрытие осаждали с использованием источника стационарной металлической плазмы, работающего в режиме сепарации. Процесс проводили путем чередования периодов работы источника плазмы (1 мин) и паузы для охлаждения ткани (1 мин), производили 20 циклов.

Затем после этого покрытие углерода осаждали с использованием импульсно-дуговых источников в среде ацетилена при давлении  $P=0,5$  Па; было сделано 10 000 разрядных импульсов.

Исследование морфологии поверхности образцов проводили с использованием растрового электронного микроскопа MIRA-3 (Чехия) с системой микроанализаторов фирмы Oxford Instruments (Великобритания). Прибор позволяет одновременно исследовать морфологию поверхности материала, определить распределение химических элементов исследуемого образца, а также получить изображение объекта в широком диапазоне увеличений.

Для исследования морфологии поверхности волокна также использовали металлографический комплекс на основе инвертированного микроскопа МИ-1 отраженного света [7].

Исследования магнитного резонанса проводили 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 использовался образец из монокристалла рубина ( $Al_2O_3: Cr^{3+}$ ). В процессе измерений дополнительный контроль стабильности работы спектрометра осуществляли путем измерения калибровочного материала – двухвалентного марганца ( $MgO: Mn^{2+}$ ) [8,9].

## Основная часть

На рис. 1 показан элементный состав ткани с углеродным покрытием, подлегированной кластерами металлов.

Как видно из рисунка 1, в углеродном покрытии содержатся кластеры никеля, железа, титана, хрома и циркония.

Поверхность ткани после нанесения покрытия представлена на рис. 2, 3. При нанесении покрытия формируется капельная фаза. Размеры капель достигают 20–25 мкм (рис. 2, *з*). При исследовании в растворовом электронном микроскопе видно (рис. 3), что покрытие не сплошное, имеются повреждения размером до 30 мкм.

