

ОТЗЫВ

члена диссертационного совета на диссертацию Сибирева Алексей Владимирович на тему «Оптимизация температурных условий термоциклирования для стабилизации деформационно-силовых характеристик сплава NiTi с памятью формы», представленную на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

Актуальность темы диссертации

Сплавы системы TiNi, близкие к эквиаtomному составу уже более 50 лет привлекают внимание исследователей и инженеров благодаря комплексу уникальных свойств, обусловленных прежде всего, развитием термоупругого мартенситного превращения (МП). Сплавы, проявляющие эффект памяти формы используются в тепловых реле, в строительных конструкциях, в качестве термочувствительных и силовых элементов в циклически действующих устройствах и др. Одной из актуальных проблем применения сплавов является обеспечение стабильной многоциклового работы элементов исполнительных силовых механизмов. Решение этой проблемы связано с необходимостью исследования деформационных характеристик при смене режимов термосилового воздействия. Анализ публикаций и результатов исследований различных авторов показывает, что в процессе многократного термоциклирования через интервал МП наблюдается изменение температур МП и деградация функциональных свойств. Это обстоятельство не позволяет эффективно использовать никелид титана в инженерных решениях, например, в приводах машин и механизмов. В связи с этим, тема диссертационной работы Сибирева А.В., посвященной разработке методов повышения стабильности функциональных свойств сплавов NiTi при термоциклировании, является, несомненно, актуальной.

Актуальность работы подтверждена поддержкой двух грантов РФ, двух грантов РФФИ, гранта Президента РФ для молодых кандидатов наук и частичной поддержкой мегагранта Министерства науки и высшего образования РФ.

Оценка содержания диссертации

Работа состоит из введения, трех глав и заключения, изложена на 208 страницах. Список литературы содержит 160 наименований.

Во введении обоснована актуальность диссертационной работы, определены цель и задачи исследования, сформулирована научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе рассмотрено изменение структуры и свойств при свободном термоциклировании и термоциклировании под напряжением. Косвенным образом оценена плотность дефектов, инициируемых при

термоциклировании и исследовано влияние их на температуры МП. Особый интерес представляют результаты электронно-микроскопических исследований реализации МП при изменении температуры *in situ*. Исследовано влияние возврата при изотермических выдержках на температуры МП и функциональные свойства. Изучены функциональные свойства и их стабильность в монокристалле сплава Ni₅₅Fe₁₈Ga₂₇.

Вторая глава посвящена исследованиям закономерностей проявления функциональных свойств в условиях ограниченного температурного интервала термоциклирования. Рассмотрено влияние доли прямого и обратного перехода на свойства сплава NiTi при термоциклировании под нагрузкой. Определены верхние и нижние границы термоциклирования, обеспечивающие наибольшую стабильность функциональных свойств сплава NiTi. Предложены объяснения причин установленного влияния доли от температурного интервала прямого и обратного МП на изменение функциональных свойств.

В третьей главе рассмотрено изменение свойств сплава NiTi при работе в режиме привода, когда термоциклирование осуществляется при изменяющемся напряжении. Определены основные факторы, влияющие на изменение напряжения, к которым относятся, в частности, жёсткость контртела, температурный интервал срабатывания, способ предварительной деформации элемента из сплава с ПФ. Исследовано влияние всех влияющих факторов на свойства сплава непосредственно в ходе работы привода. Описано влияние термоциклирования через неполный интервал мартенситного перехода в условиях изменяющегося напряжения. Определены оптимальные режимы работы привода, при которых изменение его рабочих характеристик будет минимальным.

В заключении приведены основные результаты работы.

К числу наиболее существенных результатов, представляющих **научную ценность**, следует отнести следующие.

1. Путем непосредственного исследования *in situ* прямого и обратного мартенситного превращения в эквиазимном TiNi впервые показано, что микроструктурная память не проявляется в отожженном образце, но наблюдается в образце после деформации.

2. Впервые проведены систематические исследования зависимости функциональных свойств от степени реализации прямого и обратного МП при охлаждении и нагреве, соответственно, выражаемого в доле от температурного интервала МП под постоянным или изменяющимся напряжением. Установлено, что для повышения формовосстановления при прямом превращении под постоянным напряжением необходимо проводить охлаждение не ниже середины температурного интервала МП. При переменном напряжении охлаждение должно проводиться до температуры, соответствующей 90% от интервала МП.

3. Экспериментально установлен и теоретически обоснован эффект предотвращения деградации функциональных свойств TiNi при термоциклировании в режиме привода при ограничении температурного интервала термического цикла. Нижняя температура не должна опускаться ниже середины интервала M_s-M_f , а верхняя не должна превышать температуру A_f .

Практическая значимость результатов исследования заключается в том, что на основе полученных экспериментальных данных автором предложены рекомендации для конструкторов, разрабатывающих термомеханические приводы с использованием элементов из сплавов с памятью формы. Рекомендации позволяют обеспечить минимальные изменения усталостных и функциональных свойств при эксплуатации приводов в режиме термоциклирования.

Достоверность

Достоверность и обоснованность полученных результатов подтверждена большим объемом экспериментов, выполненных с использованием комплекса современных методов исследований и согласованностью результатов, полученных разными методами. Экспериментальные результаты находятся в хорошем соответствии с теоретическими представлениями.

Замечания по работе

1. В работе не указан точный состав и технология получения исследованных образцов. В то же время, именно прецизионный состав определяет положение точек МП, а формирующаяся при изготовлении проволочных образцов кристаллографическая текстура влияет как на дислокационную структуру, так и на температуры МП и уровень проявляемых функциональных свойств.

2. Автор, трактуя результаты измерения электросопротивления, совершенно игнорирует возможное изменение концентрации вакансий при многократном МП. В то же время методом молекулярной динамики показано, что вакансии могут играть существенную роль в развитии МП в экваторном NiTi (М.Ф.Жоровков, В.В.Кулагина, 1992, 1995; A. Mansouri Tehrani, H. Shahrokhshahi, N. Parvin, J. Brgoch, 2015; Chao Yang, Janelle P. Wharry, 2022)

3. Автор цитирует очень мало отечественных работ, за исключением публикаций коллег из своего научного коллектива, в то время, как проблемами термоциклирования никелида титана занимались и другие исследователи, например, Д.В. Гундеров, И.Н. Андронов.

4. В диссертации не указано, на скольких образцах выполнены электронно-микроскопические исследования *in situ*, в связи с чем неясна достоверность полученных результатов о неравномерности распределения дислокаций в аустените и об отсутствии/присутствии микроструктурной памяти.

5. Крайне негативное впечатление оставляет очень большое количество ошибок и опечаток в тексте диссертации – практически на каждой странице.

6. Было бы полезно в начале диссертации привести список обозначений, что позволило бы избежать ситуации, когда автор, вводя величину Φ , на стр. 126 трактует ее, как долю температурного интервала МП, а на стр. 160 – как долю работы.

7. Раздел, посвященный исследованию функциональных свойств сплава Гейслера на основе Ni-Fe-Ga, выглядит искусственно привязанным.

Отмеченные недостатки имеют частный характер и не снижают общую положительную оценку диссертационной работы А.В.Сибирева.

Диссертационная работа и автореферат изложены логично, написаны принятым в современной научной литературе языком, но с большим количеством опечаток. Основные научные выводы и положения достоверны и аргументированы. Работа представляется цельным и всесторонним исследованием. Содержание автореферата соответствует основным положениям диссертации.

Основные результаты работы отражены в 33 публикациях в высокорейтинговых журналах, из них 17 - в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК, WoS и Scopus. Результаты апробированы на научных конференциях и совещаниях разного уровня.

Диссертация Сибирева Алексея Владимировича на тему: «Оптимизация температурных условий термоциклирования для стабилизации деформационно-силовых характеристик сплава NiTi с памятью формы» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 19.11.2021 № 11181/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Сибирев Алексей Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора физико-математических наук по научной специальности 1.1.8. Механика деформируемого твердого тела. Нарушения пунктов 9 и 11 указанного Порядка в диссертации не обнаружены.

Член диссертационного совета
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Машиностроение и материаловедение».
ФГБОУ ВО Тульский Государственный университет»

Маркова Галина Викторовна

20.11.2024

