

## ОТЗЫВ

официального оппонента Мерсона Дмитрия Львовича, доктора физико-математических наук, профессора на диссертационную работу Попковой Александры Александровны «Влияние структурного состояния на эволюцию усталостных повреждений титановых сплавов», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – «Материаловедение (машиностроение)» в специализированный совет Д 212.092.01 при Комсомольском-на-Амуре государственном университете

### **1. Актуальность и научная значимость работы.**

Работа Попковой А.А. посвящена разработке метода акустической эмиссии (АЭ) для мониторинга материалов в процессе эксплуатации.

При современном уровне развития техники и технологий требуется создание новых конструкционных материалов, характеризующихся высоким уровнем эксплуатационных свойств для чего в последние годы используются новые пути повышения свойств традиционных конструкционных материалов за счет целенаправленного формирования субмикро- и нанокристаллической структуры. В этом направлении одними из наиболее активно развивающихся способов улучшения механических свойств материала являются, так называемые, методы интенсивной пластической деформации (ИПД), среди которых лидерство принадлежит равноканальному угловому прессованию (РКУП), который позволяет исходный материал объемно структурировать.

В связи с большим разнообразием технологических режимов выполнения обработки с применением методов ИПД и, в частности, РКУП, исследованиям приходится проводить огромную рутинную работу по выявлению физико-механических и эксплуатационных свойств для каждого нового варианта, при этом наибольшую трудоемкость представляют методы микроструктурного анализа, которые требуется проводить на материале не только в исходном состоянии, но и на каждом этапе существенного изменения его структуры в процессе различного рода нагружения. Сложность состоит еще и в том, что момент наступления каждого такого нового этапа чаще всего экспериментатору заранее не известен, что только еще более увеличивает трудоемкость исследований за счет выполнения «лишней» работы.

Кроме относительно кратковременных статических испытаний для новых материалов (или традиционных в новом структурном состоянии) часто приходится проводить длительные циклические испытания для оценки их усталостных свойств, в

том числе, определения предела выносливости или долговечности (ресурса). В связи с этим, существует настоятельная необходимость разработки методов неразрушающего контроля структурных изменений, происходящих в материалах, непосредственно в ходе их лабораторных испытаний или эксплуатации изделий из них. С этой целью наиболее подходящим методом является метод акустической эмиссии, благодаря тому, что источником АЭ служит активация дефектов кристаллической решетки (дислокации, двойники, микротрещины и т.п.), т.е. как раз то, что и выступает причиной структурных изменений.

Таким образом, тематика исследования, связанная с разработкой методики мониторинга развития деформации и разрушения в процессе статического и усталостного разрушения титановых сплавов со структурой, сформированной современными методами ИПД является актуальной и научно значимой.

## **2. Научная новизна исследований и полученных результатов.**

Научная работа обладает научной новизной, которую можно выделить в следующем:

1. Определены границы областей рассеивания значений двухпараметрического распределения  $EAE-K_f$ , позволяющие идентифицировать тип источника, генерирующего сигнал акустической эмиссии, как дефекта кристаллического строения.

2. Установлена связь между активностью сигналов АЭ для зарегистрированных источников АЭ и стадийностью накопления усталостных повреждений. Стадия циклической микротекучести характеризуется низкой активностью источников дислокационного типа и двойников. Повышение активности источников пластической деформации соответствует стадии циклической текучести. Снижение активности АЭ, связанное с повышением концентрации дислокаций во время циклической деформации соответствует стадии циклического упрочнения. Стадия развития субмикротрещин до размеров микротрещин характеризуется началом активной регистрации сигналов соответствующих источников АЭ. Стадия развития микротрещин до размеров макротрещин характеризуется регистрацией источников АЭ, идентифицированных, как излучаемые макротрещинами.

