

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Линдерова Михаила Леонидовича «Идентификация механизмов и кинетики релаксации напряжений при деформации модельных ТРИП/ТВИП сталей методом кластерного анализа акустической эмиссии», представленной на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния

Применение стальных конструкций в таких ответственных областях техники, как транспорт, строительство, автомобилестроение требует проведения исследований, направленных на обеспечение безопасности при эксплуатации. При этом ТРИП/ТВИП стали имеют преимущества при штамповке и формовании благодаря повышенной прочности и пластичности. Необходимый набор физико-механических свойств формируется в них в ходе деформирования, поэтому важно устанавливать процессы, которые происходят в материале. Кроме того, определение физико-механических свойств данных материалов позволяет рассчитывать прочностные характеристики и ресурс конструкций, выполненных из них. Поэтому тема диссертационного исследования Линдерова М.Л., направленного на разработку методики идентификации механизмов и кинетики релаксации напряжений при деформации ТРИП/ТВИП сталей с использованием метода акустической эмиссии (АЭ), чрезвычайно актуальна.

Автор анализирует полученные данные и сопоставляет различные механизмы релаксации напряжений при пластической деформации с характерными для них функциями спектральной плотности непрерывной АЭ. Идентификация механизмов двойникования, дислокационного скольжения и движения частичных дислокаций, а также мартенситных превращений выполнялась с использованием кластерного анализа АЭ-информации. Для подтверждения полученных результатов выполнялось исследование микроструктуры стальных образцов методами микрофрактографии и лазерной сканирующей микроскопии.

В работе выполнено сопоставление результатов АЭ-контроля и механизмов разрушения ТРИП/ТВИП сталей.

Входящий ИИСМ  
№ 028  
от 22.06.2017

Представлены результаты экспериментальных исследований образцов с различным химическим составом и при различных температурах. При этом осуществлялась регистрация сигналов АЭ, и выполнялся анализ их спектрального распределения. С использованием кластерного анализа изучались процессы, возникающие при деформации растяжения при температурах  $+20^{\circ}\text{C}$  и  $+100^{\circ}\text{C}$  и выделены три группы сигналов с отличиями в функции спектральной плотности.

Для разделения АЭ-информации, зарегистрированной в процессе статических и циклических испытаний, автор предлагает применять кластеризацию по форме кривой мощности спектральной плотности. Анализ доминирующих механизмов релаксации напряжений при деформации и параметров полученных кластеров показал, что каждому состоянию стали при ее деформировании соответствует определенное значение частоты и энергии сигналов АЭ. Практическое значение работы состоит в разработке экспериментальной методики контроля формирования ТРИП/ТВИП сталей с различными прочностными и пластическими свойствами, а также в совершенствовании методов обработки больших массивов данных, регистрируемых при записи непрерывной АЭ.

Основные результаты исследований отражены в 13 публикациях, в том числе, 5 из них – в рецензируемых научных изданиях, и докладывались на большом числе международных конференций.

К основным замечаниям можно отнести следующее:

– описание метода кластеризации, по-существу, сводится к упоминанию используемого расстояния Кульбака-Лейблера без рассмотрения методов его вычисления применительно к спектрам сигналов АЭ. Это не позволяет понять, каким из десятков существующих методов кластеризации пользовался автор, чтобы судить о достоверности результатов кластерного анализа и вычислительной емкости использованных алгоритмов обработки информации. Непонятно, в использованном алгоритме кластеризации заранее задается число кластеров или их число оценивается по экспериментальным данным.

Однако, несмотря на замечание, следует подчеркнуть, что работа Линдерова М.Л. выполнена на высоком научно-исследовательском уровне и имеет большую практическую ценность для науки и производства.

В целом, судя по автореферату, диссертационная работа М.Л. Линдерова представляет собой завершенное научное исследование, содержит новые теоретические и прикладные результаты, решающие задачи, связанные с развитием методов определения механизмов релаксации напряжений при пластической деформации в материалах с ТРИП/ТВИП эффектами.

Считаю, что работа удовлетворяет требованиям ВАК РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а ее автор Линдеров Михаил Леонидович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 01.04.07 – Физика конденсированного состояния.

Начальник сектора по разработке  
акустико-эмиссионной и тензометрической  
аппаратуры ФГУП «Сибирский  
научно-исследовательский институт  
авиации имени С.А. Чаплыгина»  
д-р техн. наук, профессор



Людмила Николаевна  
Степанова

Научная специальность:

05.27.05 – Интегральные радиоэлектронные устройства


630051, г. Новосибирск, ул. Ползунова, 21. Федеральное государственное унитарное предприятие «Сибирский научно-исследовательский институт авиации имени С.А. Чаплыгина»

тел. (8-383) 227-88-69, 278-70-31

E-mail: [aergroup@ngs.ru](mailto:aergroup@ngs.ru), [stepanova@sti.ru](mailto:stepanova@sti.ru)

Подпись Степановой Людмилы Николаевны заверяю:



 15.06.2017.  
Чемезов Владимир  
Леонидович