



Акционерное общество  
**«МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ  
КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО «ФАКЕЛ»**  
имени академика П.Д. Грушина»  
ул. Академика Грушина, 33,  
г. Химки, Московская обл., 141401  
телефон: (495) 781-05-73  
факс: (495) 572-01-33; e-mail: info@mkbafakel.ru  
ОКПО 07544915, ОГРН 1025006173664,  
ИНН/КПП 5047051923/504701001

№ \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_  
На \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

Экз. № 1

## УТВЕРЖДАЮ

Генеральный директор –  
Генеральный конструктор,  
Председатель научно-технического совета  
АО «Машиностроительное конструктор-  
ское бюро «Факел» имени академика П.Д.  
Грушина»,

доктор технических наук,  
старший научный сотрудник



В.В. Доронин

«12» апреля 2024 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Масловой Екатерины Валерьевны тему «Повышение эффективности технологии изготовления крупногабаритных керамических изделий», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.14 – «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов».

### Актуальность темы исследования.

Основной составной частью конструкции современных ракет является головной обтекатель, на который возлагаются сложные функции защиты антенны головки самонаведения ракеты от аэродинамических и тепловых нагрузок, а также необходимости обеспечения минимальных ошибок определения углового положения цели вследствие рефракции радиоволн в материале обтекателя.

Традиционно в качестве радиопрозрачного материала для оболочки антенного обтекателя современных ракет применяют кварцевую керамику, получаемую по технологиям, разработанным еще в конце 60-х годов прошлого века.

Процесс изготовления оболочки из кварцевой керамики состоит из десятков технологических операций и характеризуется высокой



трудоемкостью и достаточно продолжительным технологическим циклом. Керамической технологии свойственно образование дефектов: раковины, включения, трещины и микротрещины, в том числе связанные со стыковкой керамики с металлическим шпангоутом.

В последнее время объемы государственного оборонного заказа значительно возросли. В связи с этим возникла необходимость в существенном сокращении технологического цикла изготовления антенных обтекателей и минимизации технологических потерь.

Поэтому техническое совершенствование базовых технологических операций изготовления керамической оболочки с заданным уровнем свойств в направлении сокращения технологических потерь и снижению трудоемкости изготовления обтекателя, которое, в совокупности с выработкой новых принципов и способов поиска и предотвращения возможных причин образования дефектов является **актуальным**.

### **Структура и основные положения работы**

Структура диссертации определяется целью работы в направлении поиска решения задачи разработки научно обоснованных технических решений по повышению эффективности технологии изготовления керамических антенных обтекателей за счет снижения уровня образования дефектов и сокращения длительности производственного цикла.

Диссертация содержит 166 листов машинописного текста и состоит из введения, шести разделов, заключения и трех приложений. В список использованных источников включено 103 наименования.

**Во введении** дано обоснование актуальности темы диссертационного исследования и степень ее разработанности, сформулированы цель, требуемые научно обоснованные технические решения, положения, выносимые на защиту, научная новизна результатов, их теоретическая значимость и практическая направленность, определены методология и используемые методы исследования, степень достоверности, а также представлены реализация, публикации и апробация результатов исследования.

**В первом разделе** проведен анализ технологии изготовления антенных обтекателей из кварцевой керамики, дан обзор возможных причин образования того или иного дефекта, определена возможность корректировки



технологических параметров и режимов изготовления керамических заготовок (приготовление шликера, формование, обжиг заготовок и т.д.).

Во **втором разделе** изложены методики входного контроля исходного сырья – кварцевого стекла, его рентгенофазового анализа (РФА) для определения кристаллических фаз в кварцевом стекле и кварцевой керамике, определения основных свойств шликера и физико-механических характеристик кварцевой керамики. Описан метод визуально-оптического контроля на наличие дефектов в изделиях.

В **третьем разделе** приведены результаты анализа видов дефектов, образующихся в керамических обтекателях, и их соотношение. Представлены результаты фрактографических и микроструктурных исследований дефектов.

