

ОТЗЫВ

официального оппонента

на диссертационную работу Володько Сергея Сергеевича по теме:

«Разработка технологии получения компактных заготовок из порошковых интерметаллидов TiNi и (Ti,Hf)Ni на основе гидридно-кальциевого синтеза», представленную на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 «Порошковая металлургия и композиционные материалы»

Диссертация Володько С.С. посвящена разработке технологии получения порошковых сплавов на основе никелида титана (Ti-Ni), как двухкомпонентного, так и дополнительно легированного гафнием (Ti-Ni-Hf). Сплавы никелида титана являются актуальными материалами для создания функциональных конструкций и устройств, так как обладают такими свойствами, как эффект памяти формы и сверхупругость, что позволило им найти множество практических применений в медицине и технике. Развитие авиакосмической отрасли породило ряд требований к сплавам с памятью формы, в частности, повышенный температурный интервал реализации функциональных свойств от 150 °C и выше, что может быть достигнуто легированием никелида титана. Однако получение прецизионного бинарного, а тем более тройного сплава на основе Ti-Ni является нетривиальной задачей. В частности, проблемы ликвации при кристаллизации в литевых технологиях приводят к образованию паразитных фаз, которые изменяют нежелательным образом структуру и свойства конечного продукта. В связи с этим, в своей работе диссертанту удалось разработать новый технологический подход для получения компактных заготовок из сплавов с памятью формы, который основан на принципах и методах порошковой металлургии.

Актуальность работы также подтверждается тем, что она выполнена в рамках трех грантов РФФИ и при поддержке гранта Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Структура и содержание работы

Построение диссертационной работы логично вытекает из введения, 5 глав, выводов и списка используемой литературы на 112 источников. Работа изложена на 110 страницах машинописного текста и включается в себя 49 рисунков и 15 таблиц.

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи диссертации, отражены научная новизна и практическая значимость работы.

Первая глава представляет собой обзор научно-технической литературы по тематике диссертационного исследования. Рассмотрены существующие технологии получения сплавов на основе Ti-Ni, основывающиеся как на традиционных способах получения материалов – плавление и кристаллизация расплава, а также на методах порошковой металлургии. Рассмотрены их преимущества и недостатки.

Во второй главе изложены используемые в работе материалы и методики исследований. Описан технологический процесс получения порошков сплавов и компактных заготовок и их последующая термомеханическая обработка. Стоит отметить, что автором используется множество современных исследовательских методик, в том числе рентгеноструктурный анализ, сканирующая электронная микроскопия и т.д., которые взаимно дополняют друг друга и делают работу более комплексной.

В третьей главе рассматривается синтез порошка сплава на основе интерметаллида (Ti,Hf)Ni и структурообразование при консолидации. Установлена возможность получения Ti-Ni, легированного Hf, с гомогенным фазовым составом. Показана возможность получения компактных заготовок из Ti-Ni-Hf с закрытой пористостью методом прессования и вакуумного спекания. Показано, что в образце с высокой неоднородностью химического состава интервал обратного мартенситного превращения (ΔA) достигает 114 °С. По мере повышения однородности сплава в ходе термических обработок интервал мартенситного превращения сужается до ~ 64 °С.

В четвертой главе исследуется деформационное поведение полученного сплава Ti-Ni-Hf при помощи испытаний на осадку. Автором построены так называемые «карты деформаций» на основе которых установлена область наиболее благоприятных температурно-скоростных параметров деформации порошкового сплава Ti-50,3Ni-20Hf (ат.%), которая находится в диапазоне 850 – 1000 °С и 0,003 – 0,05 с⁻¹.

Пятая глава посвящено исследованию влияния термомеханической обработки на структуру и свойства сплавов на основе бинарного сплава Ti-Ni. Автором показано, что наиболее оптимальной температурой термомеханической обработки является температура 900 °С, что связано с наиболее высокими механическими и функциональными свойствами конечного продукта. Наилучший комплекс механических свойств и пластичности проявляет порошковый сплав TiNi после термомеханической обработки при 900 °С ($\sigma_{0,2}$ = 600 – 810 МПа, σ_b = 1160 – 1390 МПа, δ = 11,3 – 14,5 %) Показано, что термомеханическая обработка может приводить к гомогенизации, что отражается в сужении температурных интервалов мартенситных превращений со ~100 °С до ~40-50 °С. Также получены довольно высокие значения восстановленной деформации при комбинации эффекта памяти формы и сверхупругости. Так, например, максимальная величина обратимой деформации 16 и 14 % достигается в образцах после экструзии и радиально-сдвиговой прокатки, что является значимым результатом.

Научная новизна работы состоит в следующем

В качестве научной новизны несомненно можно рассматривать то, что в работе автор впервые получил порошковый сплав Ti-Ni-Hf методом гидридно-кальциевого синтеза и исследовал его структуру и свойств как в порошковом, так и в компактном состояниях. На основе многочисленных экспериментов, а именно рентгеноструктурного анализа и сканирующей электронной микроскопии, автор предложил механизм синтеза интерметаллида Ti-Ni-Hf в условиях гидридно-кальциевого процесса.

