

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗМЕРА И ФОРМЫ НАНОДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ ГРАФИТА НА ЭЛЕКТРИЧЕСКУЮ ПРОВОДИМОСТЬ И ТЕРМОСТОЙКОСТЬ УГЛЕРОДНЫХ ПОКРЫТИЙ

Прокофьев М.В.<sup>1\*</sup>, Журавлев С.Ю.<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup> *Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет), МАИ, Волоколамское шоссе, 4, Москва, А-80, ГСП-3, 125993, Россия*

<sup>2</sup> *Научно-производственное предприятие «РадиоСтрим», Волоколамское шоссе, 4, Москва, 125080, Россия*

\* *e-mail: mikepro1953@rambler.ru*

\*\* *e-mail: osan193@yandex.ru*

---

Выполнены исследования свойств покрытий из химически активированных графитов на базальтовых и кварцевых волокнах. Методами рентгеноструктурного анализа и лазерной дифракции определены характеристики исходных графитовых паст и установлено, что размеры частиц графита и параметры их анизотропии оказывают определяющее влияние на возможность формирования устойчивых к термическим ударам радиопоглощающих материалов (РПМ). Объемные РПМ с такими свойствами могут использоваться в авиационной и космической технике.

*Ключевые слова:* химические активированные графиты, термостойкие покрытия на минеральных волокнах.

---

### Введение

Настоящее исследование относится к разработке современных объемных РПМ с композиционной волокнистой структурой. Эти РПМ устойчивы в условиях вакуума и радиационных воздействий, они могут быть использованы в качестве покрытий, устойчивых к термическим ударам или воздействиям электромагнитных излучений высокой мощности для защиты и обеспечения электромагнитной совместимости электронного оборудования в авиационной космической технике.

При воздействии источников электромагнитных излучений большой мощности резистивные или ферромагнитные частицы и волокна нагреваются. В результате на границе раздела радиопоглощающих частиц с объемной волокнистой матрицей возникают значительные термические напряжения, что приводит к частичному или полному разрушению материала. В качестве возможного альтернативного углеродным покрытиям варианта были рассмотрены металлизированные покрытия, полученные вакуумным распылением на тканях. Нити радиопоглощающего покрытия могут быть выполнены из стекловолокна или из арамидных волокон. Рассматривались образцы с радиопоглощающим покрытием, полученные способом вакуумного магнетронного распыления металлической (нержавеющая

сталь) и ферромагнитной мишеней. Такие структуры обладают, с одной стороны, хорошими свойствами поглощения радиоизлучений, с другой — возможностью передачи тепловой энергии, выделяемой поглощающим слоем, волокнам. Однако технология магнетронного (и других видов) распыления металлов и углерода в вакууме на ткани не позволяет обеспечить объемную равномерность покрытия на отдельные волокна. Покрытие располагается преимущественно на поверхности ткани. При распылении тонким слоем резистивный материал в «теневых» частях вообще не ложится на подложку, волокна имеют участки без покрытия. В результате термического удара при импульсном нагреве резистивного слоя связь между резистивными моноволокнами в ткани будет нарушаться, особенно в местах внедрения частиц ферромагнитного материала, что приведет к деградации свойств материала в целом. Нами были исследованы образцы металлизированной ткани «метакрон» путем погружения в жидкий азот. Свойства ткани необратимо ухудшаются в результате отслаивания покрытия от поверхности ткани. Результат действия термических напряжений на микроструктуру композиционного материала с покрытием из нержавеющей стали можно видеть на рис. 1.

