



Акционерное общество
«Ведущий научно-исследовательский
институт химической технологии»
(АО «ВНИИХТ»)

Каширское ш., д.33, Москва, 115409
Телефон: (499) 324 61 55 Факс: (499) 324 54 41
e-mail: info@vniiht.ru

09.10.2019 № 063-01-05-1/1636

На № _____ от _____ г

ФГБОУ ВО

«Московский авиационный институт
(Национальный исследовательский
университет)» (МАИ)

Учёному секретарю

диссертационного совета

Д 212.125.15 д.т.н. С.В. Скворцовой

ОТЗЫВ

к.х.н., с.н.с. Коцаря Михаила Леонидовича на автореферат диссертации Д.Е. Гусева по теме: «Физико-химические принципы управления структурой и свойствами сплавов на основе никелида титана для обеспечения регламентированных характеристик работоспособности функциональных конструкций», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 - «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Коцарь М.Л., кандидат химических наук, старший научный сотрудник, начальник лаборатории «Чистых металлов и функциональных материалов» АО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии» (АО «ВНИИХТ»). Адрес: 115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 33, тел. +7(499) 324-01-04*5-44, E-mail: kotsar@vniiht.ru

Представленная диссертационная работа посвящена решению важной научной проблемы – установлению физико-химических принципов управления структурой и свойствами сплавов на основе никелида титана для обеспечения регламентированных характеристик работоспособности функциональных конструкций.

Применение сплавов на основе никелида титана для изготовления функциональных изделий является весьма перспективным направлением. Обладая уникальным сочетанием физико-механических и служебных свойств, таких как эффект памяти формы, сверхупругость, высокая коррозионная стойкость, сплавы на основе никелида титана могли бы найти широкое

применение в авиационной промышленности. Однако сложность влияния химического состава сплава, режимов температурного и деформационного воздействия на свойства эффекта памяти формы и обеспечение регламентированного уровня функциональных свойств сдерживает применение этого материала. Поэтому разработка физико-химических принципов управления структурой и функциональными свойствами этих сплавов с целью обеспечения заданных характеристик работоспособности серийно выпускаемым изделиям является, безусловно, *актуальной* проблемой.

Научная новизна работы состоит:

- в предложении использования понятия о первой и второй критических концентрациях никеля в В2-фазе для оценки склонности сплавов на основе никелида титана к преобразованию структуры при старении;
- в установлении влияния критических концентраций на комплекс функциональных свойств исследуемых сплавов;
- во введении понятий критических напряжений и деформаций сплавов;
- в разработке новой математической модели, описывающей усталостную долговечность сплавов на основе никелида титана в виде степенной функции от амплитуды деформации.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается:

- в установлении закономерности влияния структуры и преобладающих механизмов формоизменения материала на деформационно-силовые свойства и усталостную долговечность сплавов на основе никелида титана;
- в развитии автором представления о критических степенях деформации и критических напряжениях, позволяющего ясно очертить допустимые пределы температур, деформаций и напряжений, ограничивающих возможность безотказного использования исследуемых сплавов и изготовленных из них функциональных конструкций;
- в разработке и опробовании всего технологического цикла изготовления функциональных изделий с памятью формы.

Диссертация изложена на 374 страницах машинописного текста и содержит 120 рисунков и 43 таблицы. Она состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы из 227 наименований и приложения.

Использованные в работе современные экспериментальные (рентгеноструктурный анализ, электронная микроскопия, дифференциальная сканирующая калориметрия и др.) и аналитические методы исследования, поверенные средства измерения и оборудование, статистическая обработка экспериментальных данных обосновывают предложенные технологические рекомендации, одновременно подтверждая *достоверность* полученных автором результатов и высокую научно-техническую квалификацию диссертанта.

Во введении обоснована актуальность работы. В результате критического анализа достигнутого уровня и недостатков известных технологий сформулированы цели и задачи диссертационного исследования.

В первой главе рассмотрено влияние методов получения слитков на структуру и свойства сплавов на основе никелида титана. Установлено, что в структуре сплавов, получаемых по промышленной технологии, всегда присутствуют богатые титаном фазы типа $Ti_2Ni / Ti_4Ni_2(O, N)$, даже если концентрация никеля в В2-фазе превышает стехиометрический состав. Объёмная доля этих фаз зависит от методов выплавки слитков, чистоты используемой шихты, а также от температурно-деформационных режимов переработки слитка в полуфабрикат и изделие. Показано, что в качестве основного критерия, характеризующего свойства промышленных двойных сплавов на основе никелида титана, целесообразно использовать концентрацию никеля в закаленной В2-фазе. Предложен метод расчёта этой концентрации и получены уравнения регрессии с коэффициентом аппроксимации выше 0,95, связывающие температуры восстановления формы с содержанием никеля в В2-фазе в закаленном состоянии.

