

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.097.01,
СОЗДАННОГО НА БАЗЕ ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ НАУКИ ИНСТИТУТ ПРОБЛЕМ
МАШИНОВЕДЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
МИНИСТЕРСТВА НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело № _____

решение диссертационного совета от 28.11.2023 г., протокол № 41

О присуждении **Третьякову Дмитрию Алексеевичу**, гражданину Российской Федерации, ученой степени кандидата технических наук.

Диссертация «Акустическая анизотропия конструкционных материалов с накопленной поврежденностью и остаточными пластическими деформациями» по специальности 1.1.8 «Механика деформируемого твердого тела» принята к защите 19 сентября 2023 года (протокол заседания № 40) диссертационным советом 24.1.097.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт проблем машиноведения Российской академии наук (ИПМаш РАН) Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, 199178, Санкт-Петербург, Большой проспект В.О., д. 61, в соответствии с приказом Министерства образования и науки Российской Федерации о создании диссертационного совета №75/нк от 15.02.2013 г., состав совета переутвержден приказом №1326/нк от 22.06.2023 г.

Соискатель Третьяков Дмитрий Алексеевич, «01» декабря 1993 года рождения. В 2018 году соискатель окончил с отличием Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра

Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ») с присуждением квалификации магистра по направлению «Прикладная механика», в 2022 году окончил аспирантуру Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ») по направлению «Математика и механика». Соискатель с 2020 года работает ассистентом Высшей школы автоматизации и робототехники Института машиностроения, материалов и транспорта Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ»).

Диссертация выполнена в Федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ») Министерства науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН Беляев Александр Константинович, директор Высшей школы механики и процессов управления Физико-механического института Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО «СПбПУ»).

Официальные оппоненты:

– Плехов Олег Анатольевич, доктор физико-математических наук, член-корреспондент РАН, директор Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», дал положительный отзыв на диссертацию с замечаниями:

1. При описании процесса шлифовки автор указывает на необходимость контроля температуры образца. В четвертой главе сформулировано «необходимое условие» недопущения нагрева образца выше 100 °С. Чем

вызвано данное значение температуры и почему взято абсолютное значение температуры, а не гомологическая температура?

2. При описании экспериментальных результатов, как правило, приводятся результаты для единичных образцов из различных партий. Естественным является вопрос о повторяемости таких результатов. Насколько полученные данные об акустической анизотропии и изменении толщины образца изменяются внутри одной партии образцов?
3. Автор сравнивает толщину удалённого поверхностного слоя с размером зерна исследуемого материала. При этом в работе отсутствуют результаты структурных исследований материала или ссылки на них. Результаты оптической микроскопии позволили бы объективнее судить как об анизотропии структуры материала, так и о распределении его зерен по размерам.

– Беркутов Игорь Владимирович, кандидат технических наук, доцент факультета систем управления и робототехники Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО», дал положительный отзыв на диссертацию с замечаниями:

1. В тексте работы не анализируется влияние на результат расчета величины параметра акустической анизотропии измерений групповой скорости, фазовой скорости или скорости фронта волны.
2. В приведенных экспериментах использовались ультразвуковые датчики 5 и 6 МГц, являющиеся как излучателями, так и приемниками отраженных волн. При этом не рассмотрено влияние на результат измерений затухания ультразвуковых волн на различных частотах и толщинах объекта контроля.
3. В работе недостаточно подробно раскрыт вопрос, как меняется форма сигнала на разных участках деформирования (в упругой области, при пластической деформации, при интенсивном росте поврежденности

перед разрушением образца). Целесообразно было провести анализ изменения спектра ультразвуковых волн при росте поврежденности. Также было бы полезно привести оценку влияния на результат измерений возникновения, например, противоположно направленных пластических деформаций по толщине объекта контроля.

