

«Утверждаю»

Зам. директора Федерального  
государственного бюджетного

учреждения науки

Институт металлургии и материаловедения  
им. А.А. Байкова Российской академии наук,

член-корр. РАН

А.Г. Колмаков

«31» мая 2018 г.



### ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Поляковой Кристины Александровны «Формирование фазы  $Ti_3Ni_4$ , стадийность мартенситных превращений и эффекты памяти формы в сплаве Ti–Ni с широким диапазоном размеров зерна», представленной на соискание ученой

степени кандидата технических наук по специальности

05.16.01 – «Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов»

#### *Актуальность работы*

В последние десятилетия устройства, изготовленные из сплавов с эффектом памяти формы (ЭПФ) на основе никелида титана, широко используются в медицинской и других областях техники. При работе изделий из сплавов с памятью формы важными функциональными характеристиками являются: температурный интервал восстановления формы, максимальная обратимая и полная обратимая деформации, обратимый ЭПФ (ОЭПФ) и степень восстановления формы. Прецизионно регулировать функциональные свойства (ФС) никелида титана позволяет применение термической и термомеханической обработки с последеформационным отжигом или старением, воздействуя, таким образом, на структуру. При наведении ЭПФ и ОЭПФ дополнительную возможность управления ФС дает применение различных температурно-деформационных схем наведения эффекта памяти формы. В обогащенных никелем сплавах в процессе старения выделяется фаза  $Ti_3Ni_4$ , в результате чего происходит обеднение B2-матрицы никелем. На размер и характер распределения частиц фазы  $Ti_3Ni_4$  влияют различные факторы, такие как

концентрация никеля в твердом растворе, температура и время старения, наличие дефектов и пр.

Несмотря на то, что изучению влияния температуры и времени старения на размер и характер распределения частиц фазы  $Ti_3Ni_4$ , а также калориметрические эффекты было посвящено значительное количество работ, вопрос о влиянии размера рекристаллизованного зерна на микроструктуру выделений фазы  $Ti_3Ni_4$ , мартенситные превращения и эффекты памяти формы оставался незатронутым.

Поэтому диссертацию К.А. Поляковой, посвященную систематическому изучению влияния размера зерна В2-аустенита в широком диапазоне от нанометрового до 15 мкм в условиях изотермического старения следует считать весьма актуальной.

Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Работа содержит 127 страниц текста, 65 рисунков, 20 таблиц, список использованных источников из 122 наименований, 1 приложение. Основные результаты представлены и обсуждены на международных и всероссийских конференциях и опубликованы в научной печати. Список опубликованных по теме диссертации работ включает 17 печатных работ, из них 5 статей в изданиях, рекомендованных ВАК, из них 4 – индексируемых в базах “Web of Science” и “Scopus”, 2 патента РФ.

### ***Научная новизна работы***

Использование современных структурных и фазовых методов исследований – растровой и просвечивающей электронной микроскопии, энергодисперсионного анализа, дифференциальной сканирующей калориметрии, а также исследований функциональных характеристик с применением оригинальной методики позволило соискателю выполнить большой объем работы и получить принципиально новые оригинальные результаты. К наиболее важным из них необходимо отнести следующие:

- установлена связь между размером рекристаллизованного зерна, микроструктурой фазы  $Ti_3Ni_4$ , выделяющейся в процессе изотермического старения, стадийностью мартенситных превращений и эффектами памяти формы, а также условия изменения стадийности мартенситных превращений и их размножения вследствие эволюции структуры;

- установлено различие в распределении никеля и титана в структуре с разным размером зерна В2-аустенита, что позволило объяснить особенности структурообразования при старении;

- определены структурные и калориметрические условия реализации максимальной обратимой деформации и полной обратимой деформации;



– проанализирована и объяснена неоднозначность влияния изотермического старения на функциональные характеристики в структуре сплава с разным размером рекристаллизованного зерна.

Оригинальность полученных результатов подтверждена двумя патентами РФ.

### ***Практическая значимость работы***

Совокупность новых результатов, полученных в диссертационной работе, представляет несомненный интерес с точки зрения их использования в медицинской и других областях техники. В частности, установленные закономерности структурообразования при термомеханической обработке и изотермическом старении сплава Ti–50.7 ат. Ni, а также варьирование величины наводимой деформации позволяют осуществлять прецизионное регулирование функциональных характеристик заготовок и интеллектуальных устройств конкретных элементов с эффектом памяти формы в широком диапазоне в соответствии с поставленной задачей.

Показано, что в случае мелкозернистой рекристаллизованной структуры проводить дополнительное старение для улучшения комплекса функциональных характеристик не требуется; в случае крупнозернистой структуры дополнительное старение для этой цели необходимо.

Результаты работы использованы при разработке технологии термомеханической обработки и наведения ЭПФ в оригинальном медицинском устройстве – якорной клипсы для фиксации кишечного стента.

Рекомендованные режимы термомеханической обработки приняты к использованию в ООО «Промышленный центр МАТЭК СПФ» для производства проволоки с повышенными функциональными свойствами.

### ***Достоверность и обоснованность результатов диссертационной работы***

Степень достоверности результатов обоснована применением комплекса современных апробированных и сертифицированных методов исследований, применением известных методов обработки, интерпретации экспериментальных данных и определения погрешностей измерений, использованием современных статистических методов, воспроизводимостью и согласованностью результатов, отсутствием противоречий с известными результатами в области исследования сплавов с эффектом памяти формы.

### ***Рекомендации по использованию результатов диссертации***

Научные результаты, полученные в диссертации К.А. Поляковой и основные положения, выносимые на защиту, могут быть использованы в практике научных исследований сплавов с памятью формы для развития фундаментальных основ управления функциональными свойствами сплавов с памятью формы, для прецизионного регулирования свойств разного рода конструкций за счет варьирования размеров зерна и микроструктуры фазы  $Ti_3Ni_4$ . Результаты диссертации могут быть использованы в качестве материала лекций по материаловедению и термической обработки металлов и сплавов, сплавов с памятью формы, интеллектуальных материалов и др.

### ***Замечания по диссертационной работе:***

По содержанию диссертационной работы можно сделать следующие замечания:

1. Высокие значения обратимой и полной обратимой деформации получены на тонкой проволоке диаметром 0,3 мм. Полезно было бы проследить, насколько аналогичные результаты будут воспроизводимы в более массивных образцах.
2. Результаты исследования эффектов памяти формы показывают, что зависимость обратимой деформации ( $\epsilon_r$ ) и обратимого эффекта памяти формы ( $\epsilon_{TW}$ ) не во всех случаях носят экстремальный характер (см. рис. 48 б, в и 50 а), когда могут быть уверенно определены условия для достижения максимальных значений данных характеристик. В этом случае целесообразно было бы продолжить исследования при больших значениях полной наводимой деформации ( $\epsilon_t$ ), превышающих 20%.
3. При расчете объемной доли фазы  $Ti_3Ni_4$  использовали толщину фольги. При этом в разделе 2 (Материалы и методы исследования) информация о методике определения толщины фольги отсутствует.

Сделанные замечания не влияют на общее положительное заключение по диссертации.

### ***Заключение***

Диссертация К.А. Поляковой представляет собой законченное исследование, выполненное на высоком научном уровне, имеющее научную и практическую значимость и соответствует специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов. Диссертационная работа изложена хорошим научным языком, убедительно проиллюстрирована и оформлена в полном соответствии с установленными требованиями. Результаты работы опубликованы в российских и зарубежных рецензируемых научных журналах, в том числе рекомендованных ВАК РФ для защиты кандидатских диссертаций, доложены и обсуждены на ряде Всероссийских и международных конференций. Содержание автореферата соответствует тексту



диссертации. К.А. Полякова продемонстрировала высокую квалификацию и владение современными экспериментальными методами исследования материалов и расчетными методами обработки результатов.

Диссертационная работа К.А. Поляковой соответствует всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Кристина Александровна Полякова заслуживает присуждения степени кандидата технических наук по специальности 05.16.01 – Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов.

Настоящий отзыв обсужден и утвержден на совместном заседании лаборатории металловедения цветных и легких металлов ИМЕТ РАН и лаборатории пластической деформации металлических материалов ИМЕТ РАН «30» мая 2018 года. Протокол заседания № 42.

Зам. зав. лабораторией металловедения  
цветных и легких металлов,  
д.т.н., профессор

Л.Л. Рохлин

Докторская диссертация защищена по специальности 05.16.01 «Металловедение и термическая обработка металлов».

Зав. лабораторией пластической  
деформацией металлических материалов,  
д.т.н.

В.С. Юсупов

Докторская диссертация защищена по специальности 05.16.05 «Обработка металлов давлением».

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт металлургии и материаловедения им. А.А. Байкова Российской академии наук  
119991, г. Москва, Ленинский проспект, 49 / тел.: +7 (499) 135-20-60

[rokhlin@imet.fc.ru](mailto:rokhlin@imet.fc.ru) - Рохлин Лазарь Леонович (+7 (499) 1358660)

[yusupov@aport2000.ru](mailto:yusupov@aport2000.ru) – Юсупов Владимир Сабитович (+7 (499) 1358651)

[kolmakov@imet.ac.ru](mailto:kolmakov@imet.ac.ru) – Колмаков Алексей Георгиевич (+7 (499) 1354531)