Проведенные исследования в работе показали, что трещины могут быть как формовочными (сформированные на этапе набора заготовки или ее сушки), так и обжиговые (образованные в процессе обжига в монолитном, сформированном материале).

Выявлено, что природа образования большей части исследованных дефектов связана с формированием микроструктуры материала. На основании проведенных исследований установлены возможные этапы технологического цикла, вызывающие образование основных дефектов при изготовлении керамического антенного обтекателя.

Согласно проведенным исследованиям чаще всего вероятные причины образования дефектов могут быть связаны с качеством исходного сырья, особенностями формовочной оснастки, заложенными в процессе приготовления шликера и (или) сушки заготовки.

В **четвертом разделе** представлены результаты исследований влияния массовой доли примесей исходного кварцевого концентрата и дополнительной очистки кварцевых труб плавиковой кислотой на параметры шликера, процесса формования и обжига и на свойства материала получаемых заготовок, оптимизации процесса измельчения кварцевого стекла, в результате чего определена оптимальная загрузка мельницы помола, получена зависимость продолжительности помола кварцевого стекла от частоты вращения мельниц для получения шликера с оптимальным зерновым составом и установлен целесообразная скорость вращения мельниц.

Электронно-микроскопический анализ фрагментов изделий, изготовленных из кварцевых труб разных технологических групп, показал,



что микроструктура всех образцов соответствует микроструктуре материала НИАСИТ. Наличие кристаллических образований и микротрещин на сколах фрагментов заготовок не установлено. Однако на отдельных образцах изделий была обнаружена поверхностная кристаллизация. Проведенный анализ показал, в поверхностной корке в зоне кристаллизации обнаружены  $\alpha$ -кristобалит  $\text{SiO}_2$  (тетр.) и  $\beta$ -кristобалит  $\text{SiO}_2$  (куб.). Вне зоны поверхностного дефекта обнаружены очень слабые следы  $\alpha$ -кristобалита (тетр.). При анализе порошка (в объеме образца от зоны дефекта) кристаллических фаз не обнаружено.

Для оптимизации процесса измельчения кварцевого стекла проведен расчет процесса измельчения и его оценка по основным величинам, характеризующим помол: степень заполнения барабана мелющими телами, суммарное заполнение барабана, показатель активной зоны измельчения и эффективная плотность мелющих тел. По результатам расчета и проведенных экспериментов определен наиболее целесообразный вариант параметров помола, определен оптимальная частота вращения мельниц, зерновой состав шликера, что позволяет снизить уровень дефектов в изделии.

Показано, что оптимизация процесса измельчения кварцевого стекла позволяет снизить среднюю продолжительность помола более чем на 25 % и сократить количество дефектов на 10 %.

В пятом разделе представлены результаты совершенствования технологии формования керамических заготовок, исследования влияния геометрических параметров формообразующих полостей на качество заготовок, разработан метод комбинирования деталей формовых комплектов, установлена зависимость влияния скорости движения воздушного потока теплоносителя и его температуры на качество заготовок после операции сушки. За счет применения воздуховода разработанной в рамках диссертации конструкции получена высокая равномерность сушки всех участков изделия.

В результате анализа несоосности формообразующих полостей для изготовления керамических заготовок найдена возможность выбора предпочтительного взаимного расположения сердечника и формы. Показано, что снижение несоосности основания формообразующей полости и выбор оптимального угла разворота сердечника приводит к уменьшению технологических потерь в производстве керамических обтекателей.

На основе полученных результатов был разработан метод комбинирования деталей формовых комплектов.

Для обеспечения равномерности сушки заготовок предложена новая конструкция воздуховода вентилятора. Повышение равномерности сушки



достигнуто благодаря компенсации эффектов повышения фугитивности паров жидкости и снижения температуры подогретого сушильного воздуха в направлении его движения в полости, ограниченной наружной поверхностью воздуховода и внутренней поверхностью изделия, за счет постепенного уменьшения площади поперечного сечения указанной полости в направлении от уровня выходного отверстия воздуховода до уровня.