Ведущая организация – Институт проблем машиностроения РАН – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук», г. Нижний Новгород, в своем положительном отзыве, подписанном Гончаром Александром Викторовичем, кандидатом технических наук, заведующим лабораторией неразрушающего контроля и диагностики материалов и конструкций, Мишакиным Василием Васильевичем, доктором технических наук, главным научным сотрудником лаборатории неразрушающего контроля и диагностики материалов и конструкций, Ключниковым Вячеславом Александровичем, кандидатом технических наук, старшим научным сотрудником лаборатории неразрушающего контроля и диагностики материалов и конструкций, утвержденным Ерофеевым Владимиром Ивановичем, доктором физико-математических наук, профессором, директором Института проблем машиностроения РАН – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики им. А.В. Гапонова-Грехова Российской академии наук», указали, что в диссертации обнаружен эффект значительного влияния поверхностных повреждений на акустическую анизотропию при измерениях в промышленном прокате. Показано, что удаление поверхностных и подповерхностных слоев металла приводит к кратному снижению акустической анизотропии, приобретенной в процессе деформирования. Установлена связь между главными значениями тензора поврежденности и акустической анизотропией. Разработан способ определения вклада пластических деформаций в величину акустической анизотропии при

измерении в деталях машин и элементах конструкций. Предложен подход к построению угловых диаграмм акустической анизотропии, дающий возможность проанализировать характер накопленной анизотропной поврежденности металла.

Отмечается, что диссертация Третьякова Д.А. «Акустическая анизотропия конструкционных материалов с накопленной поврежденностью и остаточными пластическими деформациями» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая выполнена на высоком научном уровне. Тема и содержание диссертации соответствуют 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 твердого тела». Диссертация отвечает всем требованиям п. П.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, а ее автор Третьяков Дмитрий Алексеевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по указанной специальности.

Доклад Третьякова Д.А. по диссертации был заслушан и обсужден 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», и получил одобрение участников семинара (протокол № 1 от 08.11.2023 г.). В отзыве ведущей организации, утвержденном на заседании семинара, имеются следующие 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, который обусловлен 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 магниевых сплавов 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.

Соискатель имеет 61 опубликованную работу, в том числе 20 работ по теме диссертации, из них в рецензируемых научных изданиях опубликовано 11 работ (3 работы в изданиях, рекомендованных Высшей аттестационной комиссией (ВАК) для публикации основных научных результатов диссертации на соискание ученой степени кандидата наук, и 8 работ в изданиях, входящих в международные базы данных Scopus и Web of Science).

Основные результаты автором апробированы в полной мере и соответствуют содержанию диссертации. В диссертации отсутствуют недостоверные сведения об опубликованных соискателем работах, их виде, авторском вкладе и объеме научных изданий.

**Наиболее значимыми публикациями по теме диссертации являются
Список ВАК Минобрнауки РФ:**

1. Беляев А. К., Полянский В. А., Третьяков Д. А. Оценка механических напряжений, пластических деформаций и поврежденности посредством акустической анизотропии // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Механика. – 2020. – №. 4. – С. 130-151.
2. Третьяков Д. А. Акустическая анизотропия на различных стадиях деформационного процесса в металлах // Diagnostics, Resource and Mechanics of Materials and Structures. – 2020. – №. 1. – С. 43-56.
3. Семенов А. С., Полянский, В. А., Штукин, Л. В., Третьяков, Д. А. Влияние поврежденности поверхностного слоя на акустическую анизотропию // Прикладная механика и техническая физика. – 2018. – Т. 59. – №. 6. – С. 201-210.

Scopus и Web of Science:

4. Belyaev A.K., Galyautdinova A.R., Tretyakov D.A. Acoustoelastic Effect During Plastic Deformation of Anisotropic Metals // International Summer School-Conference “Advanced Problems in Mechanics”, Cham: Springer International Publishing. – 2020. – P. 296-302.
5. Tretyakov D.A., Belyaev A.K., Shaposhnikov N.O. Acoustic anisotropy and localization of plastic deformation in aluminum alloys // Materials Today: Proceedings. – 2020. – Vol. 30. – P. 413-416.
6. Belyaev A. K., Galyautdinova, A. R., Polyanskiy, V. A., Tretyakov, D. A. Skin Effect of Acoustic Anisotropy and Dissolved Hydrogen in Metals // Advances in Hydrogen Embrittlement Study. – 2021. – P. 33-43.
7. Tretyakov D.A., Belyaev A.K., Polyanskiy V.A., Stepanov A.V., Yakovlev Yu. A. Correlation of acoustoelasticity with hydrogen saturation during destruction // E3S Web of Conferences. – EDP Sciences. – 2019. – Vol. 121. – P. 01016.
8. Tretyakov D. A., Belyaev A. K. Surface effect of acoustic anisotropy during plastic deformation of metals // AIP Conference Proceedings. – AIP Publishing. – 2019. – Vol, 2176. – No.1. – P. 020011.