Для бинарного сплава Ti-Ni и сплавов на его основе, полученных методом гидридно-кальциевого синтеза, установлены общие закономерности формирования структуры и свойств при горячей пластической деформации (ротационная ковка, радиально-сдвиговая прокатка и экструзия). Соответственно, получены новые данные о влиянии различных схем термомеханического воздействия на структуру и свойства.

Практическая значимость работы

Диссертационная работа также имеет высокую практическую значимость. Показано, что в зависимости от схемы и режимов ТМО можно получать как реализацию сверхупругости, так и односторонний эффект памяти формы с высокими степенями обратимой деформации в сочетании с узким интервалом формовосстановления в

порошковом бинарном сплаве Ti-Ni. Более того определено, что для бинарных порошковых сплавов Ti-Ni структура с размером зерна менее 40 мкм формирует уровень механических свойств, удовлетворяющих требованиям ТУ 1-809-215-85 на литой горячедеформированный сплав ТН-1.

В работе получены важные для практического применения результаты, в частности, по результатам исследования деформационного поведения порошкового сплава Ti-50,3Ni-20Hf (ат.%) в условиях горячей деформации методом одноосного сжатия были построены карты деформации, где определена область температурно-скоростных параметров (850 – 1000 °С и скоростей деформации 0,003 – 0,05 с⁻¹), где предпочтительно осуществлять деформацию данного сплава. На основе полученных карт предложены рекомендации по выбору схем и режимов горячей пластической деформации. К практической значимости необходимо отнести то, что на созданную технологию получения заготовок сплава Ti-Ni-Hf получен патент РФ № 2708487 от 29.05.2019 на изобретение «Способ получения заготовок сплавов TiHfNi».

Публикации и апробация работы

Результаты диссертационной работы опубликованы в 9 печатных работах, восемь из которых опубликованы в рецензируемых журналах из списка ВАК (6 переводных версий статей опубликованы в журналах международной базы данных Scopus). Одна работа опубликована только в журнале базы данных Scopus. У автора имеется патент на изобретение РФ. Объем и качество опубликованных работ полностью соответствуют критериям к публикациям диссертационной работы, предъявляемыми ВАК.

Степень обоснованности и достоверности

Проведенные в работе исследования выполнены на современном оборудовании с использованием стандартизированных и современных методик. Результаты апробированы на множестве научных конференциях, что в совокупности указывает на достоверность полученных результатов.

Однако работа не лишена недостатков, а в качестве замечаний можно указать следующие:

1. В главе 3 автор отмечает, что полученные гидридно-кальциевым методом порошки сплава Ti-Ni-Hf имеют неоднородное распределение элементов, что создает необходимость в гомогенизационном отжиге компактных спеченных заготовок. Возможно, решением проблемы получения гомогенных порошковых сплавов могла выступить механическая активация исходных оксидов с целью получения более однородной смеси.

2. В работе множество упоминаний о диффузионном характере взаимодействия компонентов сплава. Однако в работе нет диффузионных расчетов и не представлены коэффициенты диффузии.

3. В работе получены высокие значения обратимой деформации при реализации эффектов сверхупругости и памяти формы: суммарно 14-16%. Такие значения превышают традиционно получаемые для этих сплавов. Представляется интересным исследование и разделение механизмов формовосстановления при этих эффектах.

Однако сделанные замечания не снижают научную и практическую значимость данной работы.

Заключение

Считаю, что диссертационная работа Володько С.С. «Разработка технологии получения компактных заготовок из порошковых интерметаллидов TiNi и (Ti,Hf)Ni на основе гидридно-кальциевого синтеза», представляет собой самостоятельное научно-квалификационное исследование, результаты которого имеют важное практическое значение.

Работа соответствует научной специальности 2.6.5 «Порошковая металлургия и композиционные материалы» и отвечает критериям Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24 сентября 2013 г, а ее автор Володько Сергей Сергеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.6.5 – «Порошковая металлургия и композиционные материалы».

Официальный оппонент
К.т.н., с.н.с. лаб. УМЗМ, в.н.с. каф. ОМД
Доцент каф. ОМД.

 С.М. Дубинский

«31» октября 2012 г.

Подпись Дубинского С.М. заверяю

Выражаю свое согласие на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Володько С.С.

Дубинский Сергей Михайлович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник лаборатории «Ультрамелкозернистые металлические материалы», доцент и ведущий научный сотрудник кафедры «Обработка металлов давлением» НИТУ МИСИС.

Специальность кандидатской диссертации 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

Адрес: 119049, Москва, Ленинский пр-кт, д. 4, стр. 1.

Тел: +7-(916)-847-05-39,

e-mail: sdubinskiy@gmail.com

ПОДПИСЬ

Проректор

и обществ

НИТУ

МИСИС

МИСИС

МИСИС

МИСИС

МИСИС

МИСИС

МИСИС

ЗАВЕРЯЮ

И.М. Исаев