

«УТВЕРЖДАЮ»



Директор ИМАШ РАН, д.т.н.

Б.Глазунов В.А. Глазунов

«14» 05 2018г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Остропико Евгения Сергеевича «Исследование функциональности рабочих элементов с памятью формы», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Материалы с эффектом памяти формы широко применяются в различных областях техники, в том числе в машиностроении и медицине. Каждый пример использования материалов связан с обеспечением определенной функциональности и работоспособности, которые должны быть гарантированы при проектировании устройств.

Повышение функциональности материалов с памятью формы и устройств на их основе применением различных термомеханических обработок, а также созданием новых материалов.

Обеспечение работоспособности особенно важно для устройств космического назначения, где устройство может не использоваться длительное время, но при необходимости должно быть функциональным. Считается, что длительное хранение материалов с памятью формы в мартенситном состоянии не влияет на функциональные свойства, если не произошло изменений в структуре материала, но исследований, подтверждающих этот факт, практически не проводилось.

Функциональность рабочего элемента заключается также в способности выполнять конкретное действие в заданном интервале температур. Несмотря на большое количество статей и обзоров, посвященных применению сплавов с памятью

большое количество статей и обзоров, посвященных применению сплавов с памятью формы, трудно найти работу, содержащую полную методику подготовки рабочего элемента, описывающую принципы выбора его геометрических параметров, выбора сплава, его термообработки, подбора термомеханической обработки сплава для обеспечения заданных деформационно-силовых параметров устройства.

Диссертация Остропико Евгения Сергеевича состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. По результатам диссертационного исследования сделаны следующие выводы:

1. Установлено, что величина эффекта памяти формы после высокоскоростного сжатия до полной деформации 18-20% при скорости деформирования около 10^3 c^{-1} в интервале температур 20-60 $^{\circ}\text{C}$ выше, чем после квазистатического сжатия. При температурах предварительного деформирования превышающих 90 $^{\circ}\text{C}$ величина эффекта памяти формы после высокоскоростного сжатия меньше и убывает быстрее с ростом температуры деформирования, чем после квазистатического деформирования.
2. Обратимая память формы с ростом температуры предварительного сжатия переходит из ОПФ мартенситного типа в ОПФ аустенитного типа. Величина эффекта обратимой памяти формы мартенситного типа после высокоскоростного сжатия в интервале температур 20-60 $^{\circ}\text{C}$ выше и убывает быстрее с ростом температуры деформирования, чем после квазистатического сжатия. Величина эффекта обратимой памяти формы аустенитного типа после высокоскоростного сжатия всегда больше, чем после квазистатического сжатия.
3. Установлено, что реактивные напряжения в сплавах TiNiFe практически не релаксируют (не более чем на 8%) на протяжении 30 лет в муфтах термомеханических соединений, что обеспечивает их длительную функциональность. В сплаве CuZnAl закономерности релаксации реактивных напряжений на протяжении 30 лет не отличаются от тех, которые наблюдаются в других металлических материалах и могут быть описаны известными способами.
4. Показано, что в эквиатомном сплаве TiNi эффект памяти формы величиной 5% практически не изменился за 25 лет хранения в деформированном

мар滕ситном состоянии, что гарантирует сохранение способности к срабатыванию рабочих элементов на протяжении длительного времени.

5. Обнаружена особенность поведения обратимой памяти формы в сплавах TiNi и TiNiCu, заключающаяся в возрастании ее величины после длительного хранения (более 17 лет). При этом увеличение обратимой памяти формы в сплаве TiNi, инициированной предварительным высокоскоростным сжатием, более существенно, чем инициированной квазистатическим деформированием.
6. Выполненное в работе компьютерное моделирование показало, что микроструктурная модель с достаточной степенью точности описывает влияние длительной выдержки в деформированном мар滕ситном состоянии на эффекты памяти формы в сплаве TiNi, включая сохранение величины однократной памяти формы и повышение величины обратимой памяти формы.
7. Разработана комплексная методика создания термочувствительного рабочего элемента с памятью формы, обеспечивающая его функциональность в заданном диапазоне температур.

