

Отзыв официального оппонента

на диссертацию Линдерова Михаила Леонидовича «ИДЕНТИФИКАЦИЯ МЕХАНИЗМОВ И КИНЕТИКИ РЕЛАКСАЦИИ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ МОДЕЛЬНЫХ ТРИП/ТВИП СТАЛЕЙ МЕТОДОМ КЛАСТЕРНОГО АНАЛИЗА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ, представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния

Актуальность темы диссертации

В настоящее время во многих областях техники все шире применяются стали с, так называемым, ТРИП/ТВИП эффектами, отличающиеся тем, что благоприятный комплекс физико-механических свойств формируется в них непосредственно в ходе деформирования за счет реализации, наряду с дислокационным скольжением, таких процессов, как двойникование, образование дефектов упаковки и деформационного мартенсита. Целенаправленное управление кинетикой указанных процессов позволяет получать на данных сталях различную комбинацию повышенных физико-механических свойств. Однако на данный момент нет полного понимания о взаимосвязи различных процессов деформации в данных сталях, их кинетике, условиях и механизмах перехода одних в другие.

Каждый механизм деформации сопровождается акустическим излучением со специфическими энерго-частотными характеристиками. В представленной работе автор с помощью математического алгоритма, на основе методов распознавания образов и/или кластерного анализа, проводит математическую обработку массива сигнала акустической эмиссии (АЭ) для выделения групп «кластеров» сигналов, соответствующих тому или иному механизму деформации. В результате появляется возможность изучать кинетику основных механизмов релаксации напряжений при деформации по отдельности с целью расширить представления о кинетике механизмов релаксации напряжений при пластической деформации в материалах с ТРИП/ТВИП эффектами на основе исследования модельных сталей типа $16Cr6MnXNi$ с переменным содержанием Ni (X=3%, 6% и 9%).

Структура диссертации и ее основное содержание

Построение изложения материала в диссертации Линдерова Михаила Леонидовича традиционное: работа состоит из введения, четырех глав, заключения и списка цитируемой литературы из 138 наименований.

Содержание ИЖСМ
№ 805
от 14.06.17

Во введении обоснована актуальность научного направления исследования, изложена степень разработанности научной темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, а также научные положения, выносимые на защиту. Описаны новизна, теоретическая и практическая значимость результатов работы, дана информация о числе публикаций, структуре и объеме диссертации, отражен личный вклад автора, указаны конференции и семинары, на которых обсуждались результаты работы.

В первой главе приведен обзор литературных источников, касающихся особенностей получения и свойств ТРИП/ТВИП сталей. Проводится анализ особенностей деформации в метастабильных сталях и процессов, протекающих при них, таких как: дислокационное скольжение, мартенситное превращение и двойникование. Обсуждаются методы, применяемые для изучения указанных процессов. Описан метод акустической эмиссии (АЭ), его основные источники и регистрируемые параметры, рассматривается связь процессов, протекающих при деформации ТРИП/ТВИП сталей, таких как дислокационное скольжение, двойникование и мартенситное превращение, с параметрами АЭ.

Вторая глава посвящена используемым материалам, а также оборудованию и методикам. Она иллюстрирована как фотографиями, так и различными схемами, описывающими структурное состояние исследуемых метастабильных сталей. Отдельное место в главе уделяется используемому оборудованию для записи сигналов акустической эмиссии, приводятся амплитудно-частотные характеристики АЭ сенсоров, что важно для сопоставления полученных результатов с работами других авторов. Также подробно описываются методы обработки полученных сигналов.

Третья глава представляет собой результаты экспериментальных исследований при одноосном растяжении метастабильных сталей с ТРИП/ТВИП эффектами при различных температурах. Глава богато иллюстрирована как данными со сканирующей электронной микроскопии, так и данными, полученными с помощью магнитных методов, что убедительно доказывает корректность полученных результатов по кинетике релаксации напряжений, протекающих при деформации в исследуемых сталях.

Четвертая глава посвящена результатам экспериментальных данных по росту усталостной трещины в образцах метастабильных сталей с ТРИП/ТВИП эффектами, также при разных температурах испытания. В главе подробно описываются процессы, протекающие при росте усталостной трещины и проводятся аналогии с исследованиями других авторов, которые также подтверждают правоту полученных результатов.

В заключении автором формируются основные выводы, которые являются вполне обоснованными и логически вытекаемыми из проведенных экспериментов.

Научная новизна

Линдеровым М. Л. было экспериментально доказано, что с помощью методов кластерного анализа возможно идентифицировать ведущие механизмы релаксации напряжений, протекающие в метастабильных сталях с ТРИП/ТВИП эффектами. Автором была установлена кинетика доминирующих механизмов релаксации напряжений в виде АЭ в метастабильных сталях типа $16\text{Cr}6\text{MnXNi}$ с разным содержанием Ni ($X=3\%$, 6% и 9%) при одноосном растяжении и рост усталостной трещины. Также Линдеровым М. Л. было экспериментально доказано, что совокупная АЭ энергия кластера, отвечающего за мартенситное превращение, линейно коррелирует с количеством образовавшегося мартенсита, измеренного с помощью магнитных методов.

