

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования

**«Пермский национальный исследовательский политехнический университет»**

**Заключение диссертационного совета Д ПНИПУ.05.06  
по диссертации Килиной Полины Николаевны  
на соискание ученой степени кандидата технических наук**

Диссертация «Формирование периодической структуры армирующего каркаса костной ткани на основе порошкового титанового сплава селективным лазерным плавлением» по специальности 05.16.06 – Порошковая металлургия и композиционные материалы принята к защите 21 октября 2020 года (протокол заседания № 4) диссертационным советом Д ПНИПУ.05.06, созданным по приказу ректора Пермского национального исследовательского политехнического университета от «01» октября 2019 г. № 70-О в рамках реализации предоставленных ПНИПУ прав, предусмотренных абзацами вторым – четвертым пункта 3.1 статьи 4 Федерального закона от 23 августа 1996 г. № 127-ФЗ «О науке и государственной научно-технической политике» на основании распоряжения Правительства Российской Федерации от 23 августа 2017 г. № 1792-р.

Диссертация выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, на кафедре «Инновационные технологии машиностроения»

**Научный руководитель** – доктор технических наук (05.16.09), профессор Сиротенко Людмила Дмитриевна, профессор кафедры «Инновационные технологии машиностроения» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Официальные оппоненты:**

1 Проничев Николай Дмитриевич, доктор технических наук (05.07.05 –

Тепловые, электроракетные двигатели и энергоустановки летательных аппаратов), профессор, профессор кафедры «Технологии производства двигателей» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Самарский национальный исследовательский университет им. акад. С.П. Королева» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации,

2 Сапрыкин Александр Александрович, кандидат технических наук (05.03.01 – Технологии и оборудование механической и физико-технической обработки, 05.16.01– Металловедение и термическая обработка металлов), доцент, доцент Юргинского технологического института (филиала) Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

**Ведущая организация:** Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, г. Москва (отзыв ведущей организации утвержден проректором по науке и инновациям ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», д-ром техн. наук, проф. Филоновым Михаилом Рудольфовичем, заслушан на объединенном заседании кафедры порошковой металлургии и функциональных покрытий (ПМ и ФП) и Научно-учебного центра СВС (НУЦ СВС) и подписан заведующим кафедрой ПМ и ФП, директором НУЦ СВС, д-ром техн. наук, проф. Левашовым Евгением Александровичем, ученым секретарем кафедры ПМ и ФП, канд. техн. наук, доцентом кафедры ПМ и ФП Лопатиным Владимиром Юрьевичем, ученым секретарем НУЦ СВС, канд. техн. наук, доцентом кафедры ПМ и ФП Курбаткиной Викторией Владимировной).

По теме диссертации соискателем опубликовано 24 научных труда, в том числе 11 работ – в ведущих рецензируемых научных изданиях, рекомендованных для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени, и приравненных к ним, из них 4 работы – в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Scopus, Web of Science, соискателем получено 2 патента на изобретения. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об

опубликованных соискателем научных трудах. Наиболее значимые научные работы по теме диссертации:

1. Исследование металлического порошка на основе титана для селективного лазерного плавления /Килина П.Н., Морозов Е.А., Порозова С.Е., Солнышков И.В.// Современные проблемы науки и образования. 2015. № 2. ч. 2. С 143. (ВАК).

*В публикации соискателем представлен комплексный анализ физических, химических и технологических свойств порошка титанового сплава Ti6Al4V, раскрыта степень их влияния на процесс лазерного плавления.*

2. Using rapid prototyping technologies for creating implants with cellular structure/ Kilina P.N., Morozov E.A., Khanov A.M., Vasilyuk V.P., Sirotenko L.D.// Biosciences Biotechnology Research Asia (BBRA). 2015. Vol. 12. Iss. 2. P. 1691-1698. (Scopus).

*В работе соискателем описана спроектированная и на основе порошкового титанового сплава послойно выращенная модель макроструктуры, учитывающая архитектуру костной ткани, приведены результаты апробации в медицинских условиях.*

3. Анализ механических свойств ячеистых материалов, полученных методом селективного лазерного сплавления / Килина П.Н., Сиротенко Л.Д., Трапезников Н.В., Морозов Е.А., Абляз Т.Р., Муратов К.Р. // Металлообработка. 2019. № 2(110). С 29-34. (ВАК).

*В работе соискателем приведены результаты сравнения натурального и численного исследования физико-механических свойств ячеистой конструкции, полученной в процессе послойного лазерного синтеза порошка Ti6Al4V; приведено описание механизмов разрушения.*

4. Development of Cellular Construction for the Jaw Bone Defects Replacement by Selective Laser Melting / P. Kilina, L. Sirotenko, E. Morozov, T. Ablyaz, K. Muratov// Biomaterials in Orthopaedics and Bone Regeneration. Design and Synthesis.2019. – P. 41-53.

