

ОТЗЫВ

официального оппонента Бехера Сергея Алексеевича
на диссертационную работу Тапкова Кирилла Александровича
«Научное обоснование методики оценки остаточных напряжений в
дифференцированно-упрочненных рельсах на основе явления акустоупругости и
математического моделирования», представленную на соискание ученой степени
кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля
природной среды, веществ, материалов и изделий»

1. Актуальность темы

Транспортная безопасность является одним из приоритетных направлений развития науки и техники