Вторая глава посвящена изучению влияния содержания никеля в В2-фазе на структуру и свойства сплавов на основе никелида титана. Показано, что увеличение содержания никеля выше первой критической концентрации

$x_{кр1} = 51,7$ ат. % Ni способствует росту чувствительности структуры и свойств к режимам термической обработки (закалке и старению). Причём увеличение содержания никеля свыше второй критической концентрации $x_{кр2} = 52,9$ ат. % Ni может приводить к образованию бимодальной структуры частиц богатых никелем интерметаллидов в результате применения ступенчатого старения в интервале температур $450 \div 550$ °С.

В третьей главе работы приведено влияние структуры на механизмы формоизменения при реализации ЭЗФ и СУ сплавов на основе никелида титана. Введены понятия о критических напряжениях и деформациях ($\tau_{кр}^{0,3}$ и $\gamma_{кр}^{0,3}$, соответственно), при превышении которых в материале развивается скольжение. Установлено, что наиболее высокий уровень критических деформаций ($\gamma_{кр}^{0,3} = 9 \div 12$ %) в нестареющих сплавах на основе никелида титана достигается в случае формирования в них полигонизованной или рекристаллизованной структуры. В стареющих сплавах с содержанием никеля в закаленной В2-фазе в интервале от первой ($x_{кр1}$) до второй ($x_{кр2}$) критической концентрации максимальные критические деформации ($\gamma_{кр}^{0,3} = 10 \div 11$ %) достигаются после рекристаллизационного отжига и последующего старения при $450 \div 520$ °С. В этом, в том числе, заключается **научная новизна** диссертационной работы Д.Е. Гусева.

В четвёртой главе приведены результаты исследования влияния структуры на функциональные свойства сплавов на основе никелида титана. Показано, что максимальные величины реактивных напряжений (σ_r), а также удельной работы восстановления формы (a_B) в условиях постоянного внешнего противодействия зависят не только от условий испытаний, но и от того, насколько упрочнена В2/В19'-матрица сплава (чем раньше в матрице сплава развивается скольжение, тем меньше максимальная величина σ_r и a_B) и, следовательно, определяется уровнем критических напряжений $\sigma_{кр}^{0,2}$ ($\tau_{кр}^{0,3}$) и деформаций $\epsilon_{кр}^{0,2}$ ($\gamma_{кр}^{0,3}$).

В пятой главе проведён анализ и предложены методы управления характеристиками медицинских изделий сплавов на основе никелида титана. Эти методы состоят в выборе метода плавки слитка сплава, номинального химического состава сплава, технологии обработки полуфабрикатов давлением, а также технологии придания формы и окончательной термической обработки изделий с учётом особенностей их конструкции и назначения.

Изложенное подчёркивает ***ценность выполненного исследования для науки и практики.***

Всё вышесказанное свидетельствует о *научной новизне и практической значимости* диссертационной работы Г.Е. Гусева. К очевидным достоинствам диссертации следует отнести также использование современных научных методов, статистическую обработку данных, глубину теоретических посылок и обоснований.

Основные результаты работы доложены и обсуждены на 9 международных и всероссийских научных конференциях и семинарах. По теме диссертации *опубликовано 72 работы, в том числе 33 статьи (18 статей в списке публикаций автореферата) в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК.*

По автореферату имеются следующие замечания:

1. Описание объектов, методов, методик исследований их характеристик следовало вынести в отдельный раздел диссертации.

2. Диссертантом предлагается метод расчёта концентрации никеля в В2-фазе, учитывающий номинальное содержание никеля в сплаве и объёмную долю богатых титаном фаз $Ti_2Ni/Ti_4Ni_2(O,N)$. Однако в автореферате не указано, при каком увеличении и в каком состоянии (литом или после горячей обработки давлением) следует экспериментально определять количество богатых титаном фаз. Согласно стандарту ASTM F 2063-12 в полуфабрикатах NiTi медицинского назначения после горячей обработки давлением объёмная доля не должна превышать 2,8 % при измерении при 400-500 кратном увеличении. При этом объёмные доли, приведённые в автореферате, для всех ис-

следованных методов литья и различных шихтовых материалов минимум в 2 раза выше указанной величины.

3. Отсутствие в тексте автореферата и списке публикаций сведений о защите созданных технических решений патентами РФ. Это усилило бы *Новизну, существенные отличия и положительный эффект* от использования результатов работы.

Представленный на отзыв автореферат диссертации Д.Е. Гусева и совокупность опубликованных работ свидетельствуют, что диссертация актуальна, содержит решение задачи, имеющей значение для соответствующей отрасли знаний, выполнена тщательно с методической точки зрения, обладает научной новизной, представляет ценность для науки и практики и соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении учёных степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, предъявляемым к докторским диссертациям. Автор заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов».

Начальник лаборатории «Чистых металлов и функциональных материалов» АО «Ведущий научно-исследовательский институт химической технологии» (АО «ВНИИХТ») кандидат химических наук, старший научный сотрудник

Коцарь Михаил Леонидович

Подпись к.х.н., с.н.с. Коцаря М.Л. заверяю:

Учёный секретарь АО «ВНИИХТ», к.т.н.

С.Л. Кочубеева

3-МК
М.Л. Коцарь
08.10.2019
Тел. +7(499) 324-01-04*5-44
E-mail: kotsar@vniiht.ru
Адрес: 115409, г. Москва, Каширское шоссе, д. 33