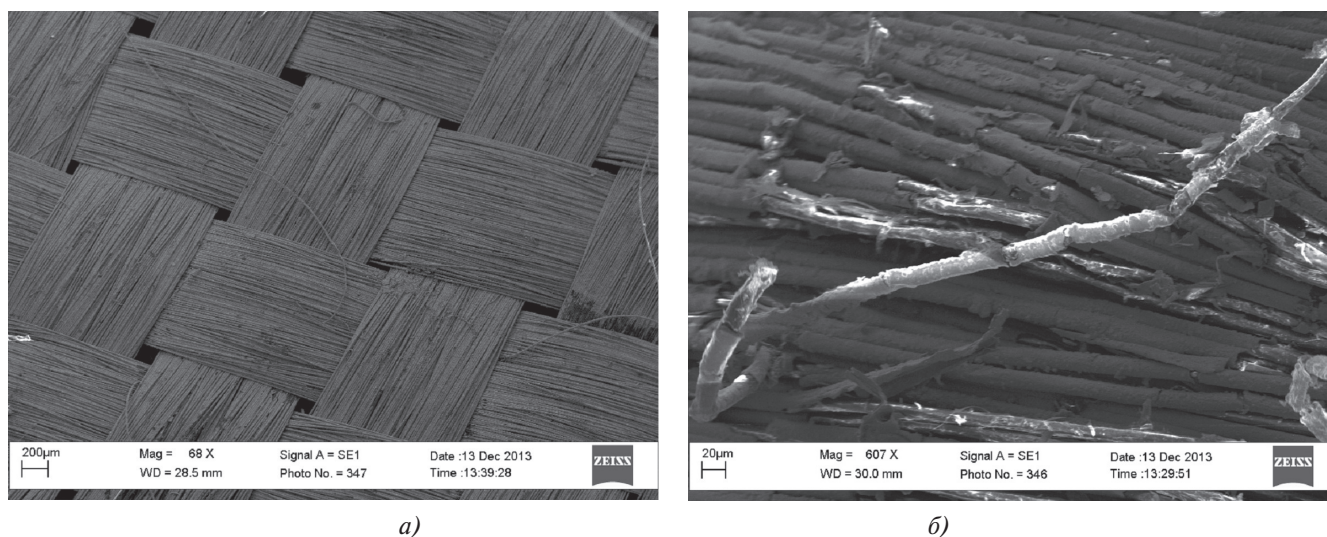


Рис. 1. Металлизированное стекловолокно 15 мкм, покрытое нержавеющей сталью, до (а) и после (б) контрастных термических испытаний. SEM EVO-40 (Zeiss)

Деградация радиопоглощающих материалов также может быть вызвана выгоранием связующего (компонент матрицы) или самого радиопоглощающего дисперсного материала. Это наблюдается в том случае, если передаваемая от электромагнитного излучения энергия вызывает нагрев радиопоглощающих компонентов материала до критических температур разрушения. Частично эти проблемы решаются путём использования в качестве основы для композиционных РПМ минеральных ультратонких волокон. За счет малой толщины волокна термические напряжения в покрытии могут быть незначительными. Однако получение электропроводных покрытий с заданными резистивными или магнитными свойствами на ультратонких волокнах представляет собой непростую задачу как технологически, так и в связи с высоким коэффициентом отражения. РПМ для безэховых камер, маскировочные материалы для военной техники и др. оказываются неприменимы для защиты от электромагнитных излучений высокой мощности. Кроме того, к числу основных требований, предъявляемых к авиационным материалам, относятся высокие удельные характеристики и малые габаритные размеры поглотителей.

С точки зрения размерного фактора для этих целей наиболее перспективно использование нанотрубок. В [1] показано, что использование в качестве поглотителя углеродных кольцеобразных и/или спиралеобразных углеродных наноразмерных форм наполнителя позволяет значительно снизить отражательную способность летательных аппаратов в широком диапазоне электромагнитных излучений и погасить побочные электромагнитные излучения электронной аппаратуры. В [1] сравнивается эффективность частиц различной формы с точки зрения

возможности достижения низкого коэффициента отражения. Сравнительные результаты снижения уровня электромагнитных отражений при покрытии токопроводящей поверхности слоем в 0,1—0,3 мм (при покрытии пульверизацией за два раза) приведены в табл. 1.

Для обеспечения высокой термостойкости покрытий графит наносился на поверхность волокнистых материалов путем пропитки в коллоидных растворах, активированных кислотным способом. Частицы активированных графитов имеют планарную структуру с высоким соотношением условного диаметра в плоскости к толщине. При правильном выборе диаметра волокон и размеров графитовых частиц плоские тонкие частицы способны принимать форму подложки. Для обеспечения высокой адгезии графитовых пленок к минеральным ультратонким волокнам использовали графиты, активированные после влажного помола в смеси серной и азотной кислот. В качестве подложки использовали картон из тонкого базальтового волокна с диаметром волокон 4—9 мкм.

Окисление дисперсных форм графита в кислой среде обеспечивает специфическую химическую ак-

Таблица 1

Коэффициент электромагнитных отражений  $K_{отр}$  (относительный)

Форма частиц поглотителя электромагнитных излучений	Размеры частиц поглотителя, мм		
	0,1	0,01	0,0001
Без покрытия	1	1	1
Гранулы С	0,7	0,5	-
Иглы С	-	0,4	0,1
Нанотрубки С	-	-	0,002

тивацию частиц графита и необычные свойства изделий из химически активированного графита (ХАГ). Получение ХАГ включает следующие технологические операции: 1) измельчение графита высокой чистоты в вибрационной мельнице, 2) его окисление в смеси концентрированных растворов серной и азотной кислот в соотношении 3:1 до образования межслоевых соединений графита, 3) гидролиз и промывку осадка на фильтре. После окисления графита кислотами и отмывки водой получают химически активированные графитовые пасты, пригодные для разведения в водных и спиртовых растворителях и получения длительно (месяцы) устойчивых (коллоидных) дисперсий. В настоящее время изготовлены покрытия на различных пленочных, волокнистых и объемно-пористых диэлектрических материалах: лавсане, полиимиде, бумаге, картоне, стеклоткани, поролоне и т.д. [2–4].