Экспериментально показано, что при сушке керамических заготовок антенных обтекателей с использованием воздуховода предложенной конструкции позволяет повысить равномерность сушки всех участков заготовки. Полученная равномерность сушки более чем на 15% снижает образование трещин в теле заготовки.

**В шестом разделе** представлены результаты оценки эффективности предложенных методов совершенствования технологии изготовления керамических обтекателей, разработан комплекс методов выявления причин образования дефектов, с помощью которого возможно оперативно принимать меры по их исключению или существенному их снижению.

В качестве инструмента управления качеством изготовления изделий разработан комплекс алгоритмов мониторинга и управления, позволяющий анализировать и своевременно выявлять аномалии и сбои в технологической цепочке изготовления изделий и предлагать возможные варианты решения сложившейся проблемы.

При разработке комплекса алгоритмов были учтены выявленные подвиды трещин и сколов, периодичность возникновения дефектов (постоянная или периодическая, по исполнителю или по расположению).

Предложенные усовершенствования и разработанный алгоритм поиска причин и парирования дефектов позволили существенно нарастить производственные объемы выпуска продукции.

**В заключении** сформулированы основные результаты и выводы по работе.

Диссертация Масловой Екатерины Валерьевны оформлена в соответствии с действующими требованиями, написана ясным и четким научным языком, материал изложен в логической последовательности, сопровождается достаточным количеством иллюстрационного материала, в основном обеспечивающего доступность восприятия полученных результатов. В целом диссертация и автореферат диссертации по своей структуре соответствуют требованиям ГОСТ 7.0.11-2011. Автореферат соответствует тексту диссертации и отражает основное её содержание.



## **Соответствие результатов диссертации заявленной специальности**

Тема и основное содержание диссертации соответствуют паспорту специальности 2.6.14 – «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов». Соответствие выявляется по следующим позициям:

- развитие методов и методик определения причин возникновения дефектов на различных технологических операциях изготовления крупногабаритных керамических изделий из кварцевой керамики (пункт 1, абз. 3);
- разработка комплекса алгоритмов мониторинга качества и причин образования дефектов изделий из кварцевой керамики (пункт 2);
- разработка технологии 3D-метода комбинирования деталей формового комплекта для выбора оптимального угла разворота, обеспечивающего соосность формового комплекта при изготовлении заготовок изделий из кварцевой керамики (пункт 2);
- установление зависимости качества кварцевого концентрата и дисперсности помола кварцевого стекла для получения крупногабаритных керамических изделий (пункт 4);
- развитие средств технологической оснастки, методов и методик размола кварцевого концентрата (пункт 2);
- развитие средств технологической оснастки, методов и методик сушки при изготовлении крупногабаритных заготовок для получения крупногабаритных изделий из кварцевой керамики (пункт 2).

## **Новизна результатов и положений работы**

В рамках диссертационного исследования:

– установлена причинно-следственная связь возникновения дефектов на различных технологических операциях изготовления крупногабаритных керамических изделий из кварцевой керамики. Разработан комплекс алгоритмов мониторинга качества и причин образования дефектов;

– разработан 3D-метод комбинирования деталей формового комплекта, заключающийся в получении формообразующей полости с помощью 3D-изображений сердечника, модели и крупногабаритного изделия во всех вариантах взаимного расположения для выбора оптимального угла разворота, обеспечивающего соосность формового комплекта. Новизна технического решения подтверждена патентом Российской Федерации на изобретение № 2759878.

– установлены зависимости результативности производства при изготовлении крупногабаритных керамических изделий от качества кварцевого концентрата и помола кварцевого стекла для получения крупногабаритных керамических изделий;

– определены зависимости качества изготавливаемых при операции сушки крупногабаритных заготовок от формы воздушного потока



теплоносителя, его скорости движения и температуры. Новизна технического решения подтверждена патентом Российской Федерации на изобретение № 2773350.