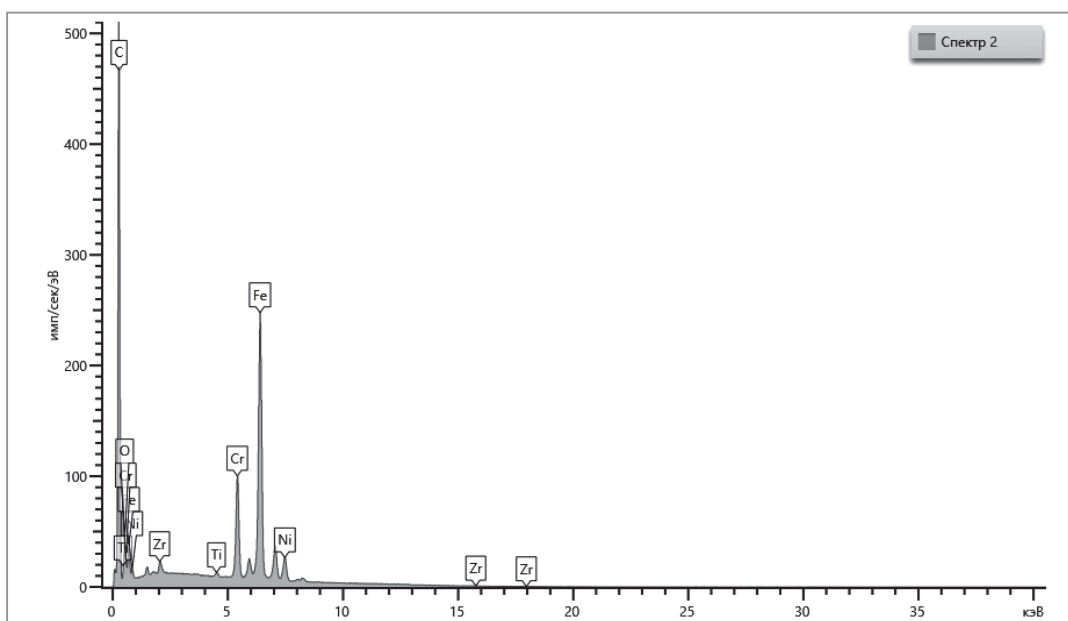


Рис. 1. Результаты определения элементного состава ткани с покрытием

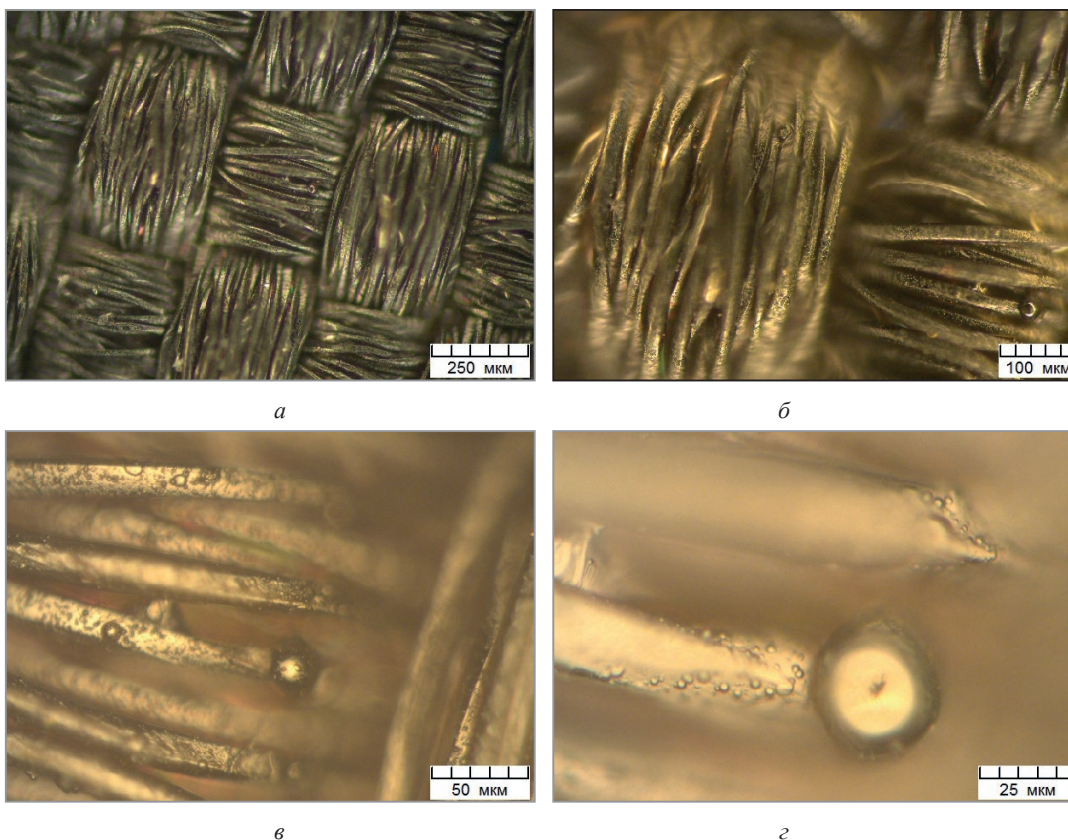


Рис.2. Морфология поверхности ткани с покрытием при различных увеличениях; светлопольное освещение

В результате измерения удельное поверхностное сопротивление на ткани 1 сторона / 2 сторона составляет  $3,2 \cdot 10^7$  и  $1,9 \cdot 10^7$  Ом соответственно, что ниже поверхностного сопротивления по ГОСТ 6433.2–71, которое должно быть не более  $10^9$  Ом.

На рис. 4 показан спектр магнитного резонанса ткани с нанесенным углеродным покрытием, легированном кластерами металлов. На спектре фиксируется широкая, ассиметричная спектральная линия шириной 88,9 мТл, что соответствует высокой концентрации магниторезонансных центров. Резонансное поглощение данного композиционного материала в области низких значениях магнитных полей определяется кластерами металлов (железо, никель, хром и др.) Из соотношения интенсивностей сигналов заполненного резонатора и калибровочного образца следует, что нерезонансное поглощение электромагнитного поля СВЧ в системе ослабляется незначительно.