Несмотря на многолетние исследования ХАГ, до настоящего времени не изучены вопросы влияния анизотропных свойств графита в процессе формирования покрытий. Известно, что покрытия, полученные из коллоидно-графитовых (КГ) дисперсий, состоят из частиц углерода размером 50–1000 нм и чувствительны как к способу получения КГ-дисперсий, так и к условиям формирования покрытия [3–5]. В частности, на термостойкость и электрическую проводимость покрытий оказывают влияние размеры частиц, наличие функциональных групп на их поверхности, условия нанесения ХАГ на поверхность подложки, температурный режим сушки и термообработки покрытия. Кроме того, свойства покрытий зависят от состояния поверхности подложки: химической природы, шероховатости, пористости и др.

В статье исследованы структурные характеристики ХАГ и покрытий из них на минеральных волокнах. С использованием различных способов формирования электропроводящих покрытий из водных и спиртовых дисперсий коллоидно-графитовых частиц определены электрофизические характеристики и термостойкость покрытий на базальтовых и стеклянных волокнах. Базальтовые волокна оказались предпочтительными вследствие кислотного характера активации графита, что снижает адгезию к кварцу.

### Экспериментальные исследования

Для проведения исследований ХАГ получали по известной методике [6, 7]. Окисленный графит после отмывки приобретает свойства образовывать коллоидные системы, которые можно характеризовать достаточной для практической работы устойчивостью. Стабилизация частиц графита осуществ-

ляется за счёт функциональных групп  $-OH$ ,  $-CH=O$ ,  $-COOH$ , образующихся на поверхности частиц окисленного графита. Удельная поверхность (измерения по поглощению света в канале фотоэлектроколориметра — ФЭК) частиц графита в дисперсии составляла не менее  $1000 \text{ м}^2/\text{г}$ .

Осаждение коллоидных частиц графита осуществляли путём погружения в коллоидную дисперсию. После пропитки материалов в коллоидной дисперсии образцы высушивали до образования устойчивого покрытия. В качестве подложки использовался картон из тонкого базальтового волокна с диаметром волокон 4–9 мкм. Для удаления органической связки в картоне перед пропиткой его прокаливали при температуре  $400\text{--}450^\circ\text{C}$ .

Исследование микроструктуры графитового покрытия производили при помощи электронного микроскопа EVO-40 (Karl-Zeiss).

Рентгеноструктурные характеристики материалов исследовались на аппарате для структурного анализа ALR X'TRA (Thermo-Fisher Scientific, Швейцария). Параметры съемки « $\Theta - \Theta$ », способ регистрации излучения ( $\text{CuK}_\alpha$ ), полупроводниковый детектор Si(Li). Выполнение рентгенофазового анализа обеспечивается базой данных эталонных рентгенограмм ICDD PDF-2 (2010 г.). Съемка рентгенограмм производилась при максимальном радиусе гониометра 520 мм. Режим съемки 20 мА, 40 кВ. Коллимационные щели 2 и 1 мм. Щели на детекторе 1,0 мм и 0,5 мм. Разрешение 0,110 [2 $\theta$ ]. Шаговый способ движения счетчика («по точкам») с временем набора в точке 1 с. Обработку рентгенограмм, в частности обработку профиля линии и определение межплоскостного расстояния по максимуму и центру тяжести дифракционной линии, выполняли с помощью программного обеспечения WinXRD 2.0-8с. Условную толщину частиц рассчитывали из данных об уширении рентгеновской линии (002) графита с помощью программы SIROQUANT (расчетная модель Уоррена и Авербаха).

Для проведения исследований порошок исследуемой пробы, полученной осаждением толстым слоем с последующим измельчением, засыпали в стандартную кювету и прессовали с использованием струбцины. Толщина слоя графита в образцах, подготовленных таким способом, составляла не менее 0,5 мм, что существенно превышает глубину проникновения характеристического излучения медного анода в графитовый материал. Толщину покрытий на волокнах наращивали многократным окунанием в раствор и сушкой, после чего производили необходимую термообработку.

Планарные размеры частиц (условный диаметр) определялись методом оптической лазерной дифракции на анализаторе Fritsch Analysette22.



Коэффициент прохождения плоских образцов на подложке из базальтового картона толщиной 5 мм определяли на частоте 6,8 ГГц путем размещения между двумя симметричными рупорами, один из которых был подсоединен к генератору частоты, снабженному аттенуатором, другой — полупроводниковым детектором падающей волны. Для выявления устойчивости покрытия к перепадам температур покрытие резко охлаждали путем переноса из печи с температурой 120–130°C и резкого погружения материала в открытую ванну с жидким азотом. Для определения устойчивости покрытия при нагреве выполняли термообработку материала в печи на воздухе при температуре 350°C в течение четырех часов. Радиофизические параметры определяли до и после термического удара и термообработки.

