

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 ТИТАН ПОЛУЧЕННОГО
РЕАКЦИОННЫМ СПЕКАНИЕМ С ДОБАВКАМИ СО И МО**

Н.В. Артюхова, Ю.Ф. Ясенчук, К.В. Алмаева

Научный руководитель: к.ф-м.н. Ю.Ф. Ясенчук

Национальный Исследовательский Томский Государственный Университет

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

E-mail: nii_mm@sibmail.com

**THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF POROUS TINI-BASED Mo AND Co DOPED ALLOY
FORMED BY THE REACTION SINTERING**

N.V. Artvukhova, Yu.F. Yasenчук, K.V. Almaeva

Scientific Supervisor: Ph.D. Yu.F. Yasenчук

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

E-mail: nii_mm@sibmail.com

***Annotation.** The structure and properties of porous TiNi-based alloys formed by reaction sintering of Ti and Ni powders with Co and Mo additions. It has been shown that alloying by Co and Mo similarly inhibit nickel powder compaction in the initial stage of sintering. Maximum irreversible strain of porous samples when loading in the austenitic state is fixed with Co addition, minimum one - without any addition. Co addition leads to the fact that the martensitic transformation (MT) in the parent phase becomes as close as to a one-step and Mo addition does the MT becomes more uniform. Both Co and Mo additions result in the increase in the maximum reversible strain due to formation of martensite temperature.*

При отливке сплавов никелида титана часто используют легирующие добавки Мо и Со. Влияние этих элементов на свойства никелида титана хорошо изучено и широко применяется [1]. Однако применение легирующих добавок в порошковой металлургии пористых сплавов никелида титана имеет свои особенности и изучено недостаточно. Обязательным условием спекания высокопористых сплавов является малое количество жидкой фазы для предотвращения усадки и сохранения регулярности пористой структуры. Реакционное спекание системы Ti–Ni активирует плавящаяся вблизи 950°C фаза Ti₂Ni. Массоперенос и выравнивание фазового состава в спекаемой системе затруднен из-за малого количества расплава [2, 3].

Цель данной работы – исследовать влияние легирующих добавок кобальта и молибдена на структуру и свойства пористого никелида титана полученного реакционным спеканием системы Ti–Ni.

Цилиндрические образцы Ti₅₀Ni₅₀, Ti₅₀Ni₄₉Co₁, Ti₅₀Ni₄₉Mo₁, размером 48×8 мм, получали методом реакционного спекания в кварцевых трубках при температуре 950 °С, время выдержки 1,5 часа. Использовали порошки никеля марки ПНК-ОТ4 и титана марки ПТЭМ со средним значением размера частиц 40–60 мкм, а также порошки Со марки ПК-ГУ и Мо марки МПЧ. Для дальнейших исследований спеченные пористые цилиндры резали электроискровым методом на плоские образцы размером 35×7×1 мм. Исследование многократного эффекта памяти формы проводили, деформируя образцы методом изгиба, структуру пористых образцов изучали по шлифам, используя световую микроскопию.

Фазовая структура полученных пористых образцов хорошо дифференцирована и позволяет рассматривать ее в виде набора реакционных ячеек (РЯ). РЯ представлена губчатым массивом на основе никелевых частиц (Ni_γ) находящихся на периферии ячейки, ядром ячейки на основе фазы (Ti_β) и оболочками вокруг ядра на основе фаз (Ti_2Ni , $TiNi$, $TiNi_3$) (рис. 1) [3].

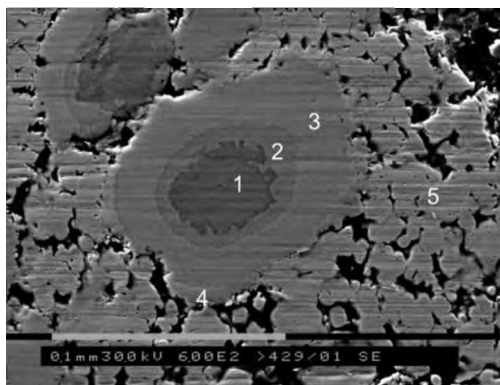


Рис. 1 Реакционная ячейка после твердофазной стадии реакционного спекания: 1 – Ti_β , 2 – Ti_2Ni , 3 – $TiNi$, 4 – $TiNi_3$, 5 – Ni_γ .