3. Установлено влияние структурного состояния на процесс развития усталости в титановых сплавах, заключающееся в том, что уменьшение размеров зерен при переходе от крупнокристаллической (КК) структуры к субмикрокристаллической (СМК) структуре приводит к уменьшению энергии излучаемых сигналов на стадиях II-IV, выявленных по параметрам АЭ. Это приводит к более позднему выявлению стадий и снижению их протяженности в долевым отношении к общей долговечности для испытаний образцов с

субмикроструктурной (СМК) структурой в сравнении с ультрамелкозернистой (УМЗ) и крупнокристаллической (КК) структурой.

4. Разработана методика построения обобщенной диаграммы усталости, основанная на выделении стадий усталости по изменению активности сигналов АЭ, идентифицированных для различных видов источников в условиях малоциклового нагружения.

### **3. Практическая значимость работы.**

Практическая значимость работы связана с разработкой метода определения степени структурной деградации титановых сплавов по параметрам регистрируемых сигналов АЭ, который можно использовать для прогнозирования остаточного ресурса деталей, работающих в условиях циклических нагрузок. Методика, основанная на анализе стадийности накопления усталостных повреждений, разделяемых по видам АЭ на источники пластической деформации, применена для построения обобщенной диаграммы усталости, которая может быть использована при проведении усталостных испытаний по сокращенной программе.

### **4. Оценка обоснованности и достоверности научных положений выводов и заключений.**

Содержащиеся в диссертации положения, выводы и рекомендации получены на основе теоретических и практических изысканий процессов разрушения титановых сплавов в различном структурном состоянии. Работа выполнялась с использованием современного инструментария в процессе экспериментальных исследований.

Основные результаты научной работы были доложены и прошли апробацию на всероссийских и международных конференциях. Результаты работы опубликованы автором в ведущих рецензируемых периодических изданиях, 3 из которых в журналах, рекомендованных ВАК для публикации результатов диссертаций, 3 статьи включены в базу цитирования Scopus, 2 статьи включены в базу цитирования Web of Science. Результаты интеллектуальной деятельности подтверждены регистрацией 1 свидетельство о регистрации программ для ЭВМ.

### **5. Недостатки и замечания по диссертации.**

К работе у оппонента есть ряд недостатков и замечаний, которые можно условно разделить на три группы:

- 1). По оформлению рукописи диссертации:
  - на стр. 37 указана неверно длина образца;

- на стр. 40 говорится, что «область сжатия имеет несколько отличный вид...» тогда, как при циклических испытаниях по симметричной схеме не существует отдельно области сжатия или растяжения;
- в разделе диссертации 2.5 вводится понятие частотного коэффициента, в разделе 3.1 он активно используется для разделения сигналов АЭ сигналов на кластеры и только в разделе 3.2 расшифровывается физический и математический смысл этого коэффициента;
- в разделе 3.1 приведено два рисунка с номером 3.2;
- на стр. 82 в предложении «Наиболее широкое рассеяние ... для образца с КК структурой», а надо с СМК;
- на стр. 92 неверная ссылка на рис. 12 (нужно 4.9);
- на стр. 93 ошибочно сказано, что долговечность измеряется в МПа.

## 2) По методике экспериментов:

- в работе применяются установки, в которых можно задавать только амплитуду смещения (деформацию), однако по тексту диссертации везде говорится об испытаниях с постоянной амплитуды напряжения, а это справедливо исключительно для многоцикловой схемы испытаний. Когда уровень амплитуды напряжений находится намного ниже предела текучести, т.е. в области выполнения закона Гука. В диссертации основная масса усталостных испытаний проведена при малоцикловой схеме испытаний, т.е. при амплитуде напряжений выше предела текучести, поэтому в процессе испытаний с постоянной амплитудой смещения неизбежно будет изменяться вклад в общую деформацию упругой и пластической компонент и, как следствие, уровень амплитуды напряжения в процессе испытания будет постоянно увеличиваться;
- величина микротвердости зависит от нагрузки на индентор, поэтому ее в обязательном порядке нужно указывать – в работе это не сделано;
- одним из основных методов исследования в работе является метод акустической эмиссии, результаты которого в значительной мере зависят от параметров аппаратуры, однако в работе отсутствуют сведения об усилении (предварительного и основного усилителя), пороге дискриминации, типе и АЧХ регистрирующего датчика;
- не приведены математические выражения для разбиения сигналов АЭ на кластеры;
- в Главе 4 не приведены диаграммы статических испытаний на растяжение образцов сплав ВТ1-0 в различном состоянии, поэтому при обсуждении усталостных испытаний невозможно понять при каком уровне напряжений по отношению к пределу текучести эти испытания проводились.

