

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Национальный исследовательский Томский политехнический университет  
Национальный исследовательский Томский государственный университет  
Томский государственный архитектурно-строительный университет  
Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники

## **ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК**

Сборник научных трудов  
XII Международной конференция студентов и молодых ученых

**21–24 апреля 2015 г.**

## **PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT**

XII International Conference of students and young scientists

**21–24 April, 2015**

Томск 2015

УДК 50(063)  
ББК 20л0  
П27

**Перспективы развития фундаментальных наук** [Электронный П27 ресурс] : сборник трудов XII Международной конференция студентов и молодых ученых (Томск, 21–24 апреля 2015 г.) / Томский политехнический университет. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2015. – 1556 с.

ISBN 978-5-4387-0560-4

Сборник содержит труды участников XII Международной конференции студентов и молодых учёных «Перспективы развития фундаментальных наук». Включает доклады студентов и молодых ученых, представленные на секциях «Физика», «Химия», «Математика», «Биология и медицина», «Наноматериалы и нанотехнологии», «Технология», «Конкурс архитектурных работ», «IT-технологии и электроника».

Предназначен для студентов, аспирантов, молодых ученых, преподавателей в области естественных наук и высшей математики.

**УДК 50(063)**  
**ББК 20л0**

*Редакционная коллегия*

И.А. Курзина, доктор физико-математических наук, доцент ТПУ.

Г.А. Воронова, кандидат химических наук, доцент ТПУ.

С.А. Поробова, инженер ТГАСУ.

**ISBN 978-5-4387-0560-4**

© ФГАОУ ВО НИ ТПУ,  
электронный текст, 2015

**СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОРИСТОГО НИКЕЛИДА ТИТАНА, ПОЛУЧЕННОГО  
МЕТОДОМ СПЕКАНИЯ**

С.Г. Аникеев, В.Н. Ходоренко, В.Э. Гюнтер

Научный руководитель: д.т.н. В.Э. Гюнтер

Национальный Исследовательский Томский Государственный Университет

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050

E-mail: Anikeev\_Sergey@mail.ru

**STRUCTURE AND PROPERTIES OF POROUS MATERIALS TINI-BASED, PRODUCED BY  
SINTERING**

S.G. Anikeev, V.N. Hodorenko, V.E. Gunther

Scientific Supervisor: Dr. Sci. V.E. Gunther

Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

E-mail: Anikeev\_Sergey@mail.ru

***Annotation.** Described of the structure and properties of porous materials based on TiNi, that produced by sintering. Proved that sintering at  $T=1250$  ° C is optimal for producing porous samples with a homogeneous structure, a porosity of 56% and high strength properties. The average pore size of the material is 90 microns, a maximum pore size - 320 microns, the minimum - 2 microns. Pore size distribution is unimodal and narrow range of values.*

Сплавы на основе никелида титана являются одними из перспективных материалов в медицинской практике [1]. Пористые имплантаты на основе TiNi заслуживают особого внимания, так как позволяют решать сложнейшие задачи в различных областях медицины благодаря особым свойствам [2]. Известно, что пористый никелид титана является особой термостабильной системой, обладает высокой степенью смачиваемости тканевыми жидкостями и высоким уровнем биомеханической и биохимической совместимости [2].

Пористый никелид титана получают методами самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС) и спекания [2,3]. Методом СВС получают в основном крупные изделия, затем путем механических обработок создают необходимых размеров имплантаты для решения различных медицинских задач. Метод спекания позволяет изготавливать изделия малых размеров с минимальными допусками, что исключает их дальнейшую механическую обработку. Данная технология используется в частности для создания пористой части дентальных имплантатов. Спеченный материал характеризуется необходимыми структурными и высокими прочностными свойствами, имеет мелкопористую проницаемую структуру с развитой поверхностью стенок пор, однородным распределением пор по размерам, пористость до 70%. Метод получения пористого материала определяет его структурные особенности, фазово-химический состав и физико-механические свойства. Меняя характеристики режима спекания, можно получать различный по структуре и свойствам пористый материал.

Задача данной работы – изучение влияния температурного режима спекания на структурные и прочностные свойства пористого никелида титана.

Пористые образцы изготовили методом двукратного спекания с использованием порошков никелида титана марки ПВ-Н55Т45. Для получения компактной формы образцов первое спекание проводили при температуре 1200°C в течение 40 мин. Вторичное спекание проводили на молибденовой подложке при температурах 1220°C, 1240°C, 1250°C, 1260°C в течение 40 минут. Размер полученных образцов составил 3,5×3,5×30 мм. Металлографические исследования проводили на оптическом микроскопе Axiovert - 40 MAT. Микроструктуру сплавов, фазовый анализ, топографические исследования поверхности стенок пор проводили на растровом электронном микроскопе Philips SEM 515 и Quanta 200 3D. Прочностные свойства исследовали методом разрушения на изгиб.