Изучая структуру и механическое поведение образцов, учитывали влияние только двух фаз $TiNi$ и Ni_γ . Это связано с тем, что фаза $TiNi$ обладает эффектом памяти формы, а Ni_γ занимает большую часть сплава и заметно влияет на механическое поведение образца.

При легировании структура в целом не меняется: РЯ сохраняются, фаза $TiNi$ визуальнo не изменяется, а вот в губчатом массиве Ni_γ визуальнo обнаружены заметные изменения. Это проявляется в торможении его уплотнения на начальном этапе спекания, характерном для образцов $Ti_{50}Ni_{50}$ (рис 2, б). При добавке Co и Mo губчатый массив остается рыхлым, притом, что поверхность частиц Ni становится сглаженной (рис. 2, в,

г). Легирующие добавки и Co и Mo похожим образом повлияли на уплотняемость и морфологию никелевого массива, но по-разному на физикомеханические свойства фазы $TiNi$.

Параметры эффекта памяти формы изучали по температурным зависимостям макродеформации, полученных при нагружении методом изгиба. Необратимая деформация образца при нагружении в высокотемпературном состоянии, характеризует суммарный вклад необратимой пластической деформации губчатого никелевого массива и мартенситной деформации, связанной с возникновением мартенсита напряжения в аустените под нагрузкой.

Так как объемная доля губчатого массива значительно превышает доли других частей РЯ, вероятно его вклад в необратимую деформацию также превышает вклад мартенситной деформации фазы $TiNi$.

Обнаружено, что максимальное значение необратимой деформации при нагружении образцов в аустенитном состоянии наблюдается у сплава $Ti_{50}Ni_{49}Co_1$ (рис. 2, а). Необратимая деформация образца $Ti_{50}Ni_{49}Mo_1$ в 3 раза меньше соответствующей величины у $Ti_{50}Ni_{49}Co_1$. Наблюдаемое при спекании реакционной системы $Ti-Ni$ снижение уплотняемости массива никеля с легирующими добавками вызвано реакционной диффузией Co и Mo в массив никеля на стадии твердофазного спекания.

Легирование молибденом снизило пластичность никеля почти в два раза. Возможно, это вызвано реакционной диффузией Mo в губчатый массив никеля, образованием мелкодисперсной интерметаллической фазы системы $Mo-Ni$, которая упрочняет твердый раствор Ni_γ . В образце $Ti_{50}Ni_{49}Co_1$ также обнаружено упрочнение Ni_γ под влиянием Co , меньшее, чем в $Ti_{50}Ni_{49}Mo_1$, но большее, чем в $Ti_{50}Ni_{50}$.

Таким образом, добавки Co и Mo сдерживают уплотнение никелевого массива на твердофазной стадии спекания реакционной системы $Ti-Ni$. Это, в свою очередь, увеличивает величину необратимой деформации образца с большей пористостью. Упрочнение массива никеля на начальной стадии спекания препятствует его дальнейшему уплотнению и росту контактной поверхности частиц никеля, что

ограничивает диффузионный массоперенос на более поздних этапах спекания системы. Обе добавки дают прирост максимальной накопленной деформации, но Со несколько больше, чем Мо.