9. Alhimenko A. A., Belyaev A. K., Grishchenko A. I., Semenov A. S., Tretyakov D. A., Polyanskiy V. A., Yakovlev Y. A. Propagation of acoustic waves during the control of hydrogen-induced destruction of metals by the acoustoelastic effect // 2018 Days on Diffraction (DD). – IEEE. – 2018. – P. 11-16.
10. Belyaev A.K., Polyanskiy V.A., Semenov A.S., Tretyakov D.A., Yakovlev Y.A. Investigation of the correlation between acoustic anisotropy, damage and measures of the stress-strain state // Procedia Structural Integrity. – 2017. – 6. – P. 201-207.
11. Belyaev A. K., Grishchenko A. I., Polyanskiy V. A., Semenov A. S., Tretyakov D. A., Shtukin L. V., Yakovlev Y. A. Acoustic anisotropy and dissolved hydrogen as an indicator of waves of plastic deformation // 2017 Days on Diffraction (DD). – IEEE. – 2017. – P. 39-44.

На диссертацию и автореферат поступило 5 отзывов (все положительные):

1. Отзыв профессора кафедры «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», доктора технических наук, профессора Смирнова Александра Николаевича и заведующего кафедрой «Технология машиностроения» ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», кандидата технических наук, доцента Абабкова Николая Викторовича с замечаниями:
 - Из текста автореферата непонятно, из каких соображений для экспериментальных исследований была выбрана именно сталь 14ХГНДЦ и алюминиевый сплав АМц.
 - На рис. 16 автореферата изображены 4 кривые, в подрисуночной подписи есть пояснения только к трем из них и непонятен смысл кривой h_R , при этом в подрисуночной подписи есть ссылка на кривую h_R , которой нет на рисунке.

- В тексте автореферата часто употребляется термин «поврежденность» и говорится о таких дефектах как поры, трещины и структурная неоднородность, но не приводится ни подтверждающих фотографий, ни перечня оборудования, с помощью которого поврежденность была установлена.
2. Отзыв профессора Научно-образовательного центра АО «Обуховский завод», доктора технических наук, доцента Сайбея Алексея Геннадиевича с замечаниями:
- Из автореферата не удастся получить ответ на вопрос об объеме выполненных экспериментальных исследований (раздел 2). Поскольку в качестве результатов представлены графические зависимости, полученные, как следует из текста автореферата, по единичному опыту, объем представленных данных не позволяет оценить общность полученных результатов.
 - Представление результатов исследований в сочетании со статистическими характеристиками полученных экспериментальных данных существенно обогатило бы диссертационный материал.
 - Автор игнорирует общепринятые правила пунктуации, что приводит к снижению восприятия автореферата, являющегося существенным элементом научно-квалификационной работы; в тексте автореферата присутствует несколько стилистических погрешностей, а оформление имеет отклонения от требований ГОСТ Р 7.0.11.
3. Отзыв заведующего кафедрой теории упругости Института математики, механики и компьютерных наук им. И.И. Воровича Южного федерального университета, доктора физико-математических наук, профессора Ватульяна Александра Ованесовича с замечаниями:
- Формула (1) получена в предположении однородности среды, однако далее автор приводит множество экспериментальных фактов, свидетельствующих о достаточно сильной неоднородности исследуемых образцов (например, Рис. 1,2).

- Как объяснить различия в деформировании: немонотонное изменение толщины образца (рис. 10) 3-№1 в отличие от монотонного изменения 0В-№3?
 - Вклад пластической деформации предполагается определять из соотношения (16), в основе которого лежит предположение об аддитивности вкладов от различных факторов. Неясно, насколько это предположение подтверждается экспериментально.
4. Отзыв заведующего лабораторией физики прочности Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук (ИФПМ СО РАН), доктора физико-математических наук, профессора Зуева Льва Борисовича и научного сотрудника ИФПМ СО РАН, кандидата технических наук Надежкина Михаила Владимировича с замечаниями:
- Хотелось бы отметить отсутствие обоснования выбора материалов исследований. В частности, алюминиевый сплав АМц не относится к конструкционным и использование его для оценки акустических свойств при циклических нагрузках не вполне очевидно.
 - В автореферате не приведена статистика исследований, поэтому складывается ощущение, что представленные результаты получены на отдельных образцах.
5. Отзыв профессора кафедры «Физика, электротехника, диагностика и управление в технических системах» ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», доктора технических наук, профессора Степановой Людмилы Николаевны с замечаниями:
- В автореферате не рассмотрено, как влияет количество испытанных образцов или элементов конструкций на точность и достоверность результатов измерения скорости продольных и поперечных волн от деформации, а также – на зависимость акустической анизотропии от деформации.

- Не указано, где проведено внедрение результатов диссертационных исследований.

Во всех отзывах указывается, что автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 1.1.8 – «Механика деформируемого твердого тела».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается тем, что оппоненты являются компетентными и авторитетными учеными в области механики деформируемого твердого тела и механики сплошных сред, ведущими научную деятельность и имеющими научные публикации в областях науки, затрагиваемых диссертацией, а ведущая организация является одним из крупных научных центров в области волновой механики, теории упругости и неразрушающего контроля материалов и диагностики и конструкций, в котором работают такие авторитетные ученые в данных областях, как д.ф.-м.н. Перевезенцев Владимир Николаевич, д.т.н. Родюшкин Владимир Митрофанович, д.т.н. Мишакин Василий Васильевич и многие другие, способные оценить научную и практическую значимость диссертационной работы.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

- 1) **Проанализировано** влияние неоднородной начальной анизотропии упругих модулей, локализации больших пластических деформаций и накопленной в процессе нагружения поврежденности на величину акустической анизотропии металлического проката.
- 2) **Обнаружено** значительное влияние поверхностных повреждений на акустическую анизотропию при измерениях в промышленном прокате.
- 3) **Установлена** связь между мерами тензора поврежденности второго ранга, скоростями упругих волн в поврежденном и неповрежденном материале и акустической анизотропией в рамках уравнений континуальной механики разрушения.

- 4) **Получены** приближенные оценки акустической анизотропии на основании расчетных данных о поврежденности материала в предположении однонаправленно и двунаправленно ориентированных поверхностных микротрещин.
- 5) **Предложен** экспериментальный подход к определению ориентации осей анизотропии, направления действия максимальных напряжений и установлению характера анизотропной поврежденности путем построения угловых диаграмм акустической анизотропии.
- 6) **Разработан** экспериментальный способ определения пластических деформаций и поврежденности в деталях машин и элементах конструкций на основании результатов измерений акустической анизотропии.

Теоретическая значимость исследования обоснована тем, что в диссертации **разработана** математическая модель анизотропной континуальной поврежденности, позволяющая проводить прямую количественную оценку накопленной в металле поврежденности по результатам ультразвуковых измерений акустической анизотропии.

Значение полученных соискателем результатов исследования для практики подтверждается тем, что предложенный подход к построению угловых диаграмм акустической анизотропии может быть использован для экспериментального определения осей анизотропии и направления действия максимальных напряжений в конструкции. Разработанный способ определения величины пластических деформаций металла позволяет дополнить существующие методики акустоупругих измерений и расширить область их практического применения.

Оценка достоверности результатов исследования выявила:

- При решении задачи определения анизотропной поврежденности использовались общепризнанные фундаментальные методы механики разрушения, апробированные в научной литературе.

- Полученные теоретические оценки величины акустической анизотропии, вызванной анизотропной поврежденностью материала, качественно и количественно соответствуют данным прямых экспериментальных наблюдений.
- Экспериментальные результаты были получены с использованием специализированного оборудования, используемого при проведении промышленных измерений акустической анизотропии.

Личный вклад соискателя состоит в

- Непосредственном участии в формулировке и постановке цели и задач диссертационного исследования.
- Проведении ультразвуковых опытов в стальном и алюминиевом в промышленном прокате, в ходе которых был впервые обнаружен эффект влияния поврежденного поверхностного слоя на акустическую анизотропию.
- Получении аналитических уравнений, связывающих главные значения тензора поврежденности со скоростями ультразвуковых волн и акустической анизотропией, и их экспериментальной верификации.
- Разработке алгоритма определения вклада пластических деформаций в величину акустической анизотропии при измерениях в деталях машин и элементах конструкций.
- Непосредственном участии в подготовке публикаций по теме диссертации и апробации результатов исследования на конференциях и семинарах.

В ходе защиты диссертации были высказаны следующие критические замечания:

1. Автор недостаточно подробно рассмотрел вопрос, исходя из каких предположений были получены различные приближенные оценки акустической анизотропии на основании расчетных данных о поврежденности.

2. В работе необходимо было осветить, в чем принципиальное различие разрабатываемого экспериментального метода, основанного на измерении параметра акустической анизотропии, и существующих методов ультразвуковой спектроскопии, используемых для анализа поврежденности.
3. Разработанная модель материала с анизотропной континуальной поврежденностью применима для оценки продольной поврежденности в случае проката, однако она не позволяет описать спиральную поврежденность. Таким образом, должны быть указаны ограничения в возможности ее применения. При этом характеристика анизотропии, зависящая от угла поворота системы ортогонально поляризованных поперечных волн, вводится в работе как скалярная величина. Видится целесообразным рассматривать ее как векторную величину.
4. Автор утверждает, что изменение знака производной акустической анизотропии от деформаций свидетельствует об упруго-пластическом разрушении материала. Не до конца ясно, с чем связан восходящий характер экспериментальных кривых при упруго-пластической деформации металла.

Соискатель Третьяков Д.А. согласился с замечаниями, ответил на задаваемые ему в ходе заседания вопросы и привел собственную аргументацию, указав что в диссертации была разработана модель материала с анизотропной континуальной поврежденностью, которая была использована для оценки поврежденности в алюминиевом прокате на разных стадиях деформирования, а также после его разрушения. Для этого были применены различные подходы к симметризации тензора эффективных повреждений. В частности, использовались явная аддитивная, явная мультипликативная и неявная аддитивные схемы, для которых были рассчитаны значения главных компонент тензора поврежденности на основании значений акустической анизотропии. Использование явной аддитивной схемы позволило получить приближение к экспериментальным данным с точностью до 5%. В методах

ультразвуковой спектроскопии играет принципиальную роль размер дефектов и наблюдаемое от них отражение волн при заданной частоте. В то время как метод оценки величины параметра акустической анизотропии основан на измерении времени распространения двух взаимно ортогонально поляризованных поперечных волн. На время их распространения влияет разрыхление материала, вызванное образованием дефектов. Благодаря высокой точности измерений данный метод позволяет обнаружить дефекты размером в несколько десятков микрон даже при отсутствии отражений волн от границ дефектов. В рамках существующих стандартов акустоупругих измерений рассматриваются только направления поляризации волн, коллинеарные линиям действия главных напряжений. Поэтому для учета поврежденности в неколлинеарных направлениях был предложен подход, основанный на построении угловых диаграмм акустической анизотропии. Вводимую в качестве характеристики анизотропной поврежденности величину, зависящую от угла поворота системы ортогонально поляризованных волн, действительно необходимо рассматривать как векторную. Закон ее изменения зависит от соотношения между упругой, пластической и вызванной поврежденностью составляющими акустической анизотропии. При этом увеличение упруго-пластических деформаций образца приводит к линейному росту параметра акустической анизотропии. Участки немонотонности и снижение на них уровня акустической анизотропии вызваны интенсивным накоплением поврежденности, которое преобладает над влиянием остальных факторов при напряжениях, превышающих предел прочности материала.

Диссертационный совет пришел к выводу о том, что диссертация Третьякова Дмитрия Алексеевича представляет собой законченную научно-квалификационную работу, которая соответствует критериям, установленным «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842 (с изменениями и дополнениями).

На заседании 28 ноября 2023 года диссертационный совет принял решение за разработку подходов к исследованию акустической анизотропии металлов при упруго-пластической деформации с учетом неоднородной начальной анизотропии и анизотропной поврежденности присудить Третьякову Дмитрию Алексеевичу ученую степень кандидата технических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 16 человек, из них 5 докторов наук по специальности защищаемой диссертации, участвовавших в заседании, из 20 человек, входящих в состав совета, дополнительно введены на разовую защиту 0 человек, проголосовали: за присуждение ученой степени – 16, против присуждения ученой степени – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Председатель

диссертационного совета

ДС 24.1.097.01, д.т.н.



Полянский

Владимир Анатольевич

Ученый секретарь

диссертационного совета

ДС 24.1.097.01, д.т.н.

Седакова

Елена Борисовна

28 ноября 2023 г.