

В диссертационный совет 24.2.379.05,  
созданный на базе ФГАОУ ВО  
«Самарский национальный исследовательский  
университет имени академика С.П. Королева»

## **ОТЗЫВ**

### **официального оппонента**

доктора технических наук, доцента Пантюхина Олега Викторовича  
на диссертационную работу Алексеева Вячеслава Петровича  
«Совершенствование инструментов повышения качества продукции  
в процессах производства деталей методом селективного лазерного  
сплавления», представленную на соискание ученой степени кандидата  
технических наук по специальности 2.5.22. Управление качеством продукции.  
Стандартизация. Организация производства

### **Актуальность темы исследования**

Технологии аддитивного производства являются одними из самых  
востребованных и позволяют изготавливать сложные детали для газотурбинных  
двигателей и установок.

Обеспечение и управление качеством продукции в производственных  
процессах с использованием аддитивных технологий являются важными  
задачами. В области аддитивного производства, особенно при использовании  
технологии селективного лазерного сплавления (СЛС), существует множество  
факторов, влияющих на качество конечной продукции. Управляемость процесса и  
стабильность качества, действительно, являются ключевыми аспектами, особенно  
в условиях малосерийного производства, характерного для аддитивного  
производства.

Одним из методов управления процессом являются контрольные карты  
статистического управления, представляющие мощный инструмент для  
мониторинга и управления качеством производственных процессов и  
позволяющие визуализировать данные, выявлять тенденции и отклонения от

Входящий № *206-8626*  
Дата 18 НОЯ 2024  
Самарский университет

нормы, а также принимать обоснованные решения на основе анализа. Тем не менее в условиях ограниченности данных и динамично изменяющихся процессов, таких как селективное лазерное сплавление, традиционные методы, сталкиваются с рядом проблем: недостаток данных, вариабельность процесса, динамика изменений, сложность моделей.

Ключевыми аспектами успешного производства, особенно в таких высокотехнологичных областях, как аддитивное производство, являются повышения качества продукции и стабильность его параметров. Для этого необходимо внедрять и совершенствовать различные инструменты и методы управления качеством.

Таким образом, тема диссертационной работы Алексева Вячеслава Петровича, направленная на решение задачи совершенствования инструментов повышения качества продукции в процессах производства деталей методом СЛС, является значимой и актуальной.

### **Научная новизна полученных результатов**

Научная новизна диссертационной работы включает следующие положения:

1. Методика сегментации требований потребителя к изделиям для процесса СЛС на основе метода функций развертывания качества (QFD), отличающаяся от известных решений определением уровня значимости связей между требованиями потребителя к продукции и технологическими параметрами подготовки и реализации процесса СЛС.

2. Подход к созданию инструмента оценки рисков на основе анализа видов, последствий и причин потенциальных несоответствий технологического процесса СЛС (PFMEA), отличающийся от известных решений алгоритмом получения матрицы рисков, обеспечивающим ее полноту и непротиворечивость за счет выявления структурно-логических связей между ключевыми этапами жизненного цикла изделий при их функциональном моделировании и

накопленной статистикой по несоответствиям на основе разработанной карты классификации выявленных дефектов.

3. Методика статистического анализа управления качеством СЛС, включающая анализ воспроизводимости процесса производства изделий со сложной геометрией малыми сериями и отличающаяся от известных решений разработкой и применением модифицированных целевых краткосрочных контрольных карт и индексов воспроизводимости технологического процесса.

4. Алгоритм управления показателями качества в технологических процессах изготовления изделий со сложной геометрией методом СЛС, отличающийся от аналогов интеграцией методик статистического анализа воспроизводимости процесса производства изделий на малых сериях и PFMEA для СЛС.

### **Значимость результатов для науки и практики**

Теоретическая значимость результатов диссертационной работы Алексеева Вячеслава Петровича заключается в разработке подходов и инструментария управления качеством продукции в процессах производства продукции методом СЛС, которые обеспечивают выполнение требований потребителя и снижают риски появления несоответствий на ключевых этапах производства продукции.