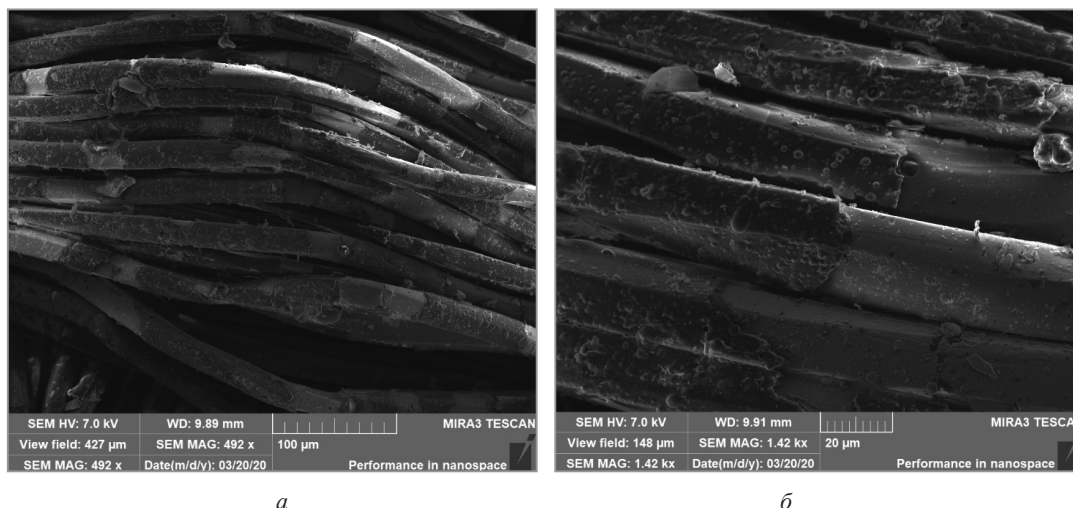


Рис. 3. Морфология поверхности покрытия, легированного кластерами металлов; растровая микроскопия

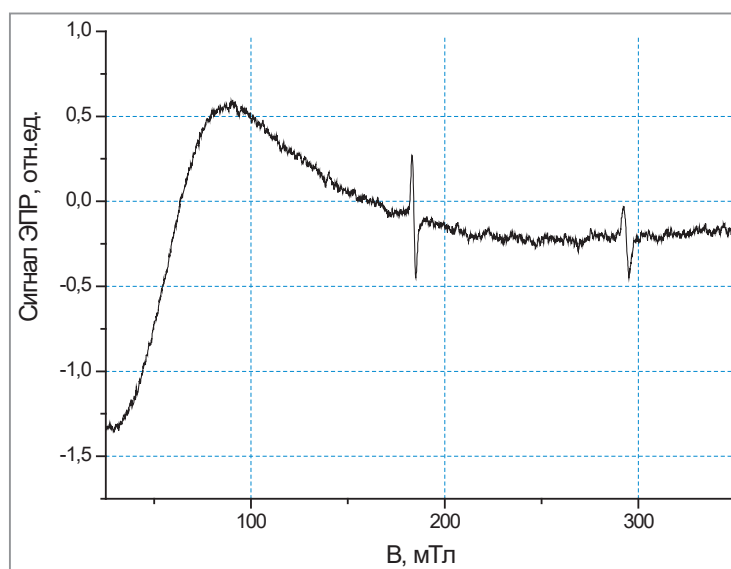


Рис. 4. Спектр ЭПР композиционного материала

### Выводы

Приведены результаты исследования структуры, антистатических и магниторезонансных свойств композиционных материалов на основе смесовой ткани, покрытия из стали 12X18H10T с последующим нанесением углерода. Выявлены основные закономерности магниторезонансного поглощения.

Методом ЭПР установлено, что данный композиционный материал обладает резонансным поглощением энергии СВЧ при слабом нерезонансном поглощении.