### Результаты исследования и их обсуждение

Для определения оптимальных условий химической активации порошков графита и получения

частиц с высоким соотношением диаметра частиц к толщине варьировали время предварительного размола, температуру и время окисления. Как видно из табл. 2, эти условия позволяют существенно изменять размеры частиц и степень их расслаивания.

Анализ дифрактограмм выявил наличие всего одного или двух диффузных максимумов, которые можно отнести к линиям графита (002) и (004) (рис. 3). Уширение рентгеновской линии (002) с определенной долей погрешности можно считать следствием измельчения блоков когерентного рассеяния графита. Слабые линии (вторая, слабая асимметричная линия), присутствующие на дифрактограммах, не позволяют разделить вклад дисперсности и микронапряжений в уширение линий из-за малой интенсивности и наложения профилей линий с разными индексами Миллера. На рис. 2 видно, что, несмотря на специальные меры, обеспечивающие необходимую толщину графитового слоя и его плотность, профили рентгеновских ли-

Таблица 2

Данные рентгенографического анализа покрытий из ХАГ с различным временем окисления

Данные расчета дифрактограмм по программе профильного анализа					Сведения об образцах	
Время размола, час	Размер блоков рассеяния, нм	Рассчитанная удельная поверхность, м <sup>2</sup> /г	Центр тяжести, град 2 $\theta$ CuK $_{\alpha}$	Межплоскостное расстояние $d$ , нм	Степень графитации $g$	Температура окисления, °C
6	4,89	539	25,59	0,3481(2)	-0,48	90
6	4,92	537	25,60	0,3479(2)	-0,45	120
6	5,49	481	25,82	0,3451(2)	-0,12	150
3	7,2	367	25,77	0,3457(2)	-0,20	90
3	12,42	213	26,01	0,3426(1)	0,17	120
3	12,6	209	26,01	0,3426(1)	0,17	150

\* В скобках указана погрешность измерений.

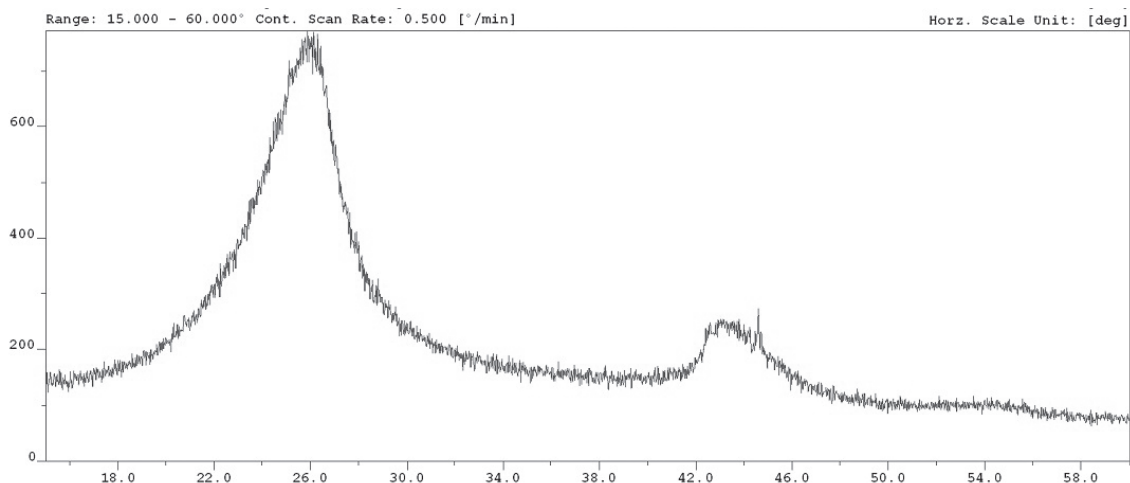


Рис. 2. Участок рентгенограммы активированного графита с размером частиц 5,4 нм, полученного осаждением из дисперсий толстым слоем. Шкалы на рисунке: ось абсцисс градусы 2  $\theta$  (CuK $_{\alpha}$ -излучение); ось ординат — интенсивность, импульс/с

ний не симметричны. Следовательно, искажение профиля рентгеновской линии связано с особенностью структурного состояния углеродных частиц графита.

Приведённый в табл. 2 параметр степени графитации  $g$  (трехмерного упорядочения) определялся согласно [6] по величине межплоскостного расстояния:

$$g = \frac{0,344 - c/2}{0,344 - 0,3354},$$

где 0,344 — межплоскостное расстояние вещества с полностью неупорядоченной структурой, нм; 0,3354 — межплоскостное расстояние графитового монокристалла, нм;  $c/2$  — межплоскостное расстояние исследуемого материала.

