

«УТВЕРЖДАЮ»

проректор по научной работе

Петербургского государственного университета
путей сообщения Императора Александра I,

д.т.н., профессор

(Т.С. Титова)



«03» 2015г.

ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертацию Ломакина Ивана Владимировича «Термобиметаллы с эффектом памяти формы», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Сплавы с эффектом памяти формы широко известны ученым и инженерам благодаря уникальным механическим свойствам – «эффектам памяти формы», что позволяет использовать их в различных отраслях техники и медицины. Вместе с тем, в настоящее время идет активный поиск и создание новых материалов с эффектом памяти формы с улучшенными свойствами, превосходящими свойства уже известных сплавов, которые бы позволили решить сложные технические задачи и существенно расширить круг применения этих материалов. Одним из таких направлений исследований является разработка композиционных материалов на базе сплавов с эффектом памяти формы. В настоящее время разрабатывают композиты, в которых сплавы с эффектом памяти формы выступают в качестве основы или наполнителя. Особое место среди таких композиционных материалов занимают биметаллические композиты, в которых одним из компонентов является сплав с памятью формы. Преимущества таких композитов неоспоримы прежде всего потому, что их можно использовать в качестве функциональных покрытий, поскольку

сплавы с эффектом памяти формы обладают хорошими антикоррозионными свойствами, высокой прочностью и биоинертностью. Вместе с тем их отличительная особенность заключается в том, что такие композиты сочетают в себе активный слой, проявляющий эффекты памяти формы, и пассивный слой – выполняющий роль упругого элемента. Это позволяет использовать эти материалы для разработки новых термоактуаторов, в которых активный и пассивный элементы являются составными частями одного объекта, что существенно уменьшает габаритные размеры устройства и обеспечивает лучшую работоспособность. Однако несмотря на очевидные преимущества биметаллических композитов на основе сплавов с эффектом памяти формы, эти материалы не нашли должного применения, поскольку функциональное поведение таких композитов оказывается практически не изученным и отсутствуют методы описания свойства таких материалов. Поэтому диссертационная работа И.В. Ломакина, посвященная экспериментальному и теоретическому исследованию функциональных свойств биметаллических композитов с эффектом памяти формы, является актуальной.

В качестве объектов исследования выбраны два биметаллических композита, полученные сваркой взрывом, поскольку этот тип соединения позволяет получать хорошее соединение разнородных материалов без образования зон термического влияния. В качестве активного слоя в обоих композитах выбраны сплавы с эффектом памяти формы на основе TiNi, а в качестве пассивного слоя выбраны два материала: нержавеющая сталь X18H10T и сплав TiNi с избытком никеля, проявляющий свойства псевдоупругости. В работе установлено, что в результате сварки взрывом оба слоя претерпевают значительную пластическую деформацию. Это существенно подавляет мартенситные превращения, которые являются причиной проявления эффектов памяти формы. Обнаружено, что термообработка при температурах выше 450 °С позволяет практически полностью нивелировать действие пластической деформации и восстановить

кинетику мартенситных превращений. Показано, что изменяя параметры термообработки можно изменять последовательность мартенситных превращений, происходящих в активном слое из сплава с эффектом памяти формы, что оказывает влияние как на эффекты памяти формы, так и на прочностные свойства биметаллов.

И.В. Ломакиным показано, что биметаллические композиты с эффектом памяти формы, полученные сваркой взрывом, проявляют обратимое формоизменение при охлаждении и нагревании после предварительного деформирования при низких температурах, при которых активный слой из сплава с эффектом памяти формы находится в мартенситном состоянии. Изменение деформации наблюдается в узком интервале температур, соответствующем температурам термоупругих мартенситных переходов.

В работе установлено влияние геометрических параметров слоев, входящих в состав биметаллического композита, на величину обратимой деформации, которую композит может обратимым образом менять при теплосменах. Показано, что определяющим параметром является соотношение толщин активного и пассивного слоев. Определено оптимальное соотношение толщин слоев, обеспечивающее наибольшую обратимую деформацию при термоциклировании, и показано, что это соотношение выполняется в том случае, если в процессе предварительного деформирования активный слой испытывал только растяжение, в то время как пассивный слой – только сжатие, т.е. средняя линия при трехточечном изгибе совпадает со сварным швом, разделяющим два материала.

