

ОТЗЫВ

председателя диссертационного совета на диссертацию Демидовой Елены Сергеевны на тему: «Эффекты обратимости неупругой деформации при мартенситных превращениях в изотермических условиях», представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела.

В настоящее время «умные» материалы (smart materials) находят все большее применение в технике, что позволяет существенно уменьшить габариты и массу различных устройств, увеличить производительность силовых приводов и упростить их рабочий цикл. Сплавы с эффектом памяти формы являются подклассом «умных» материалов. Они способны восстанавливать большие неупругие деформации при нагревании или разгрузке, что делает эти материалы перспективными для использования в термодатчиках и приводах. Ограничением для широкого внедрения этих материалов является то, что для многократной реализации эффекта памяти формы необходимо обеспечить широкий перепад температур, а это не всегда возможно в реальных условиях. Поэтому тема диссертационной работа Демидовой Е.С., посвященной изучению изменения деформации при реализации мартенситных переходов в изотермических условиях, является **актуальной**.

Демидова Е.С. провела как экспериментальные исследования изотермического превращения и изменения деформации, связанного с этим превращением, так и компьютерное моделирование изменения доли мартенситной фазы и обратимой деформации с использованием существующих моделей, которые были модифицированы под решение данных задач. Кроме этого, было предложено новое объяснение природы изотермического перехода, отличающееся от существующих представлений и позволяющее описать весь спектр наблюдаемых явлений.

Диссертационная работа состоит из введения, 4-х глав, заключения и списка литературы, содержащего 81 наименование. Во введении сформулированы актуальность исследования, его цели и задачи, новизна, степень разработки, достоверность, теоретическая и практическая значимость полученных результатов и положения, выносимые на защиту. В первой главе представлен обзор литературы по теме диссертационной работы. Хочется отметить, что обзор написан очень хорошо и облегчает дальнейшее чтение работы. Во второй главе сформулированы цели и задачи исследования, описаны объекты исследований и используемые методики. В том числе описана новая методика исследования изменения обратимой деформации при изотермическом переходе. В третьей главе представлены результаты экспериментальных исследований кинетики изотермического перехода и изменения деформации при изотермическом переходе под различными нагрузками. В четвертой главе описана модификация моделей Аврами и структурно-аналитической модели, описан подбор констант моделей и представлены результаты моделирования. В заключении сформулированы выводы работы.

К основным результатам работы можно отнести следующее.

В работе экспериментально установлено влияние температуры на изменение доли мартенсита при изотермической выдержке. Показано, что доля мартенсита увеличивается до некоторого максимального значения, которое зависит от температуры выдержки и никогда не достигает 100 %. Впервые экспериментально установлено, что появление мартенситных кристаллов при выдержке под нагрузкой сопровождается изменением деформации, которая обратима при последующем нагревании. Максимальная величина изотермической деформации зависит как от температуры выдержки, так и от напряжения. Показано, что существует пара оптимальных параметров (температура; напряжение), при которых деформация достигает максимального значения. Установлено, что температуры, при которых достигается максимальное значение доли мартенсита при выдержке без нагрузки и максимальная обратимая деформация при выдержке под нагрузкой не совпадают. Предложено новое объяснение кинетики изотермического перехода, основывающееся на том, что превращение контролируется термоактивируемым движением дефектов замещения, концентрация которых в локальных областях определяет температуру, при которой возникает мартенсит. Предложено объяснение несовпадения положения максимумов на зависимостях доли мартенсита и обратимой деформации от положения температуры выдержки относительно температуры начала прямого перехода при охлаждении. Выполнена модификация модели Аврами, описывающей изменение объемной доли фазы при изотермических переходах, и структурно-аналитической модели, описывающей изменение деформации при превращении. Детально описана процедура подбора констант моделей. Проведено моделирование изменения доли мартенсита и обратимой деформации при изотермических выдержках без нагрузки или под нагрузкой. Получено хорошее совпадение экспериментальных и теоретических зависимостей доли мартенсита от длительности выдержки при разных температурах и качественное совпадение зависимостей обратимой деформации от длительности выдержки при разных температурах и напряжениях. Показано, что предложенные модели могут быть использованы для определения параметров выдержки (температуры, напряжения и длительности) при которых наблюдается максимальное изменение деформации, что очень важно для практического применения.

В диссертационной работе Демидовой Е.С. впервые исследовано изменение деформации при изотермическом переходе в сплаве на основе TiNi, предложено новое объяснение механизма данного явления и описаны новые методы расчета изотермической деформации. Практическая значимость работы связана с тем, что ее результаты могут стать основой для разработки устройств из сплавов с памятью формы, работающих в узком интервале температур.

Достоверность результатов не вызывает сомнения, так как они получены с использованием апробированных методик и современного оборудования. Предложенные объяснения не противоречат известным представлениям о механическом поведении сплавов с фазовыми переходами и физических процессах, происходящих в таких материалах. Результаты работы опубликованы в международных журналах и представлены как на международных, так и российских конференциях.

По тексту диссертации можно сделать следующие замечания.

1. При моделировании изменения доли мартенситной фазы использовали разные уравнения для параметров модели, в зависимости от того, была ли температуры выдержки ниже или выше температуры M_n – начала прямого перехода. Однако, при моделировании изменения обратимой деформации использовали параметры, не зависящие от выбора температуры. Означает ли это, что при выдержке под нагрузкой кинетика изотермического перехода при $T > M_n$ и $T < M_n$ одинакова?

2. Не очень понятно на основании каких предположений выбрана величина энергии активации при моделировании с использованием структурно-аналитической модели.

3. Для расчета обратимой деформации в структурно-аналитической модели вычисляется доля мартенсита, появившегося в изотермических условиях. В работе не показаны зависимости доли мартенсита от времени, поэтому неясно, совпадают ли они с зависимостями деформации от времени.

Сделанные замечания не снижают ценность работы, которая является законченным научным исследованием.

Диссертация Демидовой Елены Сергеевны на тему: «Эффекты обратимости неупругой деформации при мартенситных превращениях в изотермических условиях» соответствует основным требованиям, установленным Приказом от 01.09.2016 № 6821/1 «О порядке присуждения ученых степеней в Санкт-Петербургском государственном университете», соискатель Демидова Елена Сергеевна заслуживает присуждения ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.02.04 – Механика деформируемого твердого тела. Пункт 11 указанного Порядка диссертантом не нарушен.

Председатель диссертационного совета

Д.ф.м.н., профессор, профессор

Бауэр Светлана Михайловна.

10.2.21