

Отзыв

официального оппонента на диссертационную работу
Князева Кирилла Андреевича
на тему: «ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ
КАРБОНИТРИДОКРЕМНИЕВЫХ ВОЛОКОН», представленную на соискание
учёной степени кандидата технических наук по специальности: 2.6.7 –
Технология неорганических веществ

Актуальность темы выполненной работы

Ракетно-космическая отрасль играет важную роль в научно-техническом развитии страны и является одним из основных источников роста высокотехнологичной и конкурентно способной на мировом уровне отечественной экономики. Традиционное использование авиационной техники связано как с обеспечением обороной безопасности страны, так и с решением логистических задач организации грузовых и пассажирских потоков по обширной территории Российской Федерации. В связи с этим проблемы, возникающие при создании новой авиационной техники, имеют для страны первостепенное значение.

Повышение требований к современной и перспективной авиационной техники, работающей в условиях сверхвысоких температур и действия эррозионных и окислительных сред, требует создания новых технологий волокнисто-армированных композиционных материалов с высоким уровнем и надежностью эксплуатационных характеристик.

Нерешённой проблемой технологии высокотемпературных композитов к настоящему времени является отсутствие эффективных и относительно дешевых способов формования неорганических волокон для многомерных армирующих каркасов. Традиционными технологиями, основанными на переработке при высоких температурах органических полимеров, эта проблема решена для углеродных волокон, применение которых, к сожалению, ограничиваются их низкой термоокислительной устойчивостью.

Температура эксплуатации в воздушных средах неорганических материалов (карбидов, нитридов, боридов и силицидов) может достигать 3000°C, однако, технологические проблемы затрудняют их применение в технологиях формования на их основе тонких волокон в текстильных технологиях интегральных волокнистых преформ для композиционных материалов с металлическими или керамическими матрицами.

На основе анализа публикаций в отечественной и зарубежной литературе, а также собственного опыта работ в данном научном направлении, выбранная автором тема кандидатской диссертации **«Технологические основы формирования карбонитридокремниевых волокон»** в целом

представляющая собой комплексное исследование, крайне актуальна для развития научного направления «Технология неорганических материалов» и своевременна, с прикладной точки зрения, поскольку находится на острие постоянно возникающих и решаемых проблем при разработке новых изделий из сверхвысокотемпературных композиционных материалов для различных отраслей отечественной промышленности.

Цели и задачи сформулированы чётко и позволяют оценить её научную и практическую значимость, целесообразность, объем и содержание исследований.

Новизна исследований и практическая значимость полученных результатов, выводов и рекомендаций работы, несомненно, важна для материаловедов и технологов, так как фактически впервые автором разработаны научно-методические принципы технологии формования непрерывных карбонитридокремниевых волокон для многомерных армирующих каркасов пиролизом олигоорганосилазанов. При этом автором разработано оборудование для формования волокон из элементоорганических олигомеров и их последующего отверждения, выполнено моделирование стадии реологического течения расплава олигомера в фильере, что позволило ему практически реализовать условия формирования волокна с требуемыми геометрическими размерами поперечного сечения в пространстве до узла приема и его намотки на катушку. Для сохранения формы и размеров волокна при его пиролизе и превращения исходной органической полимерной природы в неорганическую, автором впервые проведены комплексные исследования процесса отверждения олигоорганосилазанов в воздушной среде и облучения потоком электронов в инертной среде. Им предложен механизм радиационно-химического отверждения олигоорганосилазанов и проведен научно-обоснованный выбор электронно-лучевого отверждения олигомерных волокон, обеспечивающий минимальное содержание кислорода после их отверждении и формирование при пиролизе неорганической структуры волокон со стехиометрическим соотношением атомов кремния, углерода и азота, высокими и стабильными показателями механических свойств при повышенных температурах в воздушной среде.

Практическая реализация экспериментальных исследований формообразования неорганических волокон подтверждена разработкой документации: ТУ 3 20.6013-815-56897835, ТП № 932.02100.09525 и внедрением в АО «Композит»: акт внедрения № 02421-24/14-2 от 01.02.2024 года.

