

В диссертационный совет Д 002.060.04 при Федеральном государственном бюджетном учреждении науки Институте металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова РАН

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента**

доктора технических наук, профессора кафедры химической технологии керамики и огнеупоров РХТУ им. Д.И. Менделеева

### **Лукина Евгения Степановича**

на диссертационную работу *Кирюшиной Валентины Владимировны*

### **«Исследование керамических материалов с применением методов вероятностного анализа при разработке и производстве элементов летательных аппаратов»,**

представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 – Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов

## **1. Актуальность темы диссертации**

Керамические материалы достаточно давно применяются в авиационно-космической технике в качестве важнейших элементов летательных аппаратов, к которым предъявляются жесткие требования к безопасности и надежности конструкционных материалов, так как их эксплуатация осуществляется в условиях очень высоких скоростей и воздействия экстремальных механических нагрузок. Требуемая вероятность безотказной службы изделий достигает в настоящее время уровня более 99,9%.

Керамические материалы в большинстве видов характеризуются хрупкостью, сравнительно низкой трещиностойкостью, различным распределением возможных дефектов разного типа в структуре материала, в связи с этим имеют существенный статистический разброс по этим свойствам.

Кроме этого для керамических материалов возможно проявление масштабированного фактора, так как в большом объеме могут быть дефекты, приводящие к разрушению при напряжениях меньше предела прочности, полученного для стандартных образцов.

Не должна быть обойдена вниманием зависимость разрушения от времени. Поэтому для установления надежной эксплуатации изделий из конструкционной керамики необходимы исследования длительной прочности и прогнозирования долговечности.

Элементы керамических конструкций, рассматриваемые в диссертационной работе Кирюшиной В.В., являются наиболее важными, которые ответственны за надежную эксплуатацию всего изделия. Технология этих керамических элементов является весьма сложным процессом, на качество которого влияют множество факторов. Учесть эти факторы и построить технологию их качественного изготовления является первостепенной задачей.

В диссертационной работе рассматриваются два наиболее широко применяемые в настоящее время радиопрозрачные керамические конструкционные материалы – кварцевая керамика и стеклокерамика на основе алюмосиликата лития. В работе построена выверенная и обоснованная

научная база для перехода от экспериментального массива показателей физико-механических свойств керамики к определению значения надежности проектируемого узла ЛА, которая является наиболее важной эксплуатационной характеристикой изделия в целом и должна быть заложена еще при проектировании и жестко проконтролирована в ходе технологического производства.

В связи с важностью проблемы, диссертационная работа Кирюшиной В.В. которая посвящена исследованию свойств и микроструктуры керамических материалов, применяемых в производстве летательных аппаратов радиотехнического назначения, с использованием методов вероятностного анализа **является, несомненно, актуальной.**

Целью работы является усовершенствование и применение при конструировании и изготовлении элементов ЛА из керамических конструкционных материалов физико-статистических моделей, учитывающих особенности хрупкого разрушения керамики наряду с вероятностной природой эксплуатационных нагрузок.

Для решения одной из важных задач Кирюшина В.В. использует понятие вероятностной прочности, которая более точно, чем детерминированная прочность, отражает особенности условий эксплуатации высоконапряженных элементов ЛА, подверженных воздействию случайных факторов и структуры материала, определяющий статистический разброс показателей его свойств. Для анализа прочностных показателей исследуемых видов керамики в работе осуществлен актуальный выбор наиболее пригодной математической модели хрупкого разрушения материала, поиск ее оптимальных параметров и оценка точности в зависимости от степени выборки экспериментальных данных. Для перехода от показателей прочности опытных образцов к прочности натурального изделия установлены масштабные зависимости обеих материалов. Следует отметить строгость и последовательность математических выкладок, дополненных графическими интерпретациями взаимосвязи модельных и экспериментальных показателей.

## **2. Достоверность и обоснованность результатов исследований, представленных в диссертационной работе**

Автором диссертации изучены и проанализированы достижения отечественных и зарубежных специалистов по вопросам моделирования и прогнозирования механических свойств и надежности керамических материалов. Список цитируемой литературы содержит 132 наименования.

Полученные в работе результаты базируются на большом экспериментальном материале по испытаниям образцов керамики на трехточечный изгиб, одноосное растяжение, трещиностойкость и динамическую усталость (длительную прочность), по испытанию изделий на теплопрочность и обширной технологической базе данных (за несколько лет) серийно выпускаемых в ОАО «ОНПП «Технология» изделий ЛА.

