

## Влияние температуры диффузионного жидкофазного спекания на структуру и фазовый состав пористых сплавов на основе никелида титана\*

А.С. Гарин<sup>1</sup>, Д.А. Григорьев<sup>1</sup>, Г.А. Байгонакова<sup>1</sup>, Е.С. Марченко<sup>1</sup>, А.С. Жуков<sup>1</sup>

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

Исследовано влияние температуры диффузионного спекания (1230–1270 °С) на структуру и фазовый состав пористых сплавов на основе никелида титана (TiNi), полученных методом диффузионного жидкофазного спекания. Установлено, что повышение температуры спекания приводит к уменьшению пористости, изменению распределения пор по размерам и изменению фазового состава сплава. Определены оптимальные режимы спекания, обеспечивающие баланс между пористостью, структурой и фазовым составом, что является ключевым для получения материалов с заданными эксплуатационными характеристиками.

**Ключевые слова:** TiNi, диффузионное спекание, фазовый состав, структура, пористость, оптическая микроскопия, электронная микроскопия, рентгеновская дифракция.

### Введение

Сплавы TiNi обладают уникальным сочетанием эффекта памяти формы, сверхэластичности, высокой коррозионной стойкости и биосовместимости, что делает их востребованными в современной технике и медицине [1, 2]. Особый интерес представляют пористые сплавы на основе TiNi, которые благодаря пористо-проницаемой структуре обеспечивают адгезию и пролиферацию клеток, а также достаточную проницаемость для биологических жидкостей [3]. В тканевой инженерии и сосудистой хирургии данные материалы используются как каркасы для выращивания клеточных культур и имплантов, способствующие интеграции с окружающими тканями [2, 4].

В литературе описаны различные методы получения пористых сплавов на основе TiNi, начиная от традиционного порошкового спекания до селективного лазерного плавления и микроволнового спекания [2, 5–7]. Во всех этих методах ключевым параметром является температура спекания, определяющая интенсивность атомной диффузии, формирование межчастичных связей, сохранение необходимого уровня пористости и контроль фазового состава [8, 9]. Неправильно выбранный режим термообработки может приводить либо к недостаточному уплотнению и низкой прочности материала, либо к чрезмерной усадке пор и образованию хрупких интерметаллических фаз [10].

Несмотря на многочисленные исследования, в которых рассматривались отдельные аспекты микроструктуры и фазообразования при спекании TiNi, до сих пор отсутствует всесторонний анализ влияния температуры жидкофазного диффузионного спекания именно в узком температурном интервале 1230–1270 °С. Существует разрыв между данными, полученными при традиционном спекании при более низких температурах, и результатами экспериментов с применением более сложных технологий, где температурный диапазон, как правило, шире или включает другие легирующие добавки.

Цель настоящей работы – систематическое исследование влияния температуры спекания в диапазоне 1230–1270 °С на микроструктуру, распределение пор и фазовый состав пористых сплавов на основе TiNi, полученных методом жидкофазного диффузионного спекания. Установление оптимальных условий термообработки позволит создавать материалы с заданным балансом прочностных и функциональных характеристик, необходимых для биомедицинских материалов.

### Материалы и методы

В качестве исходного материала использовался порошок TiNi марки ПВ-Н55Т45, обладающий двойной морфологией – компактной и губчатой, сформировавшейся в ходе гидридно-кальциевой восстановительной реакции оксида титана. Порошок загружали в кварцевую цилиндрическую трубку и подвергали диффузионному жидкофазному спеканию в электровакуумной пе-

\* Исследование проводилось при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Соглашение № 075-15-2025-607 от 01/07/2025).