

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Вилкова Федора Евгеньевича «Разработка композитного радиационно-защитного покрытия для радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 - Порошковая металлургия и композиционные материалы

Актуальность темы исследования

Многозадачность космических аппаратов, миниатюризация бортовой электроники, увеличение срока активного существования космических аппаратов предъявляют ряд высоких требований к обеспечению стойкости бортовой аппаратуры к воздействию ионизирующих излучений космического пространства. Одним из эффективных методов ослабления радиационного излучения, является применения защитных экранов, из материалов значительно ослабляющих ионизирующие излучения.

Основные разработки в данной области ведутся, в основном, в исследовании новых сплавов, легированных элементами с высоким атомным номером, а также в исследовании композиций, в составе которых используются органические соединения. И те и другие способы имеют достаточно много преимуществ в сравнении с традиционно используемыми алюминиевыми сплавами, но при этом не лишены и недостатков. Например, легирование алюминиевых сплавов элементами с высоким Z не решает проблемы ослабления тормозного излучения, а при некоторых случаях усугубляет. Применение в качестве связующих высокомолекулярных соединений на низких околоземных орбитах неоправданно ввиду высокой эрозии данных соединений при воздействии низкоорбитального атомарного кислорода.

В связи с вышеизложенным, возрастает потребность получения материалов с улучшенными радиационно-защитными и эксплуатационными свойствами, что требует поиска новых сочетаний связующих матриц и

порошков-наполнителей.

Стратегическим направлением в разработке перспективных методов ослабления космического излучения является применение многослойных защитных материалов, в которых при совокупности слоев с разным атомным номером проявляется анизотропия свойств, связанная с ослаблением потока ионизирующих излучений в нормальном направлении по отношению к плоскости слоев. Высокую стойкость к воздействию атомарного кислорода имеют неорганические соединения, содержащие в своей структуре SiO, являющимся по своей природе нелетучим оксидом. При взаимодействии атомарного кислорода с SiO образуется пленка, препятствующая дальнейшему проникновению атомарного кислорода внутрь материала.

В этой связи, диссертационная работа Вилкова Ф.Е. чрезвычайно **актуальна**, поскольку в ней исследовано и апробировано применение в качестве радиационной защиты композитное покрытие на основе силиката щелочных металлов с чередующимися слоями, наполненными порошками вольфрама и нитрида бора.

Общая характеристика работы

С помощью применяемых в работе разнообразных методов исследования разработан состав нового композитного радиационно-защитного покрытия.

На основе исследования влияния наполнения порошками на прочность композита определена максимальная объемная доля наполнения, что особенно важно в части обеспечения высоких радиационно-защитных характеристик композита. Получены и проанализированы экспериментальные данные об изменяемой под воздействием высокодозового облучения микротвердости композита. Исследование влияния модификации связующего кремнефтористым натрием на водостойкость композитного покрытия. Выполнено исследование радиационно-защитных свойств разрабатываемого композита и показана перспективность его использования в качестве материала с высокими радиационно-защитными характеристиками. Методами рентгеноструктурного

анализа определен фазовый состав композита. С использованием стандартизированных методик даны оценки сдвиговой прочности и смачиваемости. Сделаны выводы о структурном состоянии исследуемого композита методом фрактального анализа при помощи электронной микроскопии, а также рентгенофлуоресцентного анализа. Проведенный анализ может быть полезен для проведения идентификации и диагностики структуры высоконаполненных жидкостекольных композитов.

Диссертация хорошо оформлена, имеется достаточное количество рецензируемых публикаций, полностью отражающих содержание работы.

Характеристика научной новизны

К новым наиболее научно значимым результатам работы можно отнести:

- исследование влияния объемной степени наполнения порошками вольфрама и гексагонального нитрида бора композитного покрытия на его механические свойства.
- исследование влияния модификации кремнефтористым натрием на водостойкость разрабатываемого композитного покрытия. Установлено, что наиболее водостойкие соединения образуются при введении 10-15 % Na_2SiF_6 от массы жидкого стекла, в присутствии, в пропорциональном соотношении, 2,5÷2,7 массовых частей порошка вольфрама к 1 массе жидкого стекла и 0,8÷1,0 массовых частей нитрида бора в пропорциональном соотношении к 1 массе жидкого стекла.
- исследование влияния рентгеновского излучения на микротвердость покрытия до поглощенной дозы 3 МГр. Установлено повышение микротвердости одновременно с повышением поглощенной дозы вследствие приповерхностного радиационного упрочнения.
- экспериментально подтвержден эффект получения композитных систем с высокими эксплуатационными характеристиками из модифицированного силиката натрия с наполнителями из порошков вольфрама и гексагонального нитрида бора.

Оценка практической значимости

Практическая значимость работы определяется тем, что полученные

результаты позволяют повышать радиационную стойкость бортовой аппаратуры космических аппаратов без значительного усложнения и удорожания её производства, расширить номенклатуру потенциально применимой электронной компонентной базы в аппаратуре космических аппаратов, повысить стойкость бортовой аппаратуры без значительного изменения её массо-габаритных характеристик. Полученные автором результаты были с успехом использованы в прикладном исследовании, проводимым на этапе 7 направления 1 опытно-конструкторской работы на тему: «Испытания защитных свойств опытных образцов защитных корпусов из сплавов АМц и АСВ-РЗ» АО «НИИ ТП».

