

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертационную работу Андриановой Натальи Николаевны «Физико-химические закономерности процессов высокодозного ионного модифицирования углеродных и композиционных материалов для обеспечения их функциональных свойств», представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы

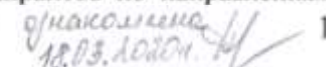
Актуальность темы. Ионно-плазменная модификация композиционных материалов не только способствует улучшению их функциональных свойств, но и может использоваться для анализа состояния поверхностного слоя материалов, а также для контроля технологических процессов. Торможение ионов в поверхностных слоях, сопровождающееся упругими и неупругими взаимодействиями с кристаллической решеткой обрабатываемого материала, приводит к значительным изменениям структуры. С помощью этого метода можно влиять на шероховатость поверхности, повышать ее коррозионную стойкость и износостойкость, а также изменять некоторые электрофизические свойства обрабатываемых материалов. Перспективным процессом является гофрирование некоторых волокон, позволяющее увеличить их удельную поверхность при сохранении прочности и упругости. Исходя из состояния вопроса в рассматриваемой области, актуальность темы диссертационной работы Н.Н. Андриановой не вызывает сомнений.

Научная новизна. В процессе выполнения диссертационного исследования автором изучено состояние поверхности углеродных материалов после его облучения ионами инертных газов при различных условиях. Результатом измерений стало выявление важных закономерностей процесса. Определены пороговые уровни первичных радиационных нарушений, измеряемые числом смещений на один атом, которые приводят к аморфизации графита, стеклоуглерода и углеродных композитов. Показано, что следствием микрорельефа, образующегося после облучения пиролитического графита ионами аргона при повышенных температурах, является повышение коэффициента распыления в два раза. Также установлено, что причиной появления гистерезиса температурной зависимости ионно-электронной эмиссии при облучении пирографита является глубинное изменение структуры (до 1 мкм), на порядок превышающее проективный пробег ионов. Обнаружена пороговая температура образования гофров, представляющая собой температуру динамического отжига радиационных нарушений, ниже которой желательная модификация поверхности невозможна. Показано, что углы наклона гофров и их доля на вершинной части облучаемого волокна зависят от вида ионов и их энергии. Этот факт указывает на возможность управления рельефом обрабатываемой поверхности варьированием режима облучения. Образование гофров объясняется релаксацией индуцированных облучением механических напряжений в оболочке волокна и пластической деформацией путем двойникования. Кроме того, обнаружена аморфизация поверхности углеродного волокна после облучения ионами аргона, неона и азота при температуре ниже характерной для динамического отжига радиационных нарушений. Эти и другие результаты обладают бесспорной научной новизной.

Достоверность полученных результатов. Результаты диссертации получены с помощью надежных измерительных средств и апробированных стандартных методик на современном калибруемом оборудовании. Основные выводы работы и защищаемые положения обоснованы применением независимых методов исследования, корректным применением физических моделей изучаемых процессов. Представленные автором материалы представляют собой достаточный массив экспериментальных измерений с надлежащей статистической обработкой и оценками погрешностей. Кроме того, достоверность данных и обоснованность выводов подтверждаются согласием с опубликованными результатами, полученными в сопоставимых условиях.

Практическая значимость работы. Результаты диссертационного исследования расширяют представления о возможностях технологий с использованием ионного облучения материалов. Полученные сведения могут служить основой создания технологических процессов модификации поверхности углеродных волокон для их использования в композиционных материалах. Разработаны методики оценки радиационной стойкости и пороговых уровней первичных радиационных нарушений. Определены режимы ионно-лучевой полировки оптических деталей из стеклокерамики пучком ионов аргона. Предложены способы изготовления и модифицирования углеродных тканей для армирования композитов. Новизна технических решений, разработанных при участии автора, подтверждена патентами Российской Федерации.

Научные положения диссертации учитываются при подготовке бакалавров различных направлений и могут быть распространены на обучение магистров и аспирантов по направлениям

с отзывом  
18.03.2010г. 

«Технологии материалов», а также при повышении квалификации преподавателей и специалистов, связанных с различными отраслями машиностроения.

Содержание. Представленная работа структурирована согласно сложившимся традициям. Критически проанализированы результаты исследований, касающихся структуры, свойств и применений углеродных волокон. Основное внимание уделено базовым процессам, протекающим на поверхности углеродных материалов при их ионном облучении, прежде всего, распылению и ионно-электронной эмиссии. Выявлены возможности мониторинга состояния поверхностного слоя путем измерения температурных зависимостей коэффициентов ионно-электронной эмиссии. Определена основная характеристика радиационного воздействия – уровень радиационных нарушений, измеряемый числом смещенных атомов.

Изложена методика проведения исследований и измерений. Обоснован выбор исследуемых композита и его волокон, дана характеристика объекту исследования. Описана схема экспериментальной установки для ионно-лучевой обработки и ее техническая характеристика. Представлены методы оценки параметров ионного облучения, исследования структуры и морфологии поверхности, а также методика испытаний прочностных свойств обработанных углеродных волокон.