Степень обоснованности и достоверность полученных в работе результатов исследований обеспечивается использованием современных расчетно-аналитических методов, вычислительных экспериментов с применением программных комплексов SOLIDWORKS Flow Simulfition,

статистической обработкой результатов механических испытаний волокон и многочисленными лабораторными испытаниями на современных аттестованных приборах и оборудовании в АО «Композит».

Личное участие автора в постановке работы, планирование эксперимента, практическом участии в его выполнении и анализа результатов исследований, что подтверждается публикациями и его выступлениями на отечественных и зарубежных конференциях.

Оценка структуры, содержания и завершенности работы в целом.

Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы из 114 наименований. Материал работы изложен на 135 страницах, включает 69 рисунков, 12 таблиц.

Из анализа материалов следует, что представленная на отзыв работа носит комплексный и системный характер.

Во введении представлена общая структура работы, обоснование актуальности выбранной темы, сформулированы цель и задачи.

В первой главе состоящей из пяти разделов, автор провёл детальный анализ состояния и существа вопроса по литературным данным, включающий материалы по способам формирования керамических карбонитридокремниевых волокон на основе различных неорганических полимерных прекурсоров и математическому моделированию, описывающему расплавленное формообразование олигомерных волокон под действием сил тяжести в свободной воздушной среде с контролируемой температурой после их выхода из фильеры. Это позволило ему предложить наиболее оптимальные пути решения проблемы получения высокотемпературных неорганических волокон со стехиометрическим составом атомов кремния, углерода и азота, практическим отсутствием в них атомов кислорода, высокими и стабильными показателями механических свойств созданных волокон при повышенных температурах в воздушной среде для металлических композитов на их основе для «горячих» элементов конструкций авиационной и ракетно-космической техники. Представленный в главе материал имеет большое учебно-методическое значение для современной системы подготовки магистров и инженеров по специальности: 2.6.7-«Технология неорганических веществ, а также целому ряду смежных специальностей и повышения квалификации инженерных кадров.

Вторая глава содержит данные об исходных объектах исследования - олигоорганосилазанах, приборах, методах исследования и обработки результатов, оборудования, используемое при формировании карбонитридокремниевых волокон.

Третья глава посвящена разработке расчетно-аналитической методики и моделированию процесса расплавленного формования олигомерных волокон, позволившие автору разработать и практически реализовать требования к

поверхностной энергии исходных олигомерных неорганических прекурсоров, тепловому режиму и протяженности участка остывания расплавленных волокон после их выхода из фильеры, обеспечивающей требуемую вытяжку волокон под действием собственных сил тяжести волокна. Моделирование процесса расплавного формообразования олигомерных элементоорганических волокон позволило автору сократить число экспериментов по рациональному выбору параметров технологического процесса: температуры, скорости и времени вытяжки на разработанной им и практически изготовленной установке.

Четвертая глава объединяет выполненные автором разработки технологического оборудования и отработки рациональных параметров расплавно-фильерного формования олигомерных волокон, экспериментальному исследованию и выбору условий их отверждения на воздухе и электронно-лучевым способом, что в совокупности позволило автору изготовить методом твердофазного пиролиза размеростабильные неорганические волокна.

Проведённые **в пятой главе** экспериментальные исследования элементного состава неорганических волокон показали стехиометрический состав, включающий атомы кремния, углерода, азота и практическое отсутствие атомов кислорода, что позволило автору при изучении механических свойств разработанных неорганических волокон добиться их высоких показателей при повышенных температурах в воздушной среде, подтвержденных статистической обработкой полученных результатов и тем самым доказать выполнение поставленной в работе цели и задач.

Автором сформулированы выводы, логически вытекающие из результатов исследований и позволяющие оценить научную и практическую значимости работы.