Установлено, что величина обратимой деформации зависит от последовательности мартенситных превращений, реализующихся в активном слое из сплава с памятью формы, и механических свойств слоев, которые зависят от режимов термообработки и от величины предварительной деформации. Показано, что максимальное значение обратимой деформации составляет 1 % и эта величина может меняться при теплосменах в

зависимости от стабильности функциональных свойств активного слоя из сплава с эффектом памяти формы.

Выполнен компьютерный расчет функционального поведения биметаллического композита на основе сплавов с эффектом памяти формы с использованием модели А.Е. Волкова и М.Е. Евард, которая учитывает упруго-пластические свойства материалов, входящих в состав биметаллического композита, и функциональные свойства активного слоя из сплава с памятью формы. Проведен расчет напряжений и деформации в биметаллических композитах различного состава и разной толщиной пассивного слоя в процессе деформирования и многократных теплосмен, при которых наблюдается обратимое изменение деформации. Результаты расчета подтвердили вывод, сделанный на основе экспериментальных данных, о том, что максимальное обратимое изменение деформации наблюдается тогда, когда в процессе предварительного деформирования положение нейтральной плоскости совпадает с плоскостью сварного шва. Получено хорошее совпадение расчетных данных и результатов эксперимента по влиянию предварительной деформации на величину обратимого формоизменения в зависимости от материала пассивного слоя. Таким образом, в работе И.В. Ломакина показано, что используемая модель может быть успешно применена для прогнозирования функционального поведения биметаллических композитов на основе сплавов с памятью формы, независимо от материала пассивного слоя.

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждается использованием современных экспериментальных методик, глубоким анализом экспериментальных данных, использованием разработанной модели описания изменения деформации в биметаллических композитах и хорошим соответствием между расчетными и экспериментальными данными.

Все полученные данные являются новыми и представляют большое значение для механики материалов с фазовыми превращениями и развития методов описания свойств таких материалов.

Полученные результаты имеют практическую значимость для инженеров, разрабатывающих устройства многократного действия на основе сплавов с эффектом памяти формы, поскольку позволяют создавать новый тип термоприводов, в которых активный и пассивный компоненты являются составными частями одного объекта – биметаллического композита.

Выводы, сделанные в работе, отражают содержание диссертации. Основные результаты, полученные в работе, опубликованы в четырех научных журналах из перечня ВАК, в том числе и в зарубежных журналах, цитируемых в базах данных SCOPUS и Web of Science, а также достаточно полно апробированы на российских и зарубежных конференциях.

По содержанию диссертационной работы можно сделать следующие **замечания:**

1. Во введении к диссертации цель работы сформулирована в двух местах на странице 7.

2. В первой главе диссертации содержатся сомнительные утверждения, иногда даже противоречащие современным знаниям о материалах с эффектом памяти формы. Так, на стр. 16 отмечено, что причиной эффекта памяти формы является «обратимый фазовый переход из высокотемпературной кубической гранцентрированной решетки в низкотемпературную кубическую объёмно-центрированную решетку». Это определение является неверным, поскольку восстановление деформации происходит при нагревании предварительно деформированного сплава в процесс обратного термоупругого мартенситного перехода из низкотемпературной мартенситной фазы в высокотемпературную аустенитную, при этом тип кристаллических решеток аустенитной и мартенситной фаз зависит от химического состава сплава. Упомянутое превращение ГЦК-ОЦК не соответствует типу обратного перехода,

происходящего в сплавах на основе TiNi, которые выбраны в работе в качестве объекта исследования. В этих сплавах высокотемпературная аустенитная фаза имеет кубическую кристаллическую решетку, а низкотемпературная мартенситная фаза - моноклинную.

3. Раздел 1.4. не содержит анализа серии работ, выполненных A. L. Roytburd, и J. Slutsker, посвященных моделированию обратимой деформации в биметаллических тонких пластинах, что снижает ценность теоретической части аналитического обзора.

4. В работе часто встречаются неудачные выражения, затрудняющие чтение, такие как «суть эффекта», «плато напряжения», «примером подобного прогресса», «продолжение темы соединения», «параллельно с работой», «ими были ленты», «примеры зависимостей изменения» и др.

5. К сожалению, в диссертации содержится большое количество опечаток и неточностей:

- на стр. 6 вместо «приводы облагают ...» должно быть «приводы обладают ...», на стр. 13 вместо «биметаллической пластичны» должно быть «биметаллической пластины» на стр. 77 вместо «промежуточной фары...» должно быть «промежуточной фазы...»;

- на рисунке 12 нет букв а и б, а в тексте, нет упоминания о рисунке 12 б, но есть упоминание о рисунке 12 в, которого нет в диссертации;

- стр. 59, вместо ссылки на рисунок 27 указана ссылка на рисунок 31;

- подпись к рисунку 27 – схематичное изображение эффекта псевдоупругости – не отражает содержание рисунка, поскольку на рисунке нет схематичного изображения эффекта, а представлена схема изменения напряжения и деформации при реализации эффекта псевдоупругости;

- на рис. 29 нет букв а и б, хотя в подписи к рисунку есть ссылки на них;

- на рис. 30 и рис. 31б не отмечены материалы слоев;

- на рисунках 35 и 36 пики, соответствующие поглощению и выделению тепла обозначены одинаковыми буквами, при этом они относятся к

различным процессам. Это приводит к путанице и затрудняет понимание текста;

- страница 83 пустая;

- на стр.84 вместо рисунков 38 и 39 необходимо сослаться на рисунки 35 и 36;

- на стр. 96 допущены опечатки в формулах: в формуле (18) вместо знака «-» должен быть «+», иначе не получить результаты из формул (20), (24), в тексте вместо $\sigma_2^{out} = \sigma_2 + s_2$, $\sigma_2^{in} = \sigma_2 - s_2$ должно быть наоборот $\sigma_2^{out} = \sigma_2 - s_2$, $\sigma_2^{in} = \sigma_2 + s_2$;

- на рис. 49 не отмечены буквы а и б;

- в формулах (17), (18) используются некорректные обозначения – разные величины обозначены одинаково;

- в формулах (26) присутствует параметр l_0 , смысл которого не объясняется;

- на рис. 48 неверно отмечено расстояние R ;

- в формулах (32), (34), (35), (41), (42) при переносе слагаемых на другую строку не повторяется знак «+» или «-», что существенно усложняет понимание;

- в списке литературы в одной и той же ссылке встречается надписи как на русском, так и на английском языках (см. 42, 57, 65-68, 76, 83). У некоторых библиографических описаний отсутствуют названия статьи (см. 18, 78), нет названия журналов (см. 45), нет страниц (см. 56), в некоторых описаниях часть данных написана заглавными буквами (см. 66, 67, 85).

Несмотря на сделанные замечания, диссертацию И.В. Ломакина следует считать законченной научно-исследовательской работой. И.В. Ломакин продемонстрировал высокую квалификацию и владение современными экспериментальными и расчетными методами исследования материалов.

Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 01.02.04. Автореферат отражает содержание диссертации, формулировка основных результатов и выводов в автореферате и диссертации идентичны.

Диссертация И.В. Ломакина выполнена на высоком научном уровне и имеет важное значение для механики композиционных материалов с памятью формы. Диссертационная работа И.В. Ломакина удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым ВАК к кандидатским диссертациям, а сам соискатель заслуживает присуждения степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

Отзыв на диссертацию и автореферат обсуждены на заседании кафедры «Прочность материалов и конструкций» Петербургского государственного университета путей сообщения Императора Александра I 31.08.2015 протокол № 1.

Отзыв составили:

Заведующий кафедрой
«Прочность материалов и конструкций»
Петербургского государственного
университета путей сообщения
Императора Александра I,
кандидат технических наук, доцент

Н.И. Невзоров

Доцент кафедры
«Прочность материалов и конструкций»
Петербургского государственного
университета путей сообщения
Императора Александра I,
кандидат физико-математических наук

А.С. Кухарева