

## Исследование структуры и механических свойств образцов из никелида титана, полученных методом SLM\*

К.А. Турова<sup>1</sup>, Г.А. Байгонакова<sup>1</sup>, Е.С. Марченко<sup>1</sup>

<sup>1</sup> *Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск, Россия*

Исследованы структура и механические свойства образцов из никелида титана, изготовленных методом селективного лазерного плавления, при скоростях сканирования от 200 до 1100 мм/с. Показано, что параметры селективного лазерного плавления оказывают существенное влияние на микроструктуру и прочностные характеристики материала. При низких скоростях сканирования (200 мм/с) формируется плотная структура с высокой прочностью (до 938 МПа), тогда как увеличение скорости сканирования (1100 мм/с) приводит к образованию дефектов неполного проплавления и снижению прочности до 530 МПа. Оптимальные характеристики достигаются при промежуточных скоростях сканирования (600–850 мм/с), обеспечивающих повышение деформации за счет более однородной микроструктуры. Полученные результаты позволяют оптимизировать режимы селективного лазерного плавления при изготовлении конструкций из сплавов TiNi.

**Ключевые слова:** *TiNi, порошок никелида титана, селективное лазерное плавление, аддитивные технологии, технические параметры.*

### Введение

Селективное лазерное плавление (SLM) представляет собой процесс послойного плавления металлического порошка лазерным лучом, движущимся по заранее заданной траектории в соответствии с трехмерной моделью изделия. Этот метод позволяет создавать изделия сложной геометрии с контролируруемыми микроструктурными и механическими свойствами [1, 2]. Технология SLM позволяет разрабатывать и изготавливать индивидуальные имплантаты с учетом анатомических особенностей пациента, что снижает риск осложнений и отторжения [3]. Метод широко применяется в медицине, в том числе в стоматологии (для изготовления коронок) и челюстно-лицевой хирургии (для реконструкции костной ткани) [4].

Одной из ключевых проблем процесса SLM остается образование дефектов – пор, пустот и трещин, существенно снижающих качество и надежность получаемых изделий. Ряд исследований [5–8] показал, что параметры лазерного воздействия (мощность, скорость сканирования, толщина слоя) оказывают значительное влияние на стабильность процесса плавления, формирование расплава и, как следствие, на микроструктуру материала. Оптимальный подбор технологических режимов позволяет снизить пористость и обеспечить равномерное формирование слоев [6–8].

Контроль дефектов остается одной из ключевых задач, поскольку их формирование определяется не только параметрами плавления, но и динамикой расплава, а также скоростью кристаллизации. Форма, размер и распределение пор оказывают значительное влияние на механические свойства материала; наиболее опасными являются крупные поры, которые могут инициировать разрушение даже при сравнительно малых нагрузках. Это подчеркивает необходимость точной настройки технологических параметров и контроля микроструктуры на всех стадиях производства [9, 10].

В настоящей работе исследуются ячеистые конструкции из никелида титана, изготовленные методом селективного лазерного плавления. Подобные структуры характеризуются высокой жесткостью при относительно небольшой массе и обеспечивают равномерное распределение нагрузки, что делает их перспективными для использования в качестве заменителей хрящевой и тонкой костной ткани [11, 12].

Большинство существующих исследований сосредоточено на изучении компактных или стохастически пористых образцов, тогда как регулярные ячеистые конструкции с направленным армированием остаются недостаточно исследованными. Подобная геометрия позволяет точнее моделировать реальные условия эксплуатации и анализировать влияние параметров процесса на формирование структуры и свойств материала. Исследование подобных структур способствует

\* Исследование проводилось при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2025-607 от 01.07.2025).