

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ



Институт проблем машиностроения РАН –
филиал Федерального государственного
бюджетного научного учреждения
«Федеральный исследовательский центр
Институт прикладной физики
им. А.В. Гапонова - Грехова
Российской академии наук»
(ИПМ РАН)

Белинского ул., д. 85, Нижний Новгород, 603024.
Тел./факс (831) 432-03-00. E-mail: imsh@mts-nn.ru
ОКПО 04836215, ОГРН 1025203020193,
ИНН 5260003387, КПП 5262431001

«УТВЕРЖДАЮ»

Директор Института проблем
машиностроения РАН,
доктор физико-математических
наук, профессор



Ерофеев В.И.

2023 г.

08.11.2023 № 30-4001-129
На № _____ от _____

ОТЗЫВ

ведущей организации на диссертационную работу
Третьякова Дмитрия Алексеевича
на тему «Акустическая анизотропия конструкционных материалов с
накопленной поврежденностью и остаточными пластическими
деформациями», представленную к защите на соискание учёной степени
кандидата технических наук по специальности
1.1.8. Механика деформируемого твердого тела

Тема диссертационного исследования Д.А. Третьякова связана с исследованием акустической анизотропии при больших упруго-пластических деформациях металлов с ненулевой начальной анизотропией, для которых характерен анизотропный характер накопления поврежденности в процессе монотонного или циклического нагружения. Результаты работы имеют большую практическую ценность, поскольку позволяют проводить количественную оценку накопленной поврежденности по результатам ультразвуковых измерений с помощью существующего серийного оборудования, применяемого для промышленных измерений акустической анизотропии.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, приложений и списка цитируемой литературы, насчитывающей 230 источников. Изложение выполнено в ясной и доступной для понимания форме.

Актуальность работы обосновывается активным развитием технологий акустического неразрушающего контроля, в частности, методов акустической тензометрии, позволяющих осуществлять диагностику текущего состояния металлов. Своевременное обнаружение процессов, связанных с возникновением пластических деформаций и развитием микродефектов, является важной задачей для обеспечения безопасности на производстве, поскольку они вызывают деградацию механических свойств промышленных узлов и агрегатов.

Практическая ценность состоит в том, что разработанная Д.А. Третьяковым математическая модель позволяет осуществлять прямую оценку поврежденности металла и спрогнозировать его остаточный ресурс. Подход к построению угловых диаграмм акустической анизотропии может быть использован для определения осей анизотропии и направления действия максимальных напряжений в конструкции. Предложенный в диссертации способ определения величины пластических деформаций металла позволяет дополнить существующие методики акустоупругих измерений и может найти применение на промышленных предприятиях таких организаций как, например, ПАО «Газпром нефть», ПАО «Лукойл» и др.

Достоверность полученных результатов обеспечивается использованием специализированного оборудования при проведении измерений, строгостью математического аппарата, корректностью постановки задачи определения анизотропной поврежденности с использованием элементов тензорного анализа и воспроизводимостью результатов экспериментов.

Научная новизна содержит три пункта:

1. Обнаружено значительное влияние поверхностных повреждений на акустическую анизотропию при измерениях в промышленном прокате. Удаление поверхностных и подповерхностных слоев металла приводит к кратному снижению акустической анизотропии, приобретенной в процессе деформирования.
2. Установлена связь между главными значениями тензора поврежденности и акустической анизотропией. Использование модели анизотропной континуальной поврежденности позволяет количественно оценить объемную плотность дефектов по результатам контрольных измерений скоростей ультразвуковых волн в неповрежденном и поврежденном материале.
3. Разработан способ определения вклада пластических деформаций в величину акустической анизотропии при измерении в деталях машин и элементах конструкций. Построение угловых диаграмм акустической анизотропии дает возможность проанализировать характер накопленной анизотропной поврежденности металла.

Во введении дана общая характеристика диссертационной работы, проведен анализ степени разработанности темы и обоснована ее актуальность, сформулированы цель и задачи исследования, его теоретическая и практическая значимость, научная новизна и результаты апробации, а также приведены положения, выносимые на защиту.

В первой главе приведен обзор литературы по теме диссертации. Сформулирована основная задача диссертации – исследование акустической анизотропии в начально анизотропных материалах при их упруго-пластической деформации, для которых характерен анизотропный характер накопления поврежденности.