Интересными для практического использования являются сведения о результатах проведения технологической отработки процесса получения композитного радиационно-защитного покрытия. Они окажутся полезными для анализа структуры высоконаполненных жидкостекольных композитов на производстве с целью выявления брака, улучшения существующих методик синтеза и модифицирования согласно установленным оптимальным параметрам технологического процесса синтеза, включающие высокую степень наполнения, максимальную прочность, а также водостойкость.

На основе выявленных закономерностей влияния состава на функциональные свойства покрытий разработан состав нового композитного радиационно-защитного покрытия. В едином комплексе исследованы и определены физико-химические и структурно-механические свойства радиационно-защитного композита на основе натриевого жидкого стекла, модифицированного кремнефтористым натрием и добавками-наполнителями с ультрадисперсным порошком вольфрама и гексагональным нитридом бора. Представленные в работе результаты могут быть полезны на предприятиях ракетно-космической техники в части повышения стойкости бортовой электроники к воздействию ионизирующих излучений космического пространства.

По результатам диссертационного исследования была изготовлена опытная партия радиационно-защитного композита для комплекта приборов модуля НЭМ

Международной космической станции (заказчик ЗАО «Орбита») и успешно прошла эксплуатационные испытания.

В целом, степень научной новизны и практическая значимость результатов работы автора не вызывают сомнений.

Результаты, полученные в работе, являются **достоверными**, что обусловлено использованием независимых взаимодополняющих методов исследования структуры и свойств, а также сопоставлением результатов с научно-техническими публикациями других авторов.

Замечания по диссертации и автореферату.

1. При исследовании радиационной стойкости композита показано изменение микротвердости при увеличении дозы облучения. Автором высказано предположение, что увеличение микротвердости вызвано радиационной полимеризацией жидкостекольного связующего. Однако, данное изменение может также характеризоваться незавершившимся процессом твердения связующего, в котором максимальная твердость достигается по истечении нескольких месяцев с момента синтеза. Вместе с тем, следует отметить, что радиационное упрочнение приповерхностных областей действительно происходит при высокодозном воздействии, однако используемая автором методика фрактографического анализа дефектообразования в изломе, а так же измерение микротвердости до и после облучения, не дают всей полноты понимания происходящих процессов в композите при радиационном облучении.

2. Вызывает сомнение полнота раскрытия метода фрактального анализа в качестве оценки структуры разрабатываемого композита. Автором произведен расчет числа контактов частиц наполнителей N_u с веществом связующей матрицы. Получившиеся величины N_u далее нигде не используются, расчет объемной доли наполнения производится эмпирически, методом определения максимальной прочности на сжатие в зависимости от объемной доли наполнения порошками, а зависимость расчетного числа контактов N_u и прочности на сжатие не показана.

3. При анализе ослабления ионизирующего излучения многослойными материалами автор совершенно справедливо полагает, что наибольшее ослабление достигается при комбинации материалов с разными атомными номерами, обеспечивающих более эффективную защиту в сравнении с монослойными экранами. Однако, неясно как сказалась толщина конкретного слоя (с наполнителями вольфрамом или нитридом бора) на ослабление ионизирующего излучения в исследовании, проведенном в НИЯУ МИФИ (глава 4), показаны только зависимости ослабления излучения от поворота образца относительно нормали падающего излучения, а зависимости ослабления излучения от толщины слоев в композите, а также от их комбинаций не показаны.

4. Не показана схема нагружения образцов с покрытием для определения сдвиговой прочности.

5. Некоторые диаграммы не выдержаны в едином стиле диссертации (Рис. 16, 29, 31, 33), ряд фотографий имеет недостаточное качество изображения (Рис. 21, 26), подписи в ряде случаев неточно представляют изображённую на рисунках информацию (Рис. 15, 17).

Сделанные замечания не снижают общей высокой оценки диссертации.

Заключение

Представленная диссертация Вилкова Ф.Е. выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой изложены научно обоснованные технологические решения, связанные с разработкой композитного радиационно-защитного покрытия на основе модифицированной жидкостекольной матрицы с чередующимися слоями, наполненными порошками вольфрама и нитрида бора. Результаты диссертационной работы, выносимые на защиту, были представлены на 5 научно-технических конференциях, опубликованы в 10 научно-технических изданиях, в том числе 3 статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, получен 1 патент Российской Федерации. Результаты диссертационной

работы могут найти применение при разработке композиционных материалов, например, в качестве насыщающихся поглотителей для волоконных лазеров.

Автореферат полностью отражает 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 Вилков Федор Евгеньевич, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.06 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Проект отзыва ведущей организации на диссертационную работу Вилкова Федора Евгеньевича «Разработка композитного радиационно-защитного покрытия для радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов» заслушан, обсужден и одобрен на заседании НТС АО «НПП «Полигон-МТ» 07.12.2018 г.

Генеральный директор

АО «НПП «Полигон-МТ»,

д.т.н., академик РИА

В.А.Васин

10.12.2018 г.