## 3). По существу результатов:

- не понятно за счет чего уровень прочности достаточно пластичного сплава ОТ-4 оказался одинаковым с высокопрочным сплавом ВТ-20?

- согласно результатам, приведенным в разделе 3.1 (рис. 3.1 и 3.2), пики интенсивности прихода сигналов АЭ, связанных с движением дислокаций и образованием микротрещин, практически совпадают и приблизительно приходятся на условный предел текучести. Представляется маловероятным, чтобы процесс образования микротрещин наиболее активно происходит в самом начале пластического деформирования;

- методика построения обобщенной диаграммы усталости описана очень скупо и вызывает много вопросов:

а) на скольких минимально уровнях амплитуды напряжения нужно испытать образцы данного материала, чтобы построить эту диаграмму?

б) какова точность определения точек, отделяющих одну стадию усталости от другой;

в) как влияют на положение этих точек АЧХ датчика, усиление аппаратуры, уровень порога дискриминации и т.п.?

Отмеченные выше недостатки не оказывают значимого влияния на сформулированные в Заключении выводы и не умаляют в целом научной и практической значимости работы.

## **6. Соответствие работы требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.**

Диссертационная работа Попковой А.А. является научной работой, которая содержит обоснование цели и задач исследования, анализ научно-технической литературы по общему состоянию вопроса.

Работа содержит теоретические и экспериментальные исследования в области разработки методики диагностики материалов с помощью метода акустической эмиссии.

Основные положения диссертационной работы представлены в ряде статей научных изданий и докладывались на научно-технических конференциях. Диссертация отражает предмет исследования, основные результаты и выводы по проведенным исследованиям.

Диссертационная работа Попковой А.А. по своей актуальности, научной новизне, практической значимости в основном отвечает требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям.

## **7. Заключение.**

Диссертация выполнена в соответствии с требованиями, предъявляемыми к кандидатским диссертациям.

Считаю, что диссертационная работа Попковой А.А. «Влияние структурного состояния на эволюцию усталостных повреждений титановых сплавов» соответствует требованиям Положений ВАК России, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а ее автор Попкова Александра Александровна заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.09 – «Материаловедение (машиностроение)».

Официальный оппонент, д. ф.-м. н., профессор,  
директор Научно-исследовательского института  
прогрессивных технологий  
ФГБОУ ВО «Тольяттинский  
государственный университет»

Д.Л. Мерсон  
« 06 » 05 2019 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет» (445020, г. Тольятти, ул. Белорусская, 14), e-mail: [d.merson@tltsu.ru](mailto:d.merson@tltsu.ru), телефон: 8(8482)539169.

Я, Мерсон Дмитрий Львович (специальность 01.04.07 Физика конденсированного состояния) согласен на включение в аттестационное дело и дальнейшую обработку моих персональных данных, необходимых для процедуры защиты диссертации Попковой Александры Александровны исходя из нормативных документов Правительства, Минобрнауки и ВАК, в том числе на размещение их в сети Интернет на сайте ФГБОУ ВО «КНАГУ», на сайте ВАК, в единой информационной системе.

/Д.Л. Мерсон/  
« 06 » 05 2019 г.