

Отзыв

Официального оппонента на диссертационную работу Линдерова Михаила Леонидовича «Идентификация механизмов 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 работы определяется необходимостью применения в промышленном производстве современных конструкционных сталей с ТРИП/ТВИП эффектами, обладающих одновременно высокими прочностными и пластическими свойствами. ТРИП/ТВИП стали – это класс метастабильных аустенитных сталей, с пластичностью, наведенной за счет бездиффузионного мартенситного превращения (ТРИП эффект), а также за счет двойникования (ТВИП эффект). Улучшенные физико-механические свойства формируются в сталях этого класса непосредственно при деформации за счет комплексного взаимодействия дислокационного скольжения, двойникования, образования дефектов упаковки и деформационного мартенсита. Поскольку изменения характеристик материала происходит непосредственно при деформации, важной и актуальной задачей является идентификация различных механизмов релаксации напряжений непосредственно при испытаниях ТРИП/ТВИП сталей, а также слежение за изменением их кинетики.

Представленная автором работа посвящена идентификации механизмов релаксации напряжений при деформации ТРИП/ТВИП сталей методом акустической эмиссии. Дислокационное скольжение, двойникование и мартенситные превращения материалов являются источниками волн акустической эмиссии, причем каждому явлению присущи определенные параметры акустико-эмиссионного излучения. Различие в параметрах

Входящий ИЭСМ
№ 582
от 08.06.2017

акустической эмиссии позволяет идентифицировать различные механизмы кинетики релаксации при деформации ТРИП/ТВИП сталей. Актуальность работы подтверждает тот факт, что изучение кинетики, перечисленных выше процессов, и управление ими позволит получить стали с различными заданными физико-механическими свойствами.

В работе использовались данные, полученные при статических и циклических испытаниях сталей $16Cr6MnXNi$ ($X=3\%$, 6% и 9%). Испытания проводились под контролем метода акустической эмиссии. Автор проводил сопоставление данных акустической эмиссии и микроструктуры образцов при деформировании. На основании анализа и кластеризации данных акустической эмиссии автором были изучены и идентифицированы основные механизмы кинетики релаксации сталей $16Cr6MnXNi$ при различном содержании никеля, различных температурных режимах и видах нагружения.

Диссертация изложена на 117 страницах, включает 68 рисунков и 8 таблиц. Диссертационная работа состоит из введения, 4 глав, заключения и списка используемой литературы, содержащего 138 наименования.

Во введении обосновывается актуальность выбранной темы диссертационной работы, формулируется ее цель, научная новизна и практическая значимость, приведены основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен аналитический обзор по теме диссертационного исследования, включающий анализ особенностей процессов, возникающих при деформации метастабильных сталей, а также методов, которые используются для их исследования. Рассматриваются особенности и основные закономерности метода акустической эмиссии, а также рассматривается связь процессов, протекающих при деформации ТРИП/ТВИП сталей, таких как дислокационное скольжение, двойникование и мартенситное превращение, с параметрами АЭ.

Вторая глава посвящена описанию материалов и методов, используемых в работе. Автор приводит характеристики исследуемых

материалов: в работе исследуются модельные высоколегированные нержавеющие стали $16Cr6MnXNi$ с содержанием Ni 3, 6 и 9%. Изучение особенностей двойникового осуществлялось на стабильной нержавеющей стали 316L. В тексте второй главы также приводятся чертежи образцов, характеристики используемого испытательного и измерительного оборудования. В заключительной части второй главы автор приводит описание методических основ диссертационной работы.

Третья глава посвящена исследованию кинетики процессов, протекающих при одноосном растяжении образцов из ТРИП/ТВИП сталей. Дислокационное скольжение, двойникование и мартенситные превращения, возникающие при деформации ТРИП/ТВИП сталей, являются источниками акустической эмиссии. Автором был проведен анализ сигналов акустической эмиссии, измеренных при испытаниях образцов, в результате которого были определены параметры акустической эмиссии, характеризующие процесс деформации сталей $16Cr6MnXNi$ и 316L в зависимости от их химического состава и температурного режима испытаний. Наиболее существенным результатом третьей главы является кластеризация сигналов акустической эмиссии. Специальный алгоритм динамической кластеризации позволил автору сгруппировать в кластеры акустические сигналы со схожим спектром, и ассоциировать каждому кластеру определенный механизм, протекающий при деформации исследуемых сталей. В результате были получены физически обоснованные результаты: для стали с 9% содержанием Ni были выделены кластеры, соответствующие двойникованию и дислокационному скольжению, для стали с содержанием Ni 3% - кластеры движения частичных дислокаций и мартенситного превращения, при промежуточной концентрации Ni равной 6% были идентифицированы все четыре упомянутых выше типа процессов. Еще одним важным результатом, полученным в третьей главе, является построение корреляционной зависимости между кумулятивной энергией акустической эмиссии и

количеством образовавшегося α' -мартенсита, измеренного с помощью магнитных методов.