Определение свойств исследуемых керамических материалов проведены по методикам применяемых в ОАО «ОНПП «Технология» для конструкционных материалов, используемых в авиационно-космической технике.

В диссертационной работе использованы метод статистических испытаний, статистические методы обработки данных, в том числе с использованием программы STATISTICA v.10, методы численного дифференцирования и интегрирования, классические методы строительной механики и теории упругости, метод конечных элементов, реализованный в программном комплексе ANSYS.

Все это дает основания считать полученные результаты достоверными и обоснованными.

### **3. Новизна научных положений, выводов и рекомендаций**

Автором диссертации по новому подошел к проблеме прогнозирования требуемой работоспособности материалов путем определения исходных причин их хрупкого разрушения, установив взаимосвязь между прочностью керамических материалов и особенностью ее микроструктуры. Анализируя модель Вейбулла, учитывающей наличие наиболее слабого дефекта в материале и модель Мак-Клиптока, а также экспериментальные исследования, представлен способ оценки прочностной надежности в зависимости от типа дефектов микроструктуры и плотности распределения их размеров кварцевой керамики НИАСИТ и стеклокерамики ОТМ-357.

Впервые в оценке надежности элементов ЛА, изготавливаемых кварцевой и стеклокерамики исследованы статистические аспекты свойств и эксплуатационных нагрузок, что является основой предложенного вероятностного подхода к разработке элементов ЛА повышенной надежности. В этом заключается основная научная новизна диссертационной работы.

Выводы и рекомендации носят основополагающий характер и являются обобщением полученных результатов.

### **4. Практическое значение результатов работы**

Разработанные диссертантом Кирюшиной В.В. методы, модели и алгоритмы решения интегрированы в систему теоретико-экспериментальных средств исследования свойств материалов, в которой они применяются и как инструмент существенного повышения информативности эксперимента, и как средство прогнозирования.

По результатам исследования рассмотренных керамических материалов даны конкретные рекомендации, как технологам при производстве и испытаниях образцов и изделий, так и конструкторам при проектировании конструкций повышенной надежности для экстремальных условий эксплуатации.

Важной практической стороной работы является разработка системы качества технологического процесса производства материалов. Комплексный анализ его параметров и режимов, проведенный статистическими методами на примере конкретных изделий из двух материалов, позволяет дать оценку стабильности процесса, степени воспроизводимости показателей, определяющих качество. Также, практически важным, с точки зрения сокращения затрат, является обоснование выбора критического уровня испытательного нагружения внутренним давлением.

## 5. Общая характеристика работы

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы и трех приложений. Работа изложена на 227 страницах основного текста, включающего 105 иллюстраций, 41 таблицу, список литературы из 132 наименований.

Диссертация содержит в необходимом объеме все разделы научной работы. Автореферат полностью отражает содержание диссертационной работы.

**Во введении** изложены актуальность и цель работы, сформулированы задачи и их решения, приведена научная новизна и практическая значимость работы.

**В первой главе** рассматриваются основные виды радиопрозрачных конструкционных керамических материалов, применяемых для создания элементов ЛА, приведены их основные свойства, охарактеризованы преимущества и недостатки, описаны технологические процессы высоконагруженных элементов ЛА.

Дано определение надежности, ее количественные показатели, показано, что самым важным показателем надежности является вероятность безотказной работы изделий, которая определяется вероятностью ненарушения целостности и вероятностью ненарушения радиопрозрачности.

Показаны особенности прогнозирования эксплуатационного поведения керамических материалов в элементах ЛА.

**Во второй главе** подробно рассмотрена оценка надежности керамики с позиций моделей хрупкого разрушения Вейбулла и Мак-Клиптока. В моделях Вейбулла основное внимание уделено рассмотрению модели наислабейшего звена в структуре материала и объема выборки образцов для оценки параметров модели. Кроме этого проведены исследования влияния масштабного фактора на величину прочности керамических материалов, влияние в целом структуры на прочность, причины различия прочности при различных схемах нагружения образцов. Дана методика оценки допустимого предела прочности керамики в изделиях с заданными условиями нагружения и надежности.

Исследовано применение статистической модели Мак-Клиптока, связывающей целостность материала изделия с характерным размером элемента микроструктуры, для оценки прочностной надежности изделий. Данная модель позволяет оценить размер структурного элемента керамического материала и оптимизировать процесс разработки технологии новых керамических материалов с заранее заданными прочностными свойствами.