Результаты экспериментальных исследований изложены подробно с надлежащей иллюстрацией в виде графиков, таблиц, оптических и электронных фотографий. Анализ полученных данных выполнен на достаточно высоком уровне, полученные выводы представляются достоверными и обоснованными.

#### Замечания по диссертации и автореферату

По содержанию и оформлению работы можно сделать ряд замечаний.

1. Положения, выносимые на защиту, не являются обобщенной формулировкой самых важных результатов, можно было показать более крупные фрагменты диссертационного исследования. Формулировки задач исследования под номерами 3 и 4 заметно пересекаются и могли быть объединены.

2. Ступенчатое увеличение хода температурной зависимости коэффициента ионно-электронной эмиссии в точке  $T_a$  на рисунке 3.18 не очевидно (страница 108 диссертации) и требует дополнительных пояснений, поскольку скачки экспериментальных точек на других участках кривой имеют такую же и даже большую величину.

3. Результат исследований в пункте 7 Заключения (страница 237 диссертация) сформулирован расплывчато. Особенности модификации одних материалов обуславливают особенности модификации других материалов.

4. Термин «немонотонные», применительно к кривым на рисунке 4.3 при 30 кэВ (страница 126 диссертации), не является общепризнанным. Скорее, кривые следует считать монотонно возрастающими с относительно коротким участком быстрого роста, который можно назвать ступенькой.

5. В разделе 6.6 измеряется средняя шероховатость  $Ra$ , но это не лучший параметр оценки оптического ситалла. Оптические свойства поверхности определяет среднеквадратичная шероховатость  $Rq$ .

Погрешности оформления:

6. В тексте диссертации и в автореферате слишком много сокращений (аббревиатур), также встречается замена названий физических величин их символами, либо, наоборот, одновременное употребление и того, и другого, что затрудняет чтение текста. Более того, для обозначения числа смещений на атом, а также комнатной температуры используются два варианта сокращений на русском и английском языках. Многие результаты измерений приводятся на графиках без доверительных интервалов.

7. На странице 110 ошибочная ссылка на рис. 3.20 вместо рис. 3.19, где хорошо видны впадины, мало похожие на многоугольные, но при температуре 60 °С, которая вопреки тексту не является комнатной.

8. Подпись под рисунком 6.10, характеризующим потерю массы образца для расчета коэффициента распыления, неудачна и требует дополнительных пояснений в расшифровке продолжительности облучения и выдержке на воздухе.

Сделанные замечания не влияют на общее восприятие диссертационной работы и не снижают её общей высокой оценки.

### Заключение.

В целом диссертация Андриановой Н.Н. «Физико-химические закономерности процессов высокодозного ионного модифицирования углеродных и композиционных материалов для обеспечения их функциональных свойств» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технические и технологические решения по режимам ионно-лучевой полировки оптических деталей из стеклокерамики. В работе предложены способы модифицирования высокомодульных углеродных волокнистых наполнителей композитов, включая углеродные ткани, с использованием высокопроизводительных плазменных ускорителей. Автором разработаны методики оценки радиационной стойкости и пороговых уровней первичных радиационных нарушений, приводящих к образованию новых поверхностных структур при ионном облучении углеродных и композиционных материалов, в том числе, проявляющих низковольтные автоэмиссионные свойства наностеночных структур стеклоглерода и высокоориентированного пирографита. Постановка задач исследования, методика их реализации, полученные результаты изложены с достаточной степенью подробности. Качество оформления в целом соответствует требованиям к материалам, предназначенным для публикации в научной печати. Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, прошли апробацию на международных и всероссийских научных конференциях и форумах, опубликованы в рецензируемых научных журналах. Автором получены два патента Российской Федерации. Результаты диссертационной работы могут быть использованы в научно-исследовательских учреждениях, университетах, средних специальных учебных заведениях и в проектных институтах, связанных с машиностроением, приборостроением и другими отраслями. Автореферат и опубликованные работы полностью отражают содержание диссертации.

По научному уровню, полученным результатам, содержанию и оформлению представленная диссертационная работа удовлетворяет всем требованиям п.п. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденном Постановлением правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Андрианова Наталья Николаевна заслуживает присуждения ей ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы.

Официальный оппонент:

профессор, доктор технических наук, профессор кафедры общей и теоретической физики Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Костромской государственной университет»,

Адрес: 156005, Кострома, ул. Дзержинского, 17, Костромской государственной университет.

Телефон: +7 (4942) 49-80-00, e-mail: [belkinp@yandex.ru](mailto:belkinp@yandex.ru)



Белкин Павел Николаевич

16.03.2020.

Подпись Белкина Павла Николаевича удостоверяю:

Подпись руки \_\_\_\_\_  
заверяю  
Начальник канцелярии  
Н.В. Кузнецова \_\_\_\_\_