Практическая значимость результатов диссертационной работы заключается в разработке методики сегментации требований потребителя к изделиям для процесса СЛС на основе метода функций развертывания качества (QFD) и алгоритма управления качеством в технологических процессах изготовления изделий со сложной геометрией по технологии СЛС, включающей методику анализа последствий и причин потенциальных несоответствий технологического процесса СЛС (PFMEA) и методику статистического анализа управления качеством процесса СЛС на основе анализа воспроизводимости процесса производства изделий со сложной геометрией малыми сериями.

Предложенная методика PFMEA внедрена в производственный процесс изготовления деталей сложной геометрии методом СЛС в АО «Лазерные системы». Предложенная методика статистического анализа воспроизводимости процесса производства изделий со сложной геометрией малыми сериями, позволяющая отслеживать процесс аддитивного производства заготовок лопаток соплового аппарата турбины и своевременно реагировать при потере стабильности процесса, внедрена в ООО «НПО «Базовое машиностроение».

### **Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов и заключений**

Научные положения, выводы и заключения, сформулированные в диссертации Алексева Вячеслава Петровича, получены с использованием известных методов управления качеством, развертывания функции качества (QFD), анализа видов и последствий потенциальных несоответствий (FMEA), статистических методов управления процессом (SPC).

Достоверность научных положений, выводов и результатов диссертации обеспечивается анализом существующих методов и подходов к обеспечению качества и практикой применения на промышленных предприятиях АО «Лазерные системы» и ООО «НПО «Базовое машиностроение». Основные результаты работы докладывались и были одобрены на всероссийских и международных научных конференциях.

### **Структура и содержания диссертации**

Диссертационная работа Алексева Вячеслава Петровича состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 109 наименований, восьми приложений. Диссертация содержит 35 иллюстраций и 11 таблиц. Общий объем работы составляет 132 страницы.

**Во введении** обоснована актуальность выбранной темы исследования, сформулированы цели и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, отражены научная новизна и практическая значимость, сведения об апробации и внедрении результатов исследования.

**В первой главе** автором описаны особенности технологии СЛС в производстве изделий ГТД. Проведен анализ теоретических подходов к обеспечению показателей качества изделий, изготовленных технологией СЛС. Проведен анализ статистических методов управления качеством и выявлено, что контрольные карты являются преобладающим инструментом статистического правления процессами.

На основе приведенного анализа автор сделал ряд выводов:

- 1) отсутствует классификации возможных несоответствий для процесса СЛС в разрезе этапов жизненного цикла изделий (ЖЦИ);
- 2) нет апробированных подходов к сегментации рынка продукции СЛС для обеспечения требуемых потребителем групп показателей качества;
- 3) отсутствуют модели оценки рисков для технологического процесса СЛС, построенные на основе методики PFMEA (анализа видов, последствий и потенциальных причин);
- 4) не проработана методика статистического контроля продукции для малых серий, характерных для аддитивного производства.

**Во второй главе** автором разработана функциональная модель процесса СЛС, включающая основные этапы жизненного цикла изделий. Определены и сопоставлены с основными операциями процесса группы факторов, оказывающие влияние на качество заготовок в процессе СЛС. Определены основные виды дефектов в деталях, изготовленных по технологии СЛС.

Разработана методика сегментации требований потребителя к изделиям для процесса СЛС на основе метода функций развертывания качества (QFD), базирующаяся на определении уровня значимости связей между требованиями потребителя к продукции и технологическими параметрами подготовки и реализации процесса СЛС.

**В третьей главе** автором разработана методика статистического анализа воспроизводимости процесса производства изделий со сложной геометрией малыми сериями. Методика основана на модифицированных краткосрочных контрольных картах и индексах воспроизводимости для краткосрочных процессов.

**В четвертой главе** диссертации разработан алгоритм управления показателями качества в технологических процессах изготовления изделий со сложной геометрией методом СЛС, основанный на интеграции методик статистического анализа воспроизводимости процесса производства изделий на малых сериях и методе PFMEA для процесса СЛС. В качестве объекта для апробации алгоритма выбрана заготовка секции соплового аппарата турбины, изготовленная из порошка жаропрочного сплава ВЖ159 технологией СЛС.

В заключении автором работы приведены основные результаты и выводы исследования. Определена перспектива дальнейшего развития темы исследования.