### **Значимость полученных автором диссертации результатов для развития соответствующей отрасли науки**

По полученным результатам диссертация вносит существенный вклад в развитие технологии изготовления крупногабаритных керамических антенных обтекателей и инструментов поиска и предотвращения причин образования дефектов керамических изделий. Реализация предложенной технологии изготовления крупногабаритных керамических изделий позволяет:

повысить контролируемость процесса изготовления крупногабаритных керамических изделий за счет увеличения полноты и точности мониторинга качества изготовления на всех этапах производства и анализа причин образования дефектов;

повысить выход годных для дальнейшей обработки заготовок за счет определения и реализации предпочтительного взаимного расположения сердечника и формы заготовки;

снизить себестоимость продукции за счет обоснования нецелесообразно использовать высший сорт кварцевого концентрата RQ-2К, RQ-3К для изготовления кварцевых труб и стержней, экспериментальным доказательством отсутствия влияния поверхностной кристаллизации на кварцевых трубах и стержнях на технологические параметры изготовления заготовок из кварцевой керамики и на ее физикомеханические характеристики;

оптимизировать частоту вращения мельниц и среднюю продолжительность помола;

снизить частоту образования в керамической оболочке трещин за счет разработки новой конструкции технологической оснастки для сушки заготовок.

В целом совокупность положений и результатов диссертации позволили существенно нарастить производственные объемы выпуска продукции АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина».

**Теоретическая значимость** заключается в дальнейшем развитии методов, методик и средств:

– технического диагностирования дефектов изготовления крупногабаритных керамических изделий из кварцевой керамики и



управления качеством изготовления на различных этапах технологических операций;

- получения шликера на основе кварцевого стекла с требуемыми параметрами суспензии;

- изготовления формовочной оснастки, минимизирующей несоосность и долю трещин и сколов в керамических заготовках;

- сушки керамических заготовок воздуховодом предложенной конструкции,

а также в доказательстве отсутствия влияния на технологические параметры изготовления заготовок из кварцевой керамики и на их физико-механические характеристики:

- используемых сортов концентрата (RQ-2К, RQ-3К);

- наличия поверхностной кристаллизации на кварцевых трубах и стержнях,

которые в дальнейшем могут использоваться для совершенства производственного процесса выпуска керамической продукции АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина».

Полученные теоретические результаты вносят весомый вклад в совершенствование технологий создания крупногабаритных керамических изделий для перспективного отечественного ракетного оружия.

**Практическая значимость диссертации Масловой Екатерины Валерьевны состоит в следующем:**

комплекс алгоритмов мониторинга и управления качеством производства повысит контролируемость и управляемость процесса изготовления крупногабаритных керамических изделий на всех этапах производства и анализа причин образования дефектов;

метод комбинирования деталей формовочной оснастки повысит выход годных для дальнейшей обработки заготовок более чем на 5%;

метод подбора качества кварцевого концентрата и анализа поверхностной кристаллизации на кварцевых трубах и стержнях снизит себестоимость изготовления кварцевых труб и стержней;

оптимизация частоты вращения мельниц снизит среднюю продолжительность помола более, чем на 25%;

новая конструкция технологической оснастки для сушки заготовок снизит более чем на 15% частоту образования в керамической оболочке трещин.



## **Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации**

Приведенные в диссертации результаты и выводы рекомендуется использовать для совершенства производственного процесса выпуска керамической продукции АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина».

**Публикация основных результатов диссертации.** Основные результаты диссертации опубликованы в 10 работах, среди них 5 статей в изданиях, включенных в перечень ВАК, 5-ти Патентах Российской Федерации, а также подтверждены 1 свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Содержание указанных публикаций отражает все положения работы, выносимые на защиту. Это позволяет сделать вывод о том, что в этих работах все основные результаты диссертации представлены в полном объеме.