Четвертая глава посвящена исследованию кинетики роста усталостной трещины в ТРИП/ТВИП сталях. В результате серии испытаний на циклическое нагружение было установлено, что сопротивление росту усталостной трещины зависит от содержания Ni. Было установлено, что сталь, содержащая 3% Ni по сопротивлению росту усталостной трещины, значительно превосходит две другие, с содержанием Ni 6 и 9%. В результате кластеризации сигналов акустической эмиссии, полученных во время испытаний, были выделены кластеры, ассоциированные с мартенситным превращением, двойникованием, также в отдельный кластер были сгруппированы импульсы, соответствующие скачкам роста усталостной трещины.

В рамках диссертационной работы было проведено глубокое и разностороннее исследование кинетики ведущих механизмов релаксации напряжений в метастабильных ТРИП/ТВИП сталях. Экспериментально исследованы особенности деформации ТРИП/ТВИП сталей в зависимости от содержания Ni и температурного режима испытаний. Автором был предложен метод идентификации различных механизмов, возникающих при деформации ТРИП/ТВИП сталей, основанный на кластерном анализе данных акустической эмиссии. Применение данного метода позволило идентифицировать возникновение таких механизмов деформации, как двойникование, дислокационное скольжение, мартенситное превращение, а также скачки роста усталостной трещины. Метод, предложенный автором, может быть применен для исследования механизмов, протекающих при деформации, широкого класса конструкционных материалов.

Достоверность полученных результатов подтверждается, теоретической обоснованностью принятых моделей деформации, согласованностью достигнутых результатов с ранее опубликованными, а также совпадением результатов, полученных методом акустической эмиссии

и визуальным методом, с применением электронного сканирующего микроскопа.

Работа в целом представляет собой глубокое и интересное междисциплинарное исследование, сочетающее теоретические аспекты механики разрушения, применение физических методов диагностики и информационных технологий.

В качестве недостатка работы можно выделить недостаточно подробное описание алгоритмов и результатов кластеризации. Автор не приводит стандартные для алгоритмов кластеризации параметры – отношение внутригрупповой и межгрупповой дисперсии, расстояние между центрами кластеров. Значения этих параметров дают представление о степени различия сформированных кластеров и достоверности результатов кластеризации в целом. Также были бы интересны данные о степени динамического изменения спектров, характерных для каждого кластера.

Однако, указанные недостатки не снижают общего хорошего впечатления от работы. Работа выполнена на высоком научно-исследовательском уровне с применением современных аналитических методов. Проведен большой объем экспериментальных исследований, получены как теоретические результаты, касающиеся исследования механизмов деформации ТРИП/ТВИП сталей, так и практические, заключающиеся в разработке метода идентификации механизмов релаксации напряжений при деформации. Научная значимость и практическая ценность представленной работы подтверждаются тем, что работа успешно апробирована на российских и международных конференциях и семинарах. Результаты работы опубликованы как в трудах конференций, так и в рецензируемых журналах.

Диссертационная работа М. Л. Линдерова выполнена на достаточно высоком научном уровне и представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой на основании полученных автором

данных совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, вносящее существенный вклад в развитие знаний по кинетике релаксации напряжений в метастабильных сталях с ТРИП/ТВИП эффектами. Диссертационное исследование М. Л. Линдерова 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.

Доцент Федерального государственного
бюджетного образовательного учреждения
высшего образования «Национальный
исследовательский университет «МЭИ»
кандидат технических наук.

Барат Вера Александровна

Тел. +7(495)3627747

E-mail: BaratVA@interunis-it.ru

111250, Россия, г. Москва,

Красноказарменная улица, дом 14

Подпись Барат В.А. удостоверяю

Заместитель начальника управления
по работе с персоналом



Полевая Л.И.