### **Соответствие содержания диссертации заявленной специальности**

Диссертационная работа Алексева Вячеслава Петровича соответствует п. 7 «Научные основы управления рисками и предотвращения несоответствий в технических и организационных системах», п. 8 «Разработка научно-практического статистического инструментария управления качеством» паспорта научной специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

### **Оценка соответствия публикаций, автореферата основным положениям диссертации**

Представленная диссертационная работа Алексева Вячеслава Петровича является завершённой. Основные результаты диссертационной работы отражены в 14 работах, в том числе в 5 статьях, опубликованных в ведущих

рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК, 1 статья – в изданиях, индексируемых в базах данных Web of Science и Scopus, 5 публикаций – в других журналах и в материалах конференций.

Автореферат полностью соответствует основному содержанию диссертационной работы.

### **Замечания по диссертации**

1. В главе 1, раздел 1.1 приведены особенности аддитивного производства при изготовлении деталей газотурбинного двигателя (ГТД). Возможно, что эти особенности имеют место и также характерны для другого класса деталей и материалов. Следовало бы определить и представить более общие классификационные признаки рассматриваемых деталей, что в плане обобщения существенно углубило бы содержание диссертации.

2. По статистическим методам управления качеством на малых сериях для деталей со сложной геометрией анализируется представительная выборка отклонений детали, т.е. берется выборка различных размеров с одинаковыми допусками для каждой детали ввиду достаточного количества контролируемых размеров у каждой детали, например, для анализируемых в диссертации лопаток газотурбинного двигателя их 60 на каждую деталь, соблюдается основной принцип статистики, согласно которому все основные признаки совокупности отклонений размеров представлены приблизительно в той же пропорции и с той же частотой, с которой данный признак выступает в статистически достоверной (генеральной) совокупности. На этом факте строится вся доказательная база предлагаемого автором метода. Возникает закономерный вопрос: насколько применим предложенный автором подход, если малыми сериями производятся детали с простой геометрией, где контролируемых размеров может быть на порядок меньше? Как в этом случае быть с предложенными соискателем модифицированными индексами воспроизводимости процесса?

3. В главе 4, раздел 4.4 стр. 89 приведены результаты эффективности внедрения предложенных автором методик при изготовлении заготовок лопаток соплового аппарата в процентном соотношении. Насколько существенна эта эффективность в финансовом эквиваленте? Рекомендуется представить расчеты с указанием эффективности в рублях.

4. В диссертации присутствуют неточности терминологического плана, например, в главе 4 на рисунке 8 представлен алгоритм обеспечения показателей качества ТП СЛС. Обеспечение показателей качества, т.е. их достижение, в большей степени относится к области технологии, чем к направлению исследований по паспорту специальности. Тем не менее в научной новизне указывается алгоритм управления показателями качества ТП СЛС, что, по существу, и отражено в описании к представленному алгоритму.

5. Есть ряд небрежностей в оформлении диссертации, например, в Приложении Б в бланке протокола не указана шапка с основными данными.

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации и могут рассматриваться как рекомендации для дальнейшего развития темы.

### **Заключение**

Диссертация Алексева Вячеслава Петровича выполнена на актуальную тему, обладает научной новизной и практической значимостью.

Результаты исследования доведены до уровня практических рекомендаций, что позволяет использовать их на предприятиях авиакосмической отрасли.

Область исследования работы Алексева Вячеслава Петровича соответствует п. 7 «Научные основы управления рисками и предотвращения несоответствий в технических и организационных системах»; п. 8 «Разработка научно-практического статистического инструментария управления качеством» паспорта специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Диссертация Алексева Вячеслава Петровича выполнена на высоком научно-техническом уровне и представляет собой завершённую научно-квалификационную работу. Диссертация соответствует п.9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор Алексей Вячеслав Петрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства.

Официальный оппонент  
доктор технических наук, доцент,  
профессор кафедры промышленной  
автоматики и робототехники.  
Тел. 8 (4872) 35-36-20.  
E-mail: olegpantuyukhin@mail.ru

Пантюхин О.В.

Шифр специальности  
05.02.23 Стандартизация и управление качеством продукции.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет».  
Адрес: 300012, Россия, г. Тула, просп. Ленина, 92.