Из табл. 2 можно видеть, что в процессе обработки размеры блоков когерентного рассеяния графитовых препаратов и межплоскостное расстояние  $d_{(002)}$  параметра решетки, характеризующего межслоевое расстояние между плоскостями гексагональной сетки графита, уменьшаются. Это относится к рядам данных, полученных на образцах с различной методикой подготовки и использованным характеристическим излучением.

Межплоскостное расстояние  $d_{(002)}$  из табл. 2 в исследованных препаратах графита меньше, чем у графита с идеальной гексагональной структурой. В результате степень графитации материалов оказалась отрицательной. Микродефекты и микронапряжения в решетке, а также внедрение атомов в кристаллическую структуру графита приводят к увеличению межплоскостного расстояния и смещению линий в сторону уменьшения углов дифракции. Следовательно, обнаруженный в данном случае

эффект смещения линий можно объяснить только присутствием каких-либо посторонних фаз, например аморфной фазовой составляющей графитового материала, которая искажает профиль рентгеновской линии за счет изменения линии фона. Выяснилось, что у образцов с длительным временем обработки в вибрационной мельнице и минимальной температурой окисления линия фона изменяется больше, чем у остальных.

Для того чтобы характеризовать величину перекоса рентгеновской линии, находили разность скорости счета в начале и в конце углового интервала регистрации и рассчитывали отношение интенсивности к угловому интервалу регистрации (т.е. находили тангенс угла наклона линии фона в регистрируемом интервале углов).

Учет перекоса линии фона позволил объяснить отклонение рассчитываемого значения величины межплоскостного расстояния в сторону уменьшения по сравнению со структурой графита. Кроме того, считая количество аморфной фазы пропорциональным величине перекоса линии фона, можно предположить, что среднестатистическая величина межслоевого расстояния  $d_{(002)}$  уменьшается вследствие существенного снижения содержания аморфной части углерода, окисляющегося до СО или СО<sub>2</sub> в процессе активации графита.

Данные рентгеноструктурных исследований из табл. 2 подтверждают данные из [6], согласно которым в процессе высокотемпературной активации порошков графита происходит структурное уплотнение материала и частичное выгорание аморфной составляющей.

Исследования микроструктуры покрытий методом растровой электронной микроскопии (РЭМ) из

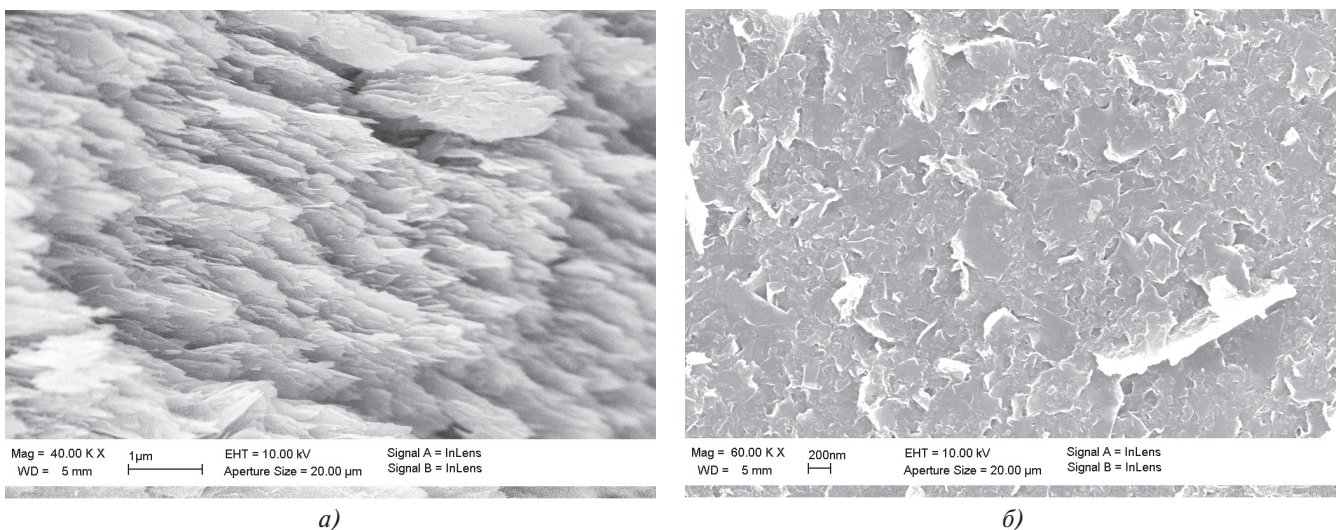


Рис. 3. Микрофотографии структуры покрытия из активированного химическим способом графита: *а* — торцевая часть после излома материала; *б* — покрытие на подложке. Фотографии предоставлены Кузнецовым А.М. (ЮЛСЭМ Интернешнл, г. Электроугли)

[5] показали, что пленки сформированы из агломератов углеродных частиц (чешуйчатые пластины) (см. рис. 3).

