

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНОЙ КОМИССИИ

по защите диссертации В.Д. Лезина на тему «Получение пористых материалов из сверхупругих сплавов Ti-Zr-Nb методом селективного лазерного плавления для изготовления ортопедических имплантатов», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов» и состоявшейся в НИТУ МИСИС 18.06.26 г.

Диссертация принята к защите Диссертационным советом НИТУ МИСИС 13.04.26, протокол № 38.

Диссертация выполнена на кафедре обработки металлов давлением НИТУ МИСИС.

Научный руководитель – д.т.н., доцент, заведующий лабораторией сплавов с памятью формы НИТУ МИСИС Шереметьев Вадим Алексеевич.

Экспертная комиссия утверждена Диссертационным советом НИТУ МИСИС (протокол № 38 от 13.04.2026) в составе:

1. Кудря Александр Викторович, д.т.н., профессор кафедры металловедения и физики прочности НИТУ МИСИС – председатель комиссии;

2. Рыклина Елена Прокопьевна, д.т.н., ведущий научный сотрудник кафедры обработки металлов давлением НИТУ МИСИС;

3. Столяров Владимир Владимирович, д.т.н., главный научный сотрудник Института машиноведения РАН;

4. Страумал Борис Борисович, д.ф.-м.н., заведующий лабораторией поверхностей раздела в металлах федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики твёрдого тела имени Ю.А. Осипяна Российской академии наук;

5. Задорожный Владислав Юрьевич, д.т.н., профессор кафедры нанотехнологий и микросистемной техники федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы».

Ведущая организация - федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тульский государственный университет», г. Тула.

Экспертная комиссия отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

1. Установлены закономерности влияния параметров селективного лазерного плавления (СЛП) на геометрию ванны расплава в сплошном материале и пористых структурах с толщиной элементов 250–340 мкм из сплава Ti-Zr-Nb. Глубина ванны расплава в пористых материалах систематически превышает глубину в сплошном материале, причем эта разница возрастает с уменьшением толщины конструктивного элемента.

2. Определены оптимальные параметры СЛП (скорость сканирования 700–1000 мм/с, мощность лазера 45–75 Вт, объемная плотность энергии 50–72 Дж/мм<sup>3</sup>), обеспечивающие низкую дефектную пористость (<0,5 %), малую глубину ванны расплава и высокую геометрическую точность при изготовлении пористых структур трех типов: на основе ромбического додекаэдра, полиэдров Вороного и листового гироида.

3. Методами EBSD установлены различия в формировании структуры и кристаллографической текстуры  $\beta$ -фазы в сплошном и пористом материале Ti-Zr-Nb.

4. Экспериментально показано, что в сплаве Ti-Zr-Nb с пористостью 68–77 % реализуется более низкий модуль Юнга (0,8–1,5 ГПа) по сравнению с аналогами из Ti-6Al-4V при сопоставимой пористости и высокой усталостной прочности (до  $5 \times 10^6$  циклов).

5. Показано преимущество структуры типа «листовой гироид» в усталостной прочности по сравнению со структурами «ромбический додекаэдр» и «Вороной» при одинаковой пористости, что связано с более равномерным распределением напряжений.

#### **Теоретическая значимость работы:**

Впервые установлены закономерности влияния параметров СЛП на формирование ванн расплава, дефектную пористость и точность воспроизведения геометрии пористых структур из сверхупругого сплава Ti-Zr-Nb с толщиной конструктивных элементов 250–340 мкм. Реализация сверхупругости в пористых материалах Ti-Zr-Nb приводит к появлению двух пределов текучести (фазового и дислокационного) и снижению остаточной деформации при циклическом нагружении.

#### **Практическая значимость работы**

Разработанные режимы СЛП и термической обработки апробированы в ООО «КОНМЕТ» при изготовлении экспериментальных образцов и прототипов межпозвонковых кейджей для шейного отдела позвоночника с пористой структурой из сверхупругого сплава Ti-Zr-Nb. Результаты испытаний в соответствии с ГОСТ ISO 10993-1-2021 подтвердили биосовместимость материала, полученного методом СЛП, и его соответствие требованиям, предъявляемым к медицинским изделиям. Получен патент «Способ получения индивидуальных изделий из сплава системы Ti-Zr-Nb с памятью формы и низким модулем при помощи селективного лазерного плавления» № 2840523 от 26.05.2025

#### **Оценка достоверности результатов исследования**

Достоверность результатов исследований обеспечивается применением современного сертифицированного оборудования, использованием взаимодополняющих аттестованных методик, воспроизводимостью экспериментальных данных на достаточном количестве образцов, а также согласием полученных результатов с данными исследований, представленными в научной литературе. Основные результаты работы прошли апробацию на международных и всероссийских конференциях.

#### **Личный вклад соискателя**

Личный вклад соискателя состоит в анализе литературных источников, постановке цели и задач работы, проведении экспериментов, обработке и интерпретации полученных результатов, подготовке публикаций, рукописи диссертации и автореферата.

Основное содержание диссертации опубликовано в 6 печатных работах, из которых 5 научных статьи в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, имеется 1 патент.

Пункт 2.6 Положения о порядке присуждения ученой степени кандидата наук НИТУ МИСИС соискателем ученой степени не нарушен.

Диссертация В.Д. Лезина соответствует критериям п. 2 Положения о порядке присуждения ученых степеней в НИТУ МИСИС. Диссертация является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технологические разработки, имеющие существенное значение при получении сплавов медицинского назначения.

Экспертная комиссия приняла решение о возможности присуждения Лезину Вячеславу Дмитриевичу ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.1. – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Результаты голосования: при проведении тайного голосования экспертная комиссия в количестве 4 человек, участвовавших в заседании, из 5 человек, входящих в состав комиссии, проголосовала: за 4 человек, против нет недействительных бюллетеней нет

Председатель Экспертной комиссии



А.В. Кудря

18.06.26