**В третьей главе** разработаны системы оценки качества технологических процессов производства элементов ЛА из исследуемых материалов.

Технологические процессы формируют свойства материалов, поэтому нестабильность этих процессов выражается в увеличении случаев повреждения материала под нагрузкой, поэтому важное значение приобретают исследования динамики изменения параметров материала и изделия под влиянием технологических факторов. Это особенно важно для высоконапряженных изделий, имеющих рабочие напряжения или нагрузки, близкие к расчетным. Для подобных изделий лимитирующим является качество продукции. В этом случае технологическая надежность процесса изготовления изделий определяется точностью и стабильностью выходных параметров материала изделий и его бездефектностью.

Для установления возможной стабильности технологии кварцевой и стеклокерамики, из которых изготавливают головки ЛА, проведен подробный статистический анализ производства этих изделий и показано, что разбросы значений свойств изделий находятся в пределах допустимых

в течение последних пяти лет и соответствующие индексы воспроизводимости находятся на достаточно высоком уровне. Это свидетельствует действительно об идеальной стабильности технологического процесса.

Диссертантом разработана система оценки качества технологического процесса производства изделий с оболочками из кварцевой и стеклокерамики, которая рекомендована для использования систематически и в реальном режиме времени для управления качеством технологического процесса. Это является еще одним достоинством диссертационной работы Кирюшиной В.В.

**В четвертой главе** разработана физико-статистическая модель оценки прочностной надежности изделий ЛА с учетом статистических распределений физико-механических, теплофизических свойств материалов, тепловых и аэродинамических нагрузок, действующих на изделие в условиях эксплуатации; проанализировано влияние величины и рассеяния перечисленных параметров на оценку прочностной надежности стеклокристаллического изделия посредством индекса безопасности.

По результатам проведенных исследований опубликован 11 статей в научно-технических журналах, 7 из которых в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, сделано 15 докладов на отечественных и международных научно-практических конференциях. Однако в автореферате приведены сведения только о 7 статьях, нет и номера патента.

## **6. Основные замечания по работе**

1) Прочностная надежность – совокупное понятие, подразумевающее вероятность любого неразрушения. В работе же проводится исследование по только моделям хрупкого разрушения, и никак не упоминается возможность отказа работоспособности в зоне пластической деформации при экстремальных теплосиловых нагрузках, критических для взятых материалов. Также не отмечена вероятность потери динамической прочности и устойчивости конструкции.

2) Не достаточно объяснен и не совсем ясен способ и точность определения эффективного напряженного объема. Ведь значение этого параметра напрямую влияет на величину масштабного коэффициента, проецирующего прочность образцов на натурное изделие, и как следствие на расчетную надежность при заданном уровне нагружения.

3) Формула 2.9 в диссертации и 2(а) в автореферате не совпадают. Почему  $V_0/V = 1$ ?

4) По результатам статистического анализа технологического процесса было бы целесообразно проранжировать конкретные факторы по силе влияния на качество керамического материала.

Отмеченные недостатки не носят принципиального характера и не снижают общего научного и практического уровня диссертации.

## **7. Заключение о соответствии диссертационной работы требованиям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.13 г. № 842 (далее – Положение)**

Диссертационная работа Кирюшиной В.В. является законченной научно-квалифицированной работой, в которой решена важная научно-технологическая задача – установление высокого уровня



стабильности и воспроизводимости технологического процесса изготовления наиболее важных элементов изделий ЛА из кварцевой и стеклокерамики и предложена система контроля качества технологического процесса производства этих материалов.

Важность этих позиций заключается в том, что изделия, технология которых рассматривается в диссертации, имеет стратегическое значение для страны и их качество и надежность должны быть на самом высоком уровне, что и показано в работе.

Основные результаты диссертационной работы содержат элементы научной новизны и соответствуют паспорту специальности 05.17.11

В целом следует заключить, что представленная диссертационная работа: «Исследование керамических материалов с применением методов вероятностного анализа при разработке и производстве элементов летательных аппаратов» соответствует требованиям п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.13 № 842, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Кирюшина Валентина Владимировна заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.11 – «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов».

#### Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры химической технологии  
керамики и огнеупоров

ФГБОУ ВПО «Российский химико-  
технологический университет  
имени Д.И. Менделеева»

Лукин Евгений Степанович

125047 Россия, Москва, Миусская пл., д. 9

[lukin@rctu.ru](mailto:lukin@rctu.ru)

+7-495-495-39-66

+7-903-534-36-32

Е.С. Лукин

18.11.2014

