

ОТЗЫВ НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на диссертацию

Бубнёнкова Богдана Борисовича
ФИО аспиранта

Разработка технологии селективного лазерного спекания тонкостенных
и сложнопрофильных изделий из карбида кремния
наименование темы научно-квалификационной работы

представленную к защите по специальности

2.6.5 Порошковая металлургия и композиционные материалы
(шифр и наименование специальности) по направленности

на ученую степень

кандидата технических наук

Актуальность работы. Актуальность работы обусловлена необходимостью повышения эффективности, надёжности и долговечности деталей энергетического машиностроения, авиационной техники и изделий для других высокотехнологичных отраслей промышленности. Одним из перспективных направлений решения данной задачи является применение карбида кремния, обладающего высокими показателями жаростойкости, износостойкости, коррозионной стойкости и малой удельной плотностью. Вместе с тем использование этого материала в изделиях сложной геометрии, в том числе тонкостенных и сложнопрофильных конструкциях, существенно ограничено возможностями традиционных технологий изготовления.

В этой связи особый интерес представляет применение селективного лазерного спекания карбида кремния, позволяющего изготавливать изделия сложной формы, ранее практически недоступные для данного материала. Однако для широкого промышленного внедрения такого подхода необходима разработка соответствующей технологии и специализированного оборудования, обеспечивающих стабильное получение изделий требуемого качества.

Дополнительную актуальность работе придаёт оптимизация параметров постобработки для повышения свойств изделий, получаемых из данного материала по разработанной технологии методом селективного лазерного спекания. Оптимизация включает совершенствование параметров технологических операций, в частности процессов пропитки, пиролиза и силицирования, позволяющих существенно повысить эксплуатационные характеристики материала. Таким образом, исследование, направленное на создание промышленной технологии, включая оборудование, для производства изделий из карбида кремния методом СЛС, является актуальным как с научной, так и с практической

точки зрения.

Основные проблемы, рассмотренные в диссертации

Автором рассмотрена проблематика теплового лазерного воздействия на материал с позиций физики и химии протекающих процессов, с целью создания и подтверждения гипотез механизмов спекания и формирования деталей сложной геометрии из порошковых частиц карбида кремния.

В работе проведено исследование структурно-фазовых закономерностей, реализующихся при лазерном воздействии на порошок карбида кремния, с определением температурно-временных условий послойного формирования пористых заготовок деталей различной, в том числе сложной, геометрии. Определено влияние технологических параметров процесса селективного лазерного спекания заготовок на свойства конечных изделий, прошедших полный цикл постобработки.

Теоретическая и практическая значимость

Систематизированы физико-химические процессы, протекающие в зоне воздействия лазерного излучения на порошок карбида кремния. Изучены механизмы структурообразования при спекании порошковых частиц карбида кремния в области лазерного воздействия. Получены данные о влиянии параметров пироуглеродного уплотнения на полноту протекания процесса образования вторичного карбида кремния, степень пропитки СЛС-заготовок и устранение остаточной пористости, что обеспечивает достижение требуемого уровня конечных свойств изделий.

Доказана принципиальная возможность лазерного спекания порошка карбида кремния и формирования изделий из данного материала методом СЛС. Результаты выполненной работы позволили разработать несколько технологических инструкций на изготовление различных типов изделий, включая инструкцию, защищённую в режиме ноу-хау. Кроме того, разработана технология постобработки, обеспечивающая получение требуемых эксплуатационных свойств СЛС-изделий из SiC.

Полученный уникальный опыт работы с материалом и сформированный научно-технический задел были использованы при проектировании промышленной установки селективного лазерного спекания карбида кремния для производства крупногабаритных сложнопрофильных изделий размером до 1000 мм в рамках выполнения государственного контракта.

Развернутая характеристика с выделением положительных сторон и недостатков

Диссертационная работа Бубнёнкова Богдана Борисовича посвящена актуальной проблеме - созданию технологии производства сложнопрофильных изделий из карбида кремния для возможности использования при проектировании новых узлов и агрегатов с использованием данного материала для повышения эксплуатационных

характеристик.

Автором выполнено теоретическое обоснование возможности СЛС для SiC, проведена оценка и выбор исходного материала для СЛС, изучен механизм лазерного воздействия на карбид кремния и приведены качественные зависимости технологических параметров на свойства при формировании изделий. Также стоит отметить, что большой практический вклад для дальнейшего применения разработанной технологии вносит результат изучения в данной работе методов постобработки получаемых пористых СЛС-заготовок, что важно с точки зрения получения требуемых эксплуатационных свойств.

Диссертантом разработана комплексная технология производства изделий различной, в том числе сложной, геометрии методом СЛС и постобработки в виде пропитки полимером, пиролиза и силицирования, позволяющая, в отличие от остальных подходов, управлять пористостью и свойствами материала из SiC.

Результаты механических и теплофизических испытаний показывают, что полученные по новой технологии сложнопрофильные изделия из карбида кремния имеют уровень свойств, соответствующий изделиям, полученным по стандартным технологиям, и могут применяться в отраслях, нуждающихся в преимуществах использования данного материала.

Достоверность полученных автором работы научных результатов с применением глубокого экспериментального исследования и современных методов обработки полученных данных подкреплена успешной апробацией выводов в реальных условиях, что демонстрирует их практическую применимость. Доклады о полученных результатах на всероссийских и международных научных конференциях свидетельствуют о достаточной апробации данной работы. Результаты опубликованы в виде научных статей в журналах рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ и индексируемых базах Scopus, WoS.

Автореферат и опубликованные работы в полной мере отражают сугубую часть и выводы диссертационной работы.

К числу недостатков диссертационной работы следует отнести незавершённость исследования, связанного с анализом формирования нестехиометрических частиц карбида кремния в трансформированном поверхностном слое исходных порошковых частиц SiC. В тексте диссертации приведены данные, указывающие на возможное преобладание кремния в составе указанных частиц, а также на существенное увеличение параметра кристаллической решётки — до 3 %, что позволяет предполагать наличие ранее не описанного для подобных условий явления. Однако данное направление не доведено до логического завершения: представленные результаты не получили исчерпывающего экспериментального подтверждения и не снабжены достаточной

интерпретацией.

На основании изложенного считаю, что научно-квалификационная работа (диссертация) Бубнёнкова Богдана Борисовича отвечает требованиям, предъявляемым к диссертациям, определяемым «положением ВАК РФ №872 от 24.09.2013 о порядке присуждения ученых степеней и ученых званий», а её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.

Научный руководитель: к.ф.-м.н., науч. рук. ПИШ МАСТ, заместитель
генерального директора АО «НПО
«ЦНИИТМАШ» – директор ИМиМ,
Иванов Иван Алексеевич


подпись

« 25 » 03 2026 г.



Подпись

заверяю

Зам. начальника
отдела кадров


Кузнецова А.Е.

« 25 » 03 2026 г.