Показано, что разработанный новый композиционный материал имеет удельное поверхностное сопротивление на ткани 1 сторона / 2 сторона  $3,2 \cdot 10^7$  и  $1,9 \cdot 10^7$  Ом соответственно.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Казаков, М.Е., Сахарова Т. П. НПЦ «УВИКОМ»: технологии будущего / М.Е. Казаков, Т. П. Сахарова // Технический текстиль, 2003. № 7. С. 26.
2. Замостоцкий, Е. Г. Комбинированные электропроводящие нити / Е. Г. Замостоцкий, А. Г. Коган. Витебск: ВГТУ, 2012. 169 с.
3. Сапожников, С. В. Перспективность получения и применения электропроводящих текстильных материалов / С. В. Сапожников, В. В. Сафонов // Сб. материалов XXI Междунар. науч.-практ. форума «Smartex–2018». Иваново, 2018. С. 228–232.
4. Mattson, M. P. Molecular functionalization of carbon nanotubes and use as substrates for neuronal growth / M. P. Mattson, R. C. Haddon, A. Rao // *J Mol. Neurosci.* 2000. Vol. 14(3). P. 175–82.
5. Hu, H. Chemically Functionalized Carbon Nanotubes as Substrates for Neuronal Growth / H. Hu, Y. Ni, V. Montana et al. // *Nano Lett.* 2004. Vol. 4(3). P. 507–511.
6. Чекан, Н. М. Новый комбинированный метод получения алмазоподобных пленок / Н. М. Чекан, В. В. Акулич, И. П. Акуня // Материалы II Междунар. науч.-техн. конф. «Современные методы и технологии создания и обработки материалов». Минск, Беларусь, 2007. Т. 2. С. 148–158.
7. Анисович, А. Г. Практика металлографического исследования материалов / А. Г. Анисович, И. Н. Румянцева. Минск: Беларуская навука, 2013. 221 с.
8. Адашкевич, С. В. Магниторезонансная диагностика радиопоглощающих композиционных материалов / С. В. Адашкевич, А. Г. Бакаев, А. И. Гордиенко, М. И. Маркевич и др. // Полимерные материалы и технологии. 2015. Т. 1. № 1. С. 71–75.
9. Маркевич, М. И. Воздействие импульсного лазерного излучения на базальтовую ткань / М. И. Маркевич, Д. В. Жигулин, В. И. Журавлева, В. Ф. Стельмах и др. // Полимерные материалы и технологии. 2018. Т. 4. № 3. С. 51–56.

## REFERENCES

1. Kazakov M. E., Saharova T. P. NPC «UVIKOM»: tehnologii budushhego [SPC «UVIKOM»: future technologies]. *Tekhnicheskij tekstil' = Technical textiles*, 2003, no. 7, pp. 26.
2. Zamostockij E. G., Kogan A. G. *Kombinirovannye jeleketroprovodjashhie niti* [Combined Conductive Thread]. Vitebsk, VGTU Publ., 2012, 169 p.
3. Sapozhnikov S. V., Safonov V. V. Perspektivnost' polucheniya i primeneniya jeleketroprovodjashhih tekstil'nyh materialov [The prospect of obtaining and using electrically conductive textile materials]. *Sbornik materialov XXI Mezhdunarodnogo nauchno-prakticheskogo foruma «Smartex–2018» = The collection of materials of the XXI International scientific and practical forum «Smartex–2018»*. Ivanovo, 2018, pp. 228–232.
4. Mattson M. P., Haddon R. C., Rao A. Molecular functionalization of carbon nanotubes and use as substrates for neuronal growth. *J Mol, Neurosci*, 2000, no. 14(3), pp. 175–82.
5. Hu H., Ni Y., Montana V et al. Chemically Functionalized Carbon Nanotubes as Substrates for Neuronal Growth. *Nano Lett*, 2004, no. 4(3), pp. 507–511.
6. Chekan N. M., Akulich V. V., Akula I. P. Novyj kombinirovannyj metod polucheniyaalmazopodobnyh plenok [A new combined method for producing diamond-like films]. *Materialy II Mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Sovremennyye metody i tehnologii sozdaniya i obrabotki materialov», Minsk, Belarus' = Materials of the II International Scientific and Technical Conference «Modern Methods and Technologies for the Creation and Processing of Materials», Minsk, Belarus.* 2007, vol. 2, pp. 148–158.
7. Anisovich A. G., Rumjanceva I. N. *Praktika metallograficheskogo issledovanija materialov* [The practice of metallographic research of materials]. Minsk, Belaruskaja navuka Publ., 2013, 221 p.
8. Adashkevich S. V., Bakaev A. G., Gordienko A. I., Markevich M. I. Magnitorezonansnaja diagnostika radiopogloshhajushhih kompozicionnyh materialov / [Magnetic resonance diagnostics of radar absorbing composite materials]. *Polimernye materialy i tehnologii = Polymer materials and technologies*, 2015, no. 1, vol. 1, pp. 71–75.
9. Markevich M. I., Zhigulin D. V., Zhuravleva V. I., Stel'mah V. F. Vozdejstvie impul'snogo lazernogo izlucheniya na bazal'tovuju tkan' [The effect of pulsed laser radiation on basalt tissue]. *Polimernye materialy i tehnologii = Polymer materials and technologies*, 2018, no. 3, vol. 4, pp. 51–56.