Во второй главе показано, что во всех исследуемых образцах из стального горячекатаного и алюминиевого холоднокатаного проката наблюдается сильная неравномерная начальная акустическая анизотропия. Полученные зависимости акустической анизотропии от упруго-пластических

деформаций обладают немонотонными участками сброса уровня значений. Распределения остаточной акустической анизотропии в образцах после пластического разрушения имеют неоднородный макроскопический характер с характерными локальными максимумами и минимумами, вызванными локализацией поврежденности в металле. Удаление поврежденного слоя толщиной порядка 2-3 средних размеров зерна приводит к кратному изменению величины остаточной акустической анизотропии металла.

В третьей главе предложен подход к описанию акустической анизотропии как локальной характеристики представительного объема металла, а также использованы подходы континуальной механики разрушения для установления количественной связи между акустической анизотропией и поврежденностью. Использование модели материала с анизотропной континуальной поврежденностью позволило количественно оценить объемную плотность микротрещин, используя результаты измерений скоростей ультразвуковых волн в изначальном неповрежденном и деформированном поврежденном металле.

В четвертой главе рассмотрен экспериментальный подход к построению угловых диаграмм акустической анизотропии, позволяющий разделить влияние эффектов от пластических деформаций и поврежденности на результаты ультразвуковых измерений акустической анизотропии, а также был предложен способ определения величины пластических деформаций в деталях машин и элементах конструкций, получивший патент на изобретение.

В заключении приведены основные выводы по работе.

В приложении приведены копии диплома о присуждении медали Российской академии наук за цикл работ по материалам диссертации, а также свидетельство о получении патента на изобретение способа определения вклада пластической деформации в величину акустической анизотропии.

Замечания.

1. В главе 2 раздел 2.1.1 «Оборудование для измерения акустической анизотропии» приведена формула (2.1) для «расчета акустической анизотропии». Однако, с учетом устоявшейся терминологии, корректно использовать выражение «расчёт параметра акустической анизотропии». Эта неточность встречается по всему тексту диссертации и автореферата.

2. В главе 2 раздел 2.2. немонотонность зависимости параметра акустической анизотропии от величины упруго-пластических деформаций алюминиевого образца (рис. 2.28) на всем участке деформирования объясняется влиянием накопленной поврежденности в процессе деформирования металла. С другой стороны, на графике можно выделить три характерных участка. На первом участке (деформация до 0,01) зависимость имеет линейный вид и обусловлена упругой деформацией. На втором участке (деформация от 0,01 до 0,07) зависимость также имеет линейный вид, которая обусловлена равномерной пластической деформацией. На этом участке изменение параметра акустической анизотропии связано, в основном, с разворотом зерен и изменением кристаллографической текстуры поликристалла (Богачев И.Н., Вайнштейн А.А., Волков С.Д. Статистическое металловедение. Москва: Металлургия, 1984. — 176 с.). Третий участок (деформация выше 0,07) имеет сугубо нелинейный вид, что связано с активным образованием поврежденности материала. По-видимому, в диссертации при рассуждениях о влиянии поврежденности на немонотонность зависимости имелся в виду третий участок деформирования.

3. На стр. 77 представлены результаты исследования «дисперсии времени распространения поперечной акустической волны (волнового пакета) от несущей частоты». Однако, обычно используется понятие «дисперсии фазовой скорости упругой волны». Для металлов она имеет очень малое значение по сравнению с влиянием изменения текстуры и поврежденности. В силу малости этого эффекта экспериментальное измерение дисперсии фазовой скорости упругой волны представляет

значительную проблему. И, как правило, дисперсия не учитывается при определении скоростей упругих волн в металлах (Клюев В.В., ред. Неразрушающий контроль и диагностика. М.: Машиностроение, 1995. 488 с). По всей видимости, уменьшение погрешности с увеличением частоты упругой волны связано с другим эффектом.

4. В главе 3 вводится понятие тензора поврежденности через главные поврежденности материала. Далее поврежденность предлагается определять по изменению анизотропии после снятия поверхностного слоя толщиной примерно 0,5 мм шлифовкой. Однако, известно, (Серебряный В. Н., Рохлин Л. Л., Моница А. Н. Текстура и анизотропия механических свойств магниевого сплава системы $Mg - Y - Gd - Zr$ // Перспективные материалы. – 2013. – № 7. – С. 12-20.) что в листовом прокате материал имеет, как минимум, двухкомпонентную текстуру. Многочисленные рентгеноструктурные исследования листового проката из углеродистых сталей при послойном снятии металла показали наличие одной компоненты текстуры в приповерхностном слое, и другой компоненты в среднем слое. При шлифовке поверхности одна из компонент текстуры уменьшается с увеличением толщины снятого слоя. Поэтому утверждение, что в приповерхностном слое сконцентрирована основная часть поврежденности и при его снятии (примерно 0,5 мм) поврежденность всего материала близка к нулю, требует подтверждения. Ясность могли бы внести исследования изменения анизотропии при шлифовке поверхности исходного образца до деформации. Таких исследований, исходя из текста диссертации, проведено не было.