Замечания по работе:

1. Автором не обосновано включен в перечень объектов исследования модифицированные атомами металлов олигоорганосилазаны.
2. Автором часто используется для описания процессов расплавно-фильерного формования термин полиорганосилазан вместо их олигомерного аналога.
3. Автором не удачно выбран метод контроля степени отверждения олигоорганосилазанов с использованием вакуумного метода на воронке Бюхнера. Более точным является метод экстракции в растворителях с использованием аппарата Сокслета.
4. В работе практически не исследована фазовая структура неорганического волокна со стехиометрическим соотношением атомов кремния, углерода и азота.
5. При расчете результатов прочностных испытаний автором использована площадь волокна, рассчитанная исходя из его исходной цилиндрической геометрической формы. Однако приведенные фотографии

(Рис.64) топографии сечения хрупкого разрушения волокна показывают не гладкую, а рельефную форму,

6. Автором приведены результаты механических испытаний неорганических волокон на небольшой партии (Рис. 67-68), что является недостаточным для выбранного метода испытаний, не позволяющего оценить точность приведенных значений прочности волокон и оценить их среднюю прочность и стандартное отклонение с использованием распределения Вейбулла.

7. В выводах автора отсутствуют выводы по механизму и результаты исследования процессов электронно-лучевого отверждения олигоорганосилазановых волокон, представленных в четвертой главе диссертации.

Сделанные замечания не затрагивают существа диссертации, не снижают научной новизны, практической ценности, достоверности ее положений, выводов и общей высокой оценки работы.

Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертационной работы. Актуальность выбранной темы и полученные результаты работы определяет необходимость ее внедрения на предприятия оборонных и гражданских отраслей, поскольку одним из эффективных путей повышения качества и снижения себестоимости продукции является повышение и надежность эксплуатационных свойств технической продукции на основе высокотемпературных и multifunctional металлокомпозитных материалов, армированных неорганическими волокнами, изготавливаемыми экологически чистыми технологиями переработки полимерных элементоорганических прекурсоров.

Содержание автореферата полностью соответствует основным положениям диссертации и совместно с опубликованными работами в полной мере отражает ее содержание.

Заключение

В целом диссертация Князева Кирилла Андреевича на тему: «Технологические основы формирования карбонитридокремниевых волокон», является законченной научной квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований изложены научно-обоснованные технические и технологические решения, внедрения которых вносит значительный вклад в развитие отечественной экономики. По объёму экспериментального и теоретического материала, новизне и практической значимости, и достоверности полученных результатов работа отвечает всем требованиям пунктов 9-14 «Положения о порядке присуждения учёных степеней», утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 (в действующей редакции), предъявляемым к кандидатским диссертациям и соответствует паспорту выбранной

специальности 2.6.7 – Технология неорганических веществ по следующим пунктам:

6. Свойства сырья и материалов, закономерности технологических процессов для разработки, технологических расчетов, проектирования и управления химико-технологическими процессами и производствами.

7. Моделирование и оптимизация технологических процессов первичной обработки сырья, организации производства и изготовления материалов и изделий на основе цифрового прогнозирования, математических методов, системного анализа и информационных технологий применительно к производственным процессам получения неорганических продуктов.

8. Разработка теоретических основ и установление общих закономерностей проектирования и технологий изготовления неорганических материалов.

9. Разработка оптимальных структур и конструкций, а также инновационных технологий изготовления материалов с заданными потребительскими и технико-экономическими показателями для обеспечения снижения затрат на организацию их производства и повышение качества продукции.

Автор диссертационной работы Князев Кирилл Андреевич является высококвалифицированным специалистом и заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.7 – Технология неорганических веществ.

Бухаров Сергей Викторович, доктор
технических наук 05.16.09- «Материаловедение
(машиностроение), профессор, профессор
кафедры «ТКМКиМ» ФГБОУ ВО
«Московский авиационный институт
(национальный университет)» (МАИ),
125993, г. Москва, Волоколамское шоссе, д.4,
+79254695232, bukharovsv@mail.ru



(подпись)

Подпись Бухарова С.В., заверяю:

ВЕРНО

НАЧАЛЬНИК ОТДЕЛА КАДРОВ
ДЕЛОПРОИЗВОДСТВА РАБОТНИКОВ
НОСОВ С.В.

«29» апреля 2022г.