### **Результаты диссертации реализованы:**

В производственного процесса выпуска керамической продукции АО «ОНПП «Технология» им. А.Г. Ромашина».

**Апробация результатов работы.** Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на XXIX Международной научно-практической конференции, Тула, 28 октября 2021 года и Международной научно-практической конференции, Комсомольск-на-Амуре, 07–11 февраля 2022 года.

### **Замечания по диссертации**

1. При анализе данных о количестве дефектной продукции, получаемой в разных формовых комплектах, автор отмечает, что образование трещин и сколов в формовых комплектах № 2 и № 8 в 1,5 раза больше, чем в случае использования комплекта № 6. Для дальнейшей работы и сравнения данных были выбраны комплекты № 8 и 6, исключив при этом №2 без объяснения причин этого выбор.

2. В тексте диссертации не пояснено различие геометрических параметров моделей № 1 и № 2, если изготавливаются изделия одного и того же типа.

3. В диссертации помещены достаточно громоздкие формульные выражения (16) ... (19), (38) .... (44), запись которых занимает до двух страниц. Это несколько усложняет восприятие материала. Указанные выражения целесообразно было поместить в приложениях к диссертации, сославшись на них в тексте диссертации с соответствующими комментариями. В диссертации имеются отдельные стилистические погрешности:

– на стр. 84, табл. 4.5 – отсутствуют значения некоторых показателей, характеризующих помол, таблица малоинформативна;



– описание процесса измельчения кварцевого стекла и разбор факторов, влияющих на его кинетику (стр.78-82), описание общие сведения технологии формования керамических заготовок (п. 5.1) целесообразно было бы включить в аналитическую, а не экспериментальную часть работы.

В тексте диссертации имеют место отдельные опечатки, стилистические и орфографические ошибки.

Однако, отмеченные выше недостатки не снижают значимости основных положений диссертации Масловой Е.В., полученных результатов, выводов и рекомендаций. Диссертационное исследование на тему «Повышение эффективности технологии изготовления крупногабаритных керамических изделий» обладает внутренним единством, а также содержит новые научно обоснованные технические решения и положения, которые определяют вклад соискателя в науку.

### **Заключение по диссертации**

Таким образом, **научная задача**, сформулированная соискателем как разработка методологических и методических основ повышении эффективности технологии изготовления керамических антенных обтекателей за счет снижения уровня образования дефектов и сокращения длительности производственного цикла, **успешно решена**.

Полученные в диссертационной работе результаты исследований соответствуют поставленной цели и решаемым задачам. Диссертация содержит совокупность положений и результатов, состоящих в разработке новых методов и технических решений по обеспечению повышении эффективности технологии изготовления керамических антенных обтекателей за счет снижения уровня образования дефектов и сокращения длительности производственного цикла. Новизна предложенных технических решений подтверждена получением Патентов Российской Федерации.

Автореферат соответствует содержанию диссертации. Публикации полностью отражают основные научные положения, рекомендации и выводы диссертации.

Диссертация Масловой Екатерины Валерьевны тему «Повышение эффективности технологии изготовления крупногабаритных керамических изделий» является законченной научно-квалификационной работой, которая содержит научно обоснованные технические решения, имеющие значение для укрепления обороноспособности страны и подтверждающие достижение цели исследований. Работа соответствует требованиям п. 9-14 положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 г. № 842 (в редакции от 28.08.2017),



предъявляемым к кандидатской диссертации. Соискатель Маслова Екатерина Валерьевна заслуживает присуждения ей ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.14 – «Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов».

Материалы диссертации и отзыв ведущей организации на нее обсуждались на заседании научно-технического совета АО «МКБ «Факел» им. академика П.Д. Грушина (протокол № 02/2024 от 04.04.2024 г.).

Заместитель главного конструктора, секретарь НТС МКБ «Факел»  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

В.А. Самонов

Начальник отдела  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

М.В. Янцевич

Ведущий конструктор  
кандидат технических наук,  
старший научный сотрудник

Ю.В. Конищев