5. В главе 4 приведены угловые диаграммы акустической анизотропии. Они построены путём поворота датчика на разные углы и измерения скорости распространения волнового пакета. Встаёт вопрос о корректности таких измерений. Известно, что в кубическом кристалле есть особые направления, в которых нормаль к волновому фронту совпадает с компонентой смещения продольной волны. В этих направлениях

распространяются только две поперечные и одна продольная волна. Это справедливо и для ортотропных поликристаллических материалов, к которым относится листовой прокат. При промежуточных углах относительно осей ортотропного материала, мы получаем сложение сигналов разной амплитуды, разной фазы, но равной частоты. Возможно, в диссертации имелось в виду изменение времени распространения между сигналами, которые являются суммой сигналов сдвиговых волн разной поляризации. Не ясно, можно ли в таком случае проводить расчет параметра акустической анизотропии.

Тем не менее, указанные замечания не снижают научной ценности диссертационной работы.

Заключение по диссертационной работе. Диссертация Третьякова Дмитрия Алексеевича является завершённой научно-квалификационной работой, которая выполнена на высоком научном уровне. Она соответствует п.1. «Законы деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе природных, искусственных и вновь создаваемых»; п.10. «Прочность при сложных режимах нагружения. Теория накопления повреждений. Механика разрушения твёрдых тел» и п.13. «Экспериментальные методы исследования процессов деформирования, повреждения и разрушения материалов, в том числе объектов, испытывающих фазовые структурные превращения при внешних воздействиях» паспорта специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твёрдого тела». Диссертация Д.А. Третьякова полностью соответствует требованиям п. II.9 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (с изм. от 30 июля 2014 г., 21 апреля, 2 августа 2016 г., 29 мая, 28 августа 2017 г., 1 октября 2018 г., 20 марта, 11 сентября 2021 г., 26 сентября 2022 г., 26 января 2023 г., 18 марта 2023 г.), предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата наук.

Основное содержание диссертации опубликовано в 20 работах, в том числе в 3 работах в изданиях, рекомендованных ВАК РФ, в 8 работах,

входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science и в 1 патенте на изобретение.

Автореферат правильно и полно отражает содержание диссертации.

Третьяков Дмитрий Алексеевич заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8. – Механика деформируемого твёрдого тела.

Отзыв на диссертационную работу составили: заведующий лабораторией неразрушающего контроля и диагностики материалов и конструкций, к.т.н. Гончар Александр Викторович, главный научный сотрудник той же лаборатории, д.т.н. Мишакин Василий Васильевич, старший научный сотрудник той же лаборатории, к.т.н. Ключников Вячеслав Александрович.

Отзыв обсужден и одобрен на расширенном заседании семинара лаборатории неразрушающего контроля и диагностики материалов и конструкций Института проблем машиностроения РАН – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук».

Присутствовало на заседании – 13 чел.

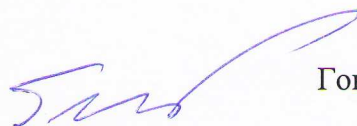
Результаты голосования: «За» – 13 чел., «Против» – нет, «Воздержалось» – нет.

Протокол № 1 от 08 ноября 2023 г.

Заведующий лабораторией
неразрушающего контроля и диагностики
материалов и конструкций, кандидат
технических наук (05.16.01)

Главный научный сотрудник лаборатории
неразрушающего контроля и диагностики
материалов и конструкций, доктор
технических наук (05.02.01)

Старший научный сотрудник лаборатории
неразрушающего контроля и диагностики
материалов и конструкций, кандидат
технических наук (01.02.06, 05.16.01)



Гончар Александр
Викторович



Мишакин Василий
Васильевич



Ключников Вячеслав
Александрович

Сведения о ведущей организации:

Институт проблем машиностроения РАН – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова - Грехова Российской академии наук» (ИПМ РАН)

603024, г. Нижний Новгород, ул. Белинского, д. 85.
Тел./факс (831) 432-03-00. E-mail: imsh@mts-nn.ru

Подписи Гончара Александра Викторовича, Мишакина Василия Васильевича, Ключникова Вячеслава Александровича заверяю:

Начальник отдела кадров ИПМ РАН



Кикин Павел Павлович