Диаграммы распределения количества частиц в зависимости от их планарных размеров приведены на рис. 4.

Известно, что предварительная термообработка графитовых покрытий приводит к уменьшению

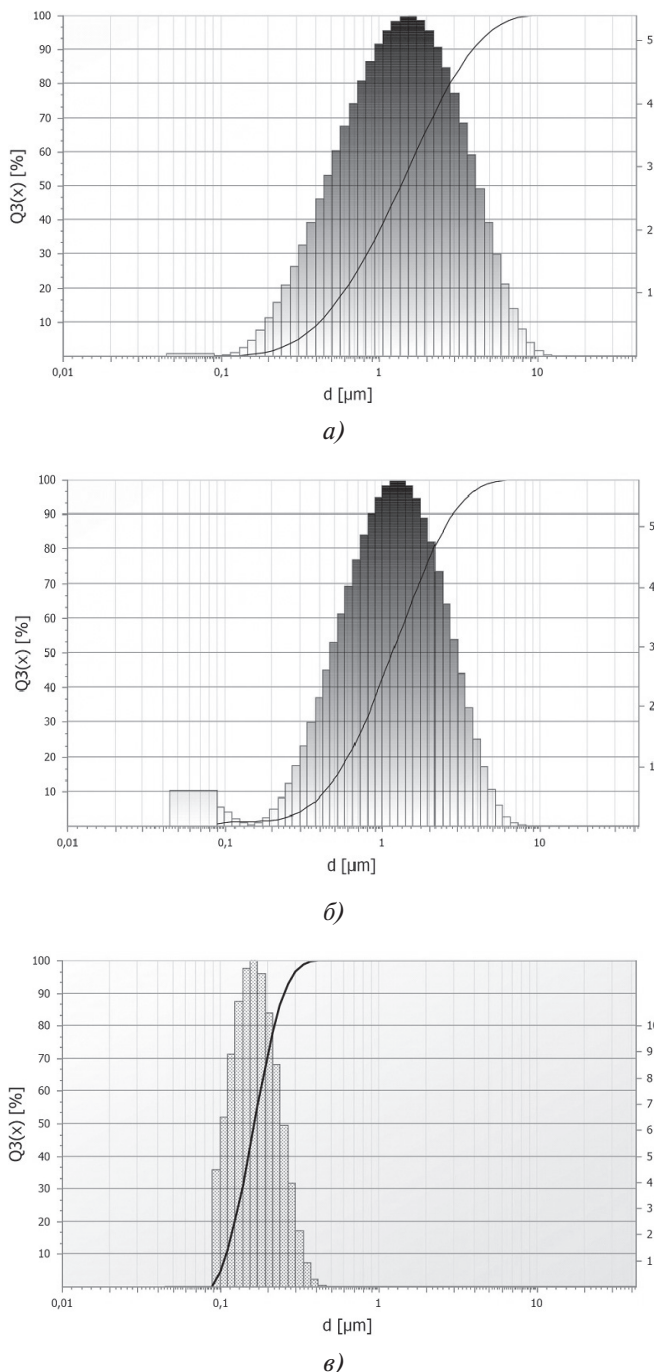


Рис. 4. Сведения о дисперсности. Fritsch Analysette22. Распределение количества частиц по массе: *a* — дисперсия с большим размером частиц плоской формы; *b* — дисперсия с размером частиц до 5  $\mu\text{m}$  плоской формы; *v* — дисперсия сажевого раствора с частицами округлой формы

их удельного электрического сопротивления [8]. Для поиска оптимальных параметров температуры отжига покрытий на волокнах и уменьшения электрического сопротивления электропроводящего покрытия при термообработке коллоидный раствор графита в воде наносили на калиброванное кварцевое стекло размером  $10 \times 20 \times 0,146$  мм. После сушки на воздухе при комнатной температуре полученное графитовое покрытие на стекле отжигали последовательно при различных температурах в течение трех часов при доступе воздуха. Согласно данным табл. 3 при повышении температуры отжига до  $420^\circ\text{C}$  электрическое сопротивление графитовых покрытий снижается. Одновременно наблюдается уменьшение толщины пленки, поэтому удельное электрическое сопротивление уменьшается еще значительнее — приблизительно в 2,5 раза. Понижение электрического сопротивления и удельного электрического сопротивления графитовых пленок при отжиге до  $420^\circ\text{C}$  можно объяснить уплотнением углеродной пленки за счет окисления (угара) аморфной части порошка и распада (удаления) термически нестойких кислородсодержащих функциональных групп на частицах графита, что подтверждается данными рентгенографического анализа покрытий до и после отжига. После вычитания фона и внесения поправок на толщину на рентгенограммах выявляется уменьшение диффузной линии в области углов  $23,5\text{--}24,5^\circ$   $2\Theta$  и (за счет этого) уменьшение полуширины линии в целом.