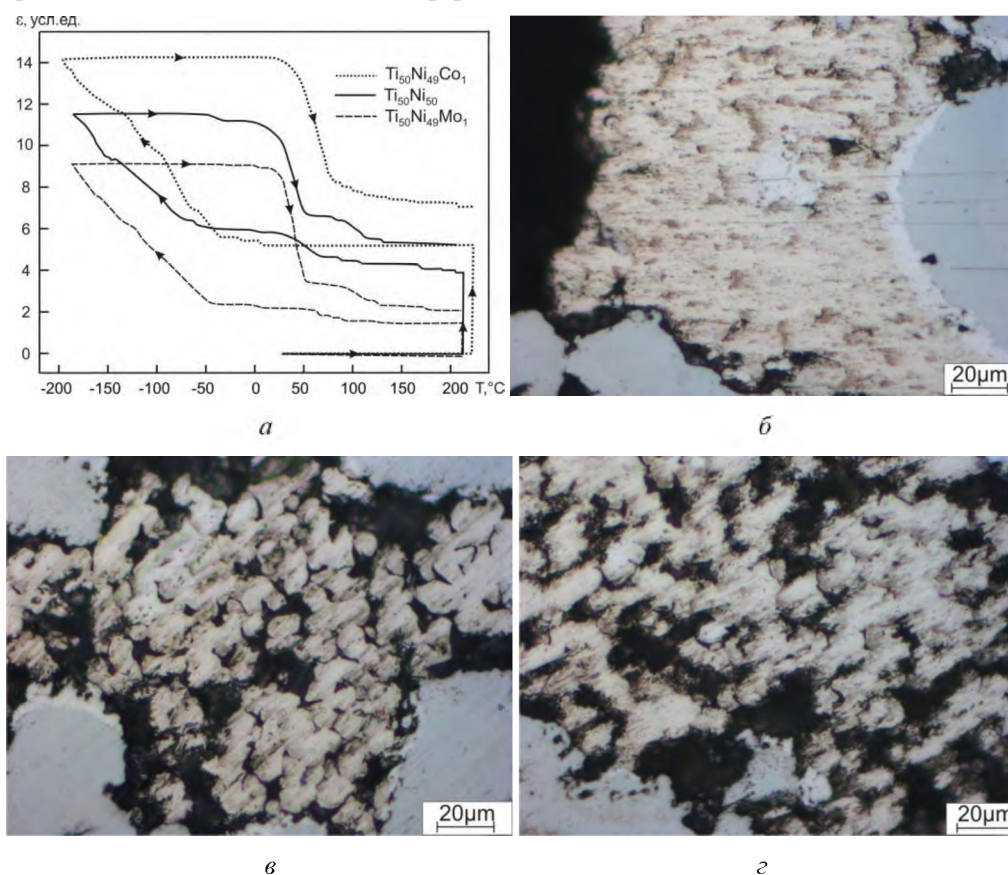


Рис. 2. Свойства и структура пористых сплавов на $TiNi(Co, Mo)$, полученных реакционным спеканием при $950^{\circ}C$ и 1,5 часовой выдержке: а – температурная зависимость макродеформации; б, в, г – губчатый массив никеля в пористом спеченном сплаве $TiNi$; б – без добавок; в – с добавкой Со; г – с добавкой Мо

Добавка Со приводит к тому, что переход становится близким к одностадийному, а Мо приводит к тому что мартенситное превращение становится более однородным. И Со и Мо приводят к увеличению максимальной накопленной деформации в результате образования температурного мартенсита.

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. Гюнтер В.Э., Ходоренко В.Н., Чекалкин Т.Л. и др. Медицинские материалы и имплантаты с памятью формы. Том 1. Томск: Изд-во МИЦ, 2011, С. 534.
2. Артюхова Н.В., Моногенов А.Н., Ясенчук Ю.Ф., Гюнтер В.Э. Особенности структуры пористого никелида титана при реакционном спекании с добавкой алюминия // Порошковая металлургия и функциональные покрытия. – 2010. – № 3. – С. 44–49
3. Whitney M., Corbin S. F., Gorbet R.B. Investigation of the mechanisms of reactive sintering and combustion synthesis of NiTi using differential scanning calorimetry and microstructural analysis // Acta materialia. – 2007. – № 56. – P. 559