*В публикации соискателем приведено описание установленных закономерностей макро- и микроструктурообразования в процессе лазерного плавления ВПЯМ на основе порошка Ti6Al4V; установлена взаимосвязь между структурой, технологией и свойствами ячеистых образцов; приведены результаты прогнозирования прочностных и упругих свойств ВПЯМ; описаны механизмы формирования костной ткани.*

**Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:**

**выявлены зависимости между режимами лазерного плавления (мощность лазерного излучения, время засветки и расстояние между точками засветки), микроструктурой, фазовым составом материала каркаса ячеистых структур из порошкового титанового сплава и показателями качества элементов макроструктуры сформированного на его основе ВПЯМ (микропористость, микротвердость, глубина проплавления, геометрические размеры, размерная точность);**

**предложены модель и методика проектирования периодической ячеистой макроструктуры со сквозной регулируемой макропористостью и минимальной микропористостью элементов каркаса для создания методом селективного лазерного плавления (СЛП) ячеистых конструкций из порошкового титанового сплава;**

**разработана методика прогнозирования упругих и прочностных характеристик ВПЯМ, позволяющая создавать ячеистые структуры с заданными физико-механическими свойствами на основе управления параметрами макрогеометрии ВПЯМ и с учётом физико-механических свойств используемого для их создания порошкового сплава;**

**доказана возможность послойного синтеза ячеистых материалов с периодической макроструктурой на основе порошкового материала Ti6Al4V с диаметрами ячеек 2–3 мм и макропористостью 90–97%, соответствующих строению и физико-механическим свойствам костной ткани, и перспективность их применения для создания конструкций на основе высокопористых материалов.**

**Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что: установлены математические зависимости, позволяющие выявить и систематизировать критерии качества сплавленных треков (микропористость, микротвердость, глубина проплавления, геометрические размеры, размерная точность) и осуществлять на их основе выбор технологических параметров СЛП для создания ячеистых структур с заданными эксплуатационными свойствами;**

**изучены и раскрыты особенности аддитивного формирования структуры и свойств ВПЯМ на основе титанового порошкового сплава Ti6Al4V в процессе СЛП, позволяющие обеспечивать заданные геометрические, физико-механические и структурные параметры элементов конструкций из ячеистых металлических материалов;**

разработанные подходы и теоретические основы **внедрены** в учебный процесс кафедры «Инновационные технологии машиностроения» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» при подготовке магистров по направлению 15.04.01 Машиностроение.

Результаты диссертационного исследования Килиной П.Н. рекомендуется использовать в теории и практике порошковой металлургии и аддитивных технологий, машиностроительными предприятиями при проектировании, конструировании и изготовлении методом селективного лазерного плавления ячеистых и тонкостенных изделий с заданным уровнем физико-механических свойств из порошковых титановых сплавов, медицинской промышленности при изготовлении конструкций ячеистых имплантатов.

**Оценка достоверности результатов исследования** выявила, что:

- для экспериментальных работ использовалось современное отечественное и зарубежное сертифицированное оборудование и стандартные методики исследования структуры и свойств порошковых и высокопористых ячеистых материалов;
- установлена воспроизводимость результатов при большой статистике измерений;
- теория построена на известных научных подходах и фактах;
- установлено соответствие авторских результатов с результатами, представленными в независимых источниках по направлению тематики исследования, полученные результаты не противоречат известным научным представлениям и выводам, опубликованным в печатных изданиях;
- использованы современные методы статистической обработки экспериментальных данных.

**Личный вклад соискателя** состоит в: постановке цели и задач исследования; планировании и проведении факторных экспериментов по анализу влияния режимов лазерного плавления на структуру и свойства элементов каркаса ВПЯМ и установлении регрессионных зависимостей между ними; моделировании и изготовлении высокопористых ячеистых имплантатов с заданными упругими и прочностными свойствами; разработке методики прогнозирования физико-механических свойств ВПЯМ; обработке полученных данных и анализе результатов; формулировании основных положений и выводов; подготовке публикаций по материалам исследования.

**Диссертационный совет** пришел к выводу о том, что диссертация

представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным Положением о присуждении ученых степеней, утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, и Порядком присуждения ученых степеней в ПНИПУ, утвержденным приказом ректора ПНИПУ от 09 января 2018 г. № 1-О: в ней содержатся научно обоснованные новые технические и технологические решения и разработки в области проектирования и аддитивного формирования селективным лазерным плавлением ячеистых конструкций с заданными механическими характеристиками на основе порошкового титанового сплава, в том числе обеспечивающих достаточно быстрое заполнение дефектов костных структур, что имеет важное значение для теории и практики порошковой металлургии и расширения внедрения аддитивных технологий в медицинскую промышленность.

На заседании «22» декабря 2020 г. диссертационный совет Д ПНИПУ.05.06 принял решение присудить Килиной Полине Николаевне ученую степень кандидата технических наук (протокол заседания № 6).

При проведении открытого голосования диссертационный совет в количестве 13 человек, из них 6 докторов наук по специальности рассматриваемой диссертации, участвовавших в заседании, из 13 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за присуждение ученой степени – 13, против присуждения ученой степени – 0, воздержались – 0.

Председатель диссертационного совета Д ПНИПУ.05.06,

д-р техн. наук, доцент

/Оглезнева Светлана Аркадьевна/

Ученый секретарь диссертационного совета Д ПНИПУ.05.06,

канд. техн. наук

/Кульметьева Валентина Борисовна/

«24» декабря 2020 г.