Подробный анализ внутренней структуры материала, полученного в интервале температур вторичного спекания 1220-1260 °С и времени 40 мин, позволил определить режим спекания для получения пористого материала с оптимальными свойствами.

При температуре вторичного спекания 1220 °С и времени выдержки 40 минут были получены пористые образцы с максимальной степенью пористости - 67%. Поверхность отдельных стенок пор покрыта расплавом, что свидетельствует о начавшемся процессе порообразования, которое проходило в присутствии жидкой фазы. Количество расплава незначительно, так как наблюдается сохранение начального микрорельефа порошков никелида титана. Известно, что в процессе спекания порошка никелида титана первичной жидкой фазой является расплав  $Ti_2Ni$  [2]. Контакты порошинок образуются благодаря поверхностной диффузии частиц, но уже в присутствии жидкой фазы, что является отличительной чертой от режима первичного спекания. Процесс порообразования в данном образце является не завершенным. Спекание при температуре 1240° С не привело к существенному изменению структуры материала. Так же наблюдается изначальный рельеф порошков никелида титана, незначительно увеличилась площадь контакта частиц порошка. Пористость составляет 61%.

Качественно новая структура образцов формируется при температуре спекания 1250 °С. Состояние порового пространства соответствует типичному строению высокопористых материалов, полученных с участием жидкой фазы. Структура поверхности исходного порошка изменяется вследствие взаимодействия его с расплавом фазы  $Ti_2Ni$ . Места контакта отдельных порошинок не различаются, формируются межпоровые перемычки, наблюдается увеличение размера пор, пористость составляет 56%. Внутренняя структура материала слабо зависит от степени уплотнения шихты, а определяется процессами диффузии, переориентации и сближения порошинок  $TiNi$  во время спекания.

Дальнейшее повышение температуры спекания до 1260° С приводит к образованию массивных межпоровых перемычек, в которых находятся закрытые поры. Наблюдается высокая степень поперечной и продольной усадки. Пористость составляет 41%.

Структурные характеристики играют важную роль в выборе необходимого материала для решения конкретной медицинской задачи. Топография поверхности стенок пор, распределение пор по размерам, пористость – являются главными параметрами в выборе пористых материалов. Но существуют определенные требования к физико-механическим свойствам, таким как предел прочности и максимальная деформация разрушения.

В таблице 1 приведены прочностные характеристики спеченных материалов, полученных при различных температурных режимах. Предел прочности ( $\sigma_b$ ) и максимальная деформация разрушения ( $\epsilon$ ) растут с повышением температуры спекания. Установлено, что такая зависимость обусловлена несколькими факторами: однородностью макроструктуры, фазово-химической однородностью, а также присутствием в матрице упрочняющих мелкодисперсных частиц  $TiNi_3$ . Процесс спекания осуществляется за счет появляющейся жидкой фазы  $Ti_2Ni$ , которая изменяет концентрацию титана и никеля в матрице. Кроме того, в процессе спекания происходит сегрегация титана на образующиеся свободные поверхности и образование оксидного слоя [4]. Это приводит к отклонению от стехиометрического состава матрицы  $TiNi$ , обогащению ее никелем и, как следствие, кристаллизации частиц  $TiNi_3$ , которые значительно упрочняют матрицу.

Таблица 1

*Прочностные характеристики пористого никелида титана, полученного методом спекания при различных температурных режимах*

Режим получения	Пористость, П, %	Предел прочности, $\sigma_b$ , МПа	Относительная деформация при разрушении, $\epsilon$ , %
$T_2=1220$ °С	67	4	3
$T_2=1240$ °С	61	28	4
$T_2=1250$ °С	56	76	5
$T_2=1260$ °С	41	201	6

Таким образом, определен оптимальный режим спекания порошка никелида титана при  $T=1250$  °С для получения пористых образцов с однородной макроструктурой, фазово-химической однородностью и высокими прочностными свойствами. Средний размер пор для данного материала составил 90 мкм, максимальный размер пор - 320 мкм, минимальный – 2 мкм, пористость - 56 %. Распределение пор по размерам одномодальное и находится в узком интервале значений.

*Статья написана в рамках научного проекта, выполненного при поддержке Программы «Научный фонд Томского государственного университета им. Д.И. Менделеева» в 2015 – 2016 гг.*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Материалы и имплантаты с памятью формы в медицине / Под ред. проф. В.Э.Гюнтера. – Томск: Изд-во «НПП»МИЦ», 2014. – 342 с.
2. Гюнтер В.Э., Ходоренко В.Н., Чекалкин Т.Л. и др. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Т. 1. – Томск: Изд-во «МИЦ», 2011. – 534 с.
3. Савицкий А.П. Жидкофазное спекание систем с взаимодействующими компонентами. – Новосибирск: Изд-во «Наука. Сиб. Отд-ние», 1991. – 184 с.
4. Ясенчук Ю.Ф., Ходоренко В.Н., Гюнтер В.Э. Сегрегация титана при термообработке пористого никелида титана // Имплантаты с памятью формы. – 2005. – № 1-2. – С. 14-18.