В табл. 4 приведены данные радиофизических измерений образцов базальтового картона, пропитанных растворами ХАГ, сажей и стабилизированной дисперсией вибромолотого графита.

Из таблицы видно, что покрытие с толщиной частиц 4–7  $\mu\text{m}$  и большими размерами углеродной частицы в слоевой плоскости оптимально по электрическим параметрам и удовлетворительно по термостойкости. При изготовлении радиопоглощающих покрытий с толщиной частиц углеродного материала менее 4 нм происходит ухудшение свойств радиопоглощающего покрытия, в частности уменьшение абсолютного значения коэффициента ослабления  $|(\mathcal{W})|$  ниже минимально приемлемого значения ( $-7$  дБ). С другой стороны, при изготовлении радиопоглощающих покрытий с толщиной частиц углеродного материала более 7 нм происходит ухудшение свойств термостойкости радиопоглощающего покрытия. При использовании сажевого раствора с малыми размерами частиц в слоевой плоскости резко ухудшаются электрофизические параметры и устойчивость к нагреву, абсолютное значение коэффициента ослабления  $|(\mathcal{W})|$  ста-



Таблица 3

Влияние температуры отжига на качество и электрофизические свойства графитовых пленок на стекле, полученных из раствора ХАГ

Температура отжига, °С	Угар после отжига, %	Толщина пленок, мкм	Электрическое сопротивление $R$ , Ом	Удельное электрическое сопротивление $\rho_v$ , мкОм-м
100	нет	14,6	18	1310
300	13	10,2	15	760
350	7	9,1	14	630
420	4	8,4	12	500
450	24	6,2	13	400

Таблица 4

Результаты испытаний свойств покрытий

Вид покрытия	Размер частиц в слоевой плоскости, нм	Толщина частиц, нм	Коэффициент ослабления $ (\mathcal{I}) $ на частоте 6,8 ГГц при толщине 5 мм, дБ		
			до термических испытаний	после выдержки 4 часа при 350 °С	после термоудара в жидкий азот
ХАГ	500...5000	4...7	-15,5	-16,2	-13,7
Графит вибромолотый	1000...3000	70...100	-3,2	-3,3	-1,3
ХАГ	400...3000	3,5...5	-7,7	-7,3	-7,5
ХАГ	400...3000	3,5...5	-14,8	-14,7	-14,4
Активированная сажа	80...300	7...20	-2,3	-1,4	-1,8

новится существенно ниже минимально приемлемого (-7 дБ).

### Выводы

Различные виды ХАГ имеют принципиальные морфологические и структурные различия, которые можно формализовать соотношением диаметра плоской частицы к её толщине. При осаждении частиц с высокой анизотропией — соотношением планарного размера к толщине — возможно получить устойчивые к термическим ударам покрытия.

### Библиографический список

1. Скубилин М.Д., Письменов А.В. Материал для поглощения электромагнитных излучений. Патент на полезную модель 00080959 (U1), МПК 6: G01R 1/18 G12B 17/00 // Бюл. № 6, 27.02.2009.
2. Горбатенко О.Н., Крахин О.И., Прокофьев М.В. Электрофизические свойства коллоидно-графитовых покрытий // Проектирование, конструирование и производство авиационной техники: Сборник статей / Под ред. Ю.Ю. Комарова. — М.: Изд-во МАИ, 2005. С. 183-189.
3. Bibikov S.B., Gorbatenko O.N., Prokof'ev M.V., Kulikovskij Ed.I., Kuznetsov A.M. Shielding, radioabsorbing and scattering materials for decreasing of disturbances and for enhance of efficiency of radar work // Third International Conference on «Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals», 18-22 September, 2006, Sevastopol, Ukraine, pp. 248-250.
4. Кузнецов А.М., Прокофьев М.В., Горшенёв В.Н. Электропроводящие покрытия на основе коллоидно-графитовых дисперсий // Третья международная конференция, «Углерод: фундаментальные проблемы науки, материаловедение, технология», 13-15 октября 2004, г. Москва, МГУ им. Ломоносова. С. 143-146.
5. Прокофьев М.В., Бибииков С.Б., Журавлев С.Ю. Термостойкое радиопоглощающее покрытие на минеральных волокнах. Патент 2 526 838 (С1) (RU), МПК 6: H05K 9/00 // Бюл. № 24, 27.08.2014.
6. Фиалков А.С. Углеродистые материалы. — М.: Энергия, 1979. — 320 с.
7. Топоров Т.Н., Фиалков А.С., Тимофеев Т.Н. Способ получения коллоидного графита. Авт. свид-во СССР № 332044. Бюл. № 23, 12.01.1968.
8. Прокофьев М.В., Смольникова О.Н., Бибииков С.Б., Кузнецов А.М. Влияние условий термообработки на структуру и свойства покрытий, полученных из коллоидно-графитовых дисперсий // Вестник Московского авиационного института. 2010. Т. 17. №2. С. 98-102.

# THE STUDY OF NANO-DISPERSED GRAPHITE PARTICLES SIZE AND SHAPE EFFECT ON ELECTRICAL CONDUCTANCE AND THERMAL RESISTANCE OF CARBONACEOUS COATING

Prokof'ev M.V.<sup>1\*</sup>, Zhuravlev S.Yu.<sup>2\*\*</sup>

<sup>1</sup> Moscow Aviation Institute (National Research University),  
MAI, 4, Volokolamskoe shosse, Moscow, A-80, GSP-3, 125993, Russia

<sup>2</sup> Scientific-production enterprise «Radiostrim»,  
4, Volokolamskoe shosse, Moscow, 125080, Russia

\* e-mail: mikepro1953@rambler.ru

\*\* e-mail: osan193@yandex.ru

## Abstract

This work is devoted to the study of activated graphite structural characteristics and coatings on mineral fibers. It considers metallized coatings obtained by fabric vacuum spraying-up as an alternative to carbon coatings, and examines their properties, advantages and disadvantages.

By the time variation of the preliminary grinding, temperature and oxidation time the optimal conditions of chemical activation of graphite powders and particles with high particle diameter to thickness ratio were determined. Physical characteristics and thermal resistance of coatings on basalt and glass fibers were determined using various techniques of colloid graphite particles aqueous and alcohol dispersions current-conducting material coatings. Basalt fibers over glass ones substantial advantages, such as adhesion reduction due to acid nature of graphite activation, were revealed herewith.

By X-ray structure analysis and laser diffraction technique, we determined the original graphite pastes characteristics and found that graphite particles sizes and anisotropy parameters had decisive impact on the possibility of thermal shockproof radar absorbent materials formation. The X-ray structure analysis data allows make the main conclusion confirming the well-known fact that in the process of graphite powder high temperature activation the structural compression of a material and partial burnout of amorphous component occurs. According to coatings microstructure study by scanning electronic microscopy we can conclude that the films are formed by carbon particles agglomeration (flaking plates).

The paper considers various types of chemically activated graphite, which have vital structural and morphological differences. They can be formalized by the relationship of a flat particle diameter to its thickness. The possibility of obtaining thermal shockproof coating by impaction of particles with high anisotropy, i. e. planar size to thickness ratio was revealed.

The volumetric radar absorbent carbon materials of a composite fiber texture studied in the paper, which are either thermal shockproof or stable to high power electromagnetic emission, can be implemented for protection and electromagnetic compatibility provision of airspace electronic equipment. Radar absorbent carbon materials are stable under conditions of vacuum and radioactive impacts.

**Keywords:** chemically activated graphite, shockproof coatings on mineral fibers.

## References

1. Skubilin M.D., Pis'menov A.V. *Patent RU 00080959 U1*, 27.02.2009.
2. Gorbatenko O.N., Krakhin O.I., Prokof'ev M.V. *Proektirovanie, konstruirovaniye i proizvodstvo aviatsionnoi tekhniki. Sbornik statei*, Moscow, MAI, 2005, pp. 183-189.
3. Bibikov S.B., Gorbatenko O.N., Prokof'ev M.V., Kulikovskij Ed.I., Kuznetsov A.M. Shielding, radioabsorbing and scattering materials for decreasing of disturbances and for enhance of efficiency of radar work. *Third International Conference on «Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals»* (18-22 September 2006), Ukraine, Sevastopol, pp. 248-250.
4. Kuznetsov A.M., Prokof'ev M.V., Gorshenev V.N. *Materialy III Mezhdunarodnoi konferentsii "Uglerod: fundamentalnye problemy nauki, materialovedenie, tekhnologiya"* (13-15 October 2004), Moscow, MGU im. Lomonosova, pp. 143-146.
5. Prokof'ev M. V., Bibikov S.B., Zhuravlev S.Yu. *Patent RU 2526838 C1*, 27.08.2014.
6. Fialkov A.S. *Uglegrafitovye materialy* (Carbon and graphite materials), Moscow, Energiya, 1979, 320 p.
7. Toporov T.N., Fialkov A.S., Timofeev T.N. Sposob polucheniya kolloidnogo grafita. *Avtorskoe svidetel'stvo SSSR №332044*, 12.01.1968.
8. Prokof'ev M.V., Smol'nikova O.N., Bibikov S.B., Kuznetsov A.M. *Vestnik Moskovskogo Aviatsionnogo instituta*, 2010, vol. 17, no. 2, pp. 98-102.