Практическая значимость работы

Усовершенствованная методика анализа непрерывного потока сигналов акустической эмиссии, позволяет изучать в реальном времени кинетику ведущих механизмов деформации, может быть применима к различным другим классам материалов. Полученные данные о кинетике исследуемых сталей могут быть полезны при разработке новых метастабильных сталей с заданным комплексом физико-механических свойств. Кроме того, используемые подходы к работе с большими массивами АЭ данных могут быть применены при использовании метода АЭ в качестве метода неразрушающего контроля в промышленности.

Достоверность

Достоверность полученных в работе данных обеспечивалась использованием методик испытания, соответствующих ГОСТ, поверенного оборудования, корректностью поставленных задач, обоснованностью сделанных приближений, а также проведением методических испытаний для проверки корректности их работы. Сопоставление полученных результатов с имеющимися литературными источниками не выявило противоречий с известными данными. Результаты работы прошли апробацию на 8 всероссийских и международных конференциях, а также опубликованы в 5 научных статьях, входящих в список ведущих рецензируемых научных изданий, в том числе 4 из которых входят в базы Web of Science и Scopus. Личный вклад автора не вызывает сомнений, в большинстве публикаций он возглавляет список авторов.

Замечания по диссертационной работе скорее состоят в пожелании уточнения некоторых пунктов :

1. Замечание к рисунку 64 а, линия «совокупная энергия АЭ кластера «скачки трещины»» уходит при 100000 циклах резко вверх за пределы шкалы и далее не отображается. В то же время «количество элементов кластера «скачки трещины»» нарастает и при увеличении количества циклов более 100000. По видимому при 100000 циклах фиксируется очень сильный сигнал «скачка трещины». Этот эффект было желательно описать и объяснить дополнительно. Было бы целесообразно так же линию «совокупной энергии АЭ кластера «скачки трещины»» при увеличении числа циклов более 100000 продолжить на графике в другом масштабе. Аналогичное замечание к рисунку 66 к линии «совокупной АЭ энергии кластера «движение частичных дислокаций»», которая уходит резко вверх за пределы шкалы при 200000 циклах.
2. Таблица 8 – Площадь, занимаемая двойниками для стали 16Cr6Mn9Ni, испытанной при 100⁰ С для образца № 1 указано значение 32 %, для образца № 2- 2 %, Таким образом, для образцов одной и той же стали, растянутых в одинаковых условиях, значение измеряемого параметра может различаться на порядок. Необходимо дать более подробное объяснение, почему может быть такая разница для эквивалентных образцов..
3. В Таблица 6 – Механические свойства исследуемых сталей – было бы целесообразно указать также предел текучести сталей
4. Скорее в качестве пожелания для развития работ в дальнейшем : было бы целесообразно вывести связь параметров ««совокупной АЭ энергии», «количество элементов кластера» соответствующего процесса, с вкладом этого процесса в общую деформацию образца. Так, «доли материала, претерпевшего мартенситное превращение» должен соответствовать некое численное значение деформации образца.

Однако вышесказанное не снижают очевидных достоинств диссертационной работы Линдерова М.Л.

Общая оценка диссертационной работы

В общем, диссертационная работа Линдерова М. Л. представляет собой логично построенное комплексное исследование, написанное понятным и грамотным русским языком. Диссертация содержит большое количество графиков и иллюстраций, помогающих пониманию её содержания. Основные научные результаты диссертации опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК, и доложены как на Всероссийских, так и на Международных конференциях. Содержание автореферата соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа М.Л. Линдерова выполнена на достаточно высоком научно-исследовательском уровне и представляет собой завершённую научно-

квалификационную работу. По своему содержанию диссертационное исследование М. Л. Линдерева безусловно соответствует п. п. 1 и 7 паспорта специальности 01.04.07 Физика конденсированного состояния и соответствует требованиям п. II.9 «Положения о присуждении ученых степеней», предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук, а автор заслуживает присвоения ученой степени кандидата физико-математических наук.

Ведущий научный сотрудник Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института физики молекул и кристаллов Уфимского научного центра Российской академии наук,
доктор физико-математических наук,



Гундеров Дмитрий Валерьевич

450075, г. Уфа, пр. Октября, 151.
+7 (3472) 734449, dimagun@mail.ru

Подпись Гундерева *В. В. Гундерева* В. заверяю
Зав. канцелярией *А. Д. Воронова* А. Д.
13.06.2017