Выводы, сделанные по результатам диссертационного исследования, сомнений не вызывают. Все полученные результаты являются новыми и имеют большую практическую и теоретическую значимость. Полученные данные показывают, что функциональные свойства сплава TiNi могут быть улучшены за счет увеличения скорости предварительного деформирования в режиме сжатия, что позволит инженерам выбирать более подходящий режим предварительного деформирования при изготовлении устройств, а исследователям – развивать имеющиеся теории, описывающие функционально-механическое поведение сплавов с ЭПФ. Для механизмов, в основе которых лежит использование функциональных свойств сплавов на основе TiNi, показана гарантия работоспособности в течение более 20 лет. Инженеры могут использовать этот факт при разработке новых устройств, а модифицированная микроструктурная модель, предложенная в работе, позволяет теоретически прогнозировать влияние хранения рабочих элементов с памятью формы на их функциональность. Методика исследования сплава для создания термочувствительного рабочего элемента так же может быть использована

на практике, а ее принципы могут быть перенесены на исследования сплавов при подготовке иных устройств на основе сплавов с памятью формы.

Полученные результаты рекомендуются к использованию в научно-исследовательских организациях и промышленных предприятиях, таких как Санкт-Петербургский государственный университет, Институт проблем машиноведения РАН, Ракетно-космическая корпорация «Энергия» им. С.П.Королева, Научно-производственное объединение им. С.А. Лавочкина, промышленный центр МАТЭК-СПФ, и других организациях, связанных с исследованиями материалов с эффектом памяти формы и разработкой устройств на их основе.

Достоверность полученных результатов гарантирована использованием современных экспериментальных методик и испытательной техники, анализом полученных экспериментальных данных и их соответствием с расчетными данными, воспроизводимостью результатов и полным соответствием полученных закономерностей их теоретической интерпретации. Все результаты и выводы не противоречат современным научным представлениям и были апробированы на симпозиумах, конференциях.

По содержанию диссертационной работы сделаны следующие **замечания**:

1. Отсутствие сведений структурного характера в исходном состоянии сплавов, например, размера зерен, характеристических температур, кристаллографической текстуры, не позволяет выполнить аккуратное сравнение наблюдающихся изменений в свойствах и их связи со структурой.
2. В разделе 1.2.1 сообщается, что при температуре 60°C для обоих способов достижения температуры испытания материал находится полностью в мартенситном состоянии. Это не корректно, поскольку значения характеристических температур сплава TiNi ($M_f = 32^\circ\text{C}$, $M_s = 74^\circ\text{C}$, $A_s = 74^\circ\text{C}$, $A_f = 98^\circ\text{C}$) предполагают, что при нагреве от комнатной температуры до 60°C материал будет находиться в мартенситном состоянии, а при охлаждении от 180°C до 60°C в аустенитно-martensитном состоянии.
3. В нумерации рисунков в главах 3 и 4 в тексте диссертации имеется сбой.
4. Отсутствие влияния скорости деформации на исходные данные материала.

Сделанные замечания не влияют на общее положительное заключение по диссертации.

Диссертацию Е.С. Остропико следует считать законченной научно-исследовательской работой, выполненной на должном научном уровне и имеющую важное теоретическое и практическое значение. Е.С. Остропико продемонстрировал высокую квалификацию, владение экспериментальными методами исследования материалов и теоретическую подготовку. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.02.04, удовлетворяет критериям, предъявляемым к написанию научных работ.

Автореферат соответствует основным положениям диссертации, формулировка основных результатов и выводов в автореферате и диссертации идентичны.

Диссертационная работа Е.С. Остропико удовлетворяет требованиям Положения «О порядке присуждения ученых степеней», предъявляемым к кандидатским диссертациям, а сам соискатель заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 - Механика деформируемого твердого тела.

Заключение принято на заседании семинара отдела «Конструкционное материаловедение» 10.05.2018. На заседании присутствовало 17 человек.

Заведующий лабораторией, д.ф-м.н

Думанский Александр Митрофанович
Г.н.с., д.т.н.

Столяров Владимир Владимирович



/Думанский А.М./



/Столяров В.В./