

## ОТЗЫВ

**Официального оппонента на диссертационную работу Бурнаева Александра Владимировича «Влияние химического состава и структуры никелида титана на характеристики работоспособности термомеханических актуаторов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 «Материаловедение (машиностроение)»**

### Актуальность темы диссертации

Широкое внедрение «интеллектуальных» материалов, в том числе сплавов с «памятью формы» и сверхупругостью, в различных областях техники является одним из важных показателей уровня технологического развития многих отраслей промышленности – авиационной, космической, медицинской и других. В диссертационной работе Бурнаева А.В. рассматривается и решается ряд материаловедческих проблем использования никелида титана для производства термомеханических актуаторов – исполнительных элементов устройств, способных многократно совершать механическую работу при изменении температуры. Физико-химическая природа, механизмы фазовых превращений и реализации эффектов памяти формы (ЭПФ) и сверхупругости в никелиде титана, вопросы формирования структуры и ее влияния на свойства этих сплавов изучаются давно и весьма результативно.

Однако разработка и производство актуаторов, основанных на ЭПФ, сдерживается рядом нерешенных металлургических и технологических вопросов. Так, нет достаточно достоверных данных о влиянии химического и фазового состава сплавов на основе никелида титана, их структуры и субструктуры, вида полуфабриката на температурно-силовые характеристики и возможность длительной безотказной работы актуаторов в конкретных условиях эксплуатации. К таким малоизученным условиям можно отнести количество и частоту температурно-силовых циклов, схемы и усилия нагружения и др. Практически отсутствуют надежные и достоверно измеряемые критерии работоспособности термомеханических устройств из

этого материала. Очевидно, что получение достоверных научных результатов в решении этих проблем является необходимой материаловедческой базой для разработки конструкций и серийных технологий производства данных изделий. С этих позиций сформулированная цель, поставленные и решенные автором задачи работы актуальны и имеют научную и практическую ценность.

Актуальность и своевременность диссертации связаны также с проведением в настоящее время в России активных и результативных работ по возрождению на ряде предприятий современного отечественного производства никелида титана и различных полуфабрикатов из него.

#### Характеристика научной новизны работы

В диссертации Бурнаева А.В. получен ряд новых научных результатов, имеющих важное теоретическое и практическое значение для развития материаловедения и реализации технологических и конструкторских разработок. Так, автором установлены взаимосвязи химического состава сплава (содержания никеля и кислорода), температур мартенситных превращений, внешних напряжений, процессов дисперсионного и деформационного упрочнений при термической обработке и нагружении с критическими напряжениями и деформациями. Это дало возможность представить последние в качестве критериев оценки работоспособности актуаторов в различных температурно-силовых условиях эксплуатации.

Впервые показано, что максимальная удельная работа, совершаемая материалом актуатора с ЭПФ, достигается в случае генерации в нем критических напряжений, связанных со схемой и силовыми условиями противодействия в процессе термоциклирования.

В работе научно обоснованы условия многократного «срабатывания» термомеханических актуаторов, согласно которым параметры напряженно-деформированного состояния материала не должны превышать критических значений напряжений и деформаций при термоциклировании.

В авторской трактовке научной новизны, к сожалению, не нашли отражения полученные результаты по влиянию структуры никелида титана (и, соответственно, состава и термообработки) – рекристаллизованной,

деформированной или полигонизованной, на предельные характеристики работы актуаторов – максимальный рабочий ход элемента или максимальные развиваемые усилия.

Практическая значимость работы состоит в разработке рекомендаций по выбору состава сплава на основе никелида титана, технологии термической обработки и изготовления элементов актуаторов с заданными характеристиками работоспособности. Это, по сути, представляет собой основу для технического задания на проектирование новых конкретных изделий. Рекомендации автора основаны на установленных количественных параметрах, определяющих силовые и деформационные возможности актуаторов и связанных с химическим, фазовым составом сплава, его структурой и технологией обработки.

Рекомендации использованы АО «КИМПФ» (г. Москва) при проектировании и разработке актуаторов различного назначения, что подтверждено соответствующим Актом.

Достоверность научных положений и выводов работы подтверждается обоснованным и результативным использованием современных методов и аппаратуры физического материаловедения (оптической и электронной микроскопии, рентгеновской дифрактометрии, поверенного измерительного оборудования). Измерения проведены в соответствии с требованиями ГОСТ, обработаны с использованием методов математической статистики. В этой связи результаты работы могут считаться достоверными, а выводы – обоснованными.

#### Замечания по диссертации

1. В работе не представлен анализ качества полученной проволоки из никелида титана – шероховатости поверхности, наличия характерных для волочения (или шлифования) поверхностных дефектов. Они могут существенно влиять на деформационные характеристики и работоспособность, особенно при циклическом характере термических и механических нагрузок.

2. При описании режимов термической обработки сплавов разных классов (глава 3) автор использует термины «отжиг» и «старение», хотя

температурно-временные параметры обработок одинаковы (например, «отжиг 450°C» и «старение 450°C», рис. 3.6, 3.11 диссертации, табл. 3 автореферата). Обоснования такого использования этих терминов в диссертации нет.

3. Критическая степень деформации материала в работе измеряется методом кручения проволоки, т.е. представляет чистую деформацию сдвига. В работе не обоснована правомерность использования этого параметра для характеристики деформационной способности актуаторов в форме пружины, т.к. напряженно-деформированное состояние материала пружин включает как сдвиговую, так и нормальную компоненты, а их соотношение связано с геометрией пружины.

4. К основным характеристикам актуаторов, зависящим от свойств материала, автор относит и К.П.Д., определяющий энергетические возможности устройства (§5.3). Однако из диссертации не ясно, что в данном случае понимается под К.П.Д. В диссертации и автореферате отсутствуют какие-либо численные значения желаемых, требуемых или измеренных величин К.П.Д.

5. Замечания технического характера. Из текста диссертации (гл. II и V) не ясна методика измерения диаметра пружин: в каком состоянии – исходном или деформированном, на каком количестве витков и т.д. Вызывает сомнение целесообразность представления точности этого параметра до 0,1 мм на пружинах  $\varnothing 27$  и 41 мм. Влияет ли такая точность на рабочие характеристики?

Сделанные замечания носят дискуссионный, рекомендательный либо технический характер и не влияют на общую высокую оценку диссертации.

#### Заключение

Диссертация Бурнаева А.В. является завершенной научной квалификационной работой. В диссертации содержится решение актуальной научно-технической задачи по установлению закономерностей влияния химического состава и структуры сплавов на основе никелида титана на

термомеханические характеристики актуаторов, а также по разработке технологических рекомендаций по их изготовлению, обеспечивающих требуемые характеристики работоспособности. Эта задача имеет важное научное и практическое значение для развития материаловедения, разработки конструкций и технологий производства ответственных изделий из функциональных материалов.

Диссертация соответствует паспорту указанной специальности.

Автореферат и опубликованные работы отражают основное содержание диссертации.

Диссертация Бурнаева А.В. полностью отвечает требованиям п.п. 9–14 Положения о присуждении ученых степеней в редакции Постановления Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – «Материаловедение (машиностроение)».

Официальный оппонент  
Александров Андрей Валентинович,  
Генеральный директор  
ЗАО «Межгосударственная  
ассоциация «Титан»,  
кандидат технических наук



Александров А.В.

22.11.2018

ЗАО Межгосударственная ассоциация «Титан»  
624670, г. Верхняя Салда Свердловской обл. ул. Парковая. д.1.  
Электронная почта: isat91@mail.ru  
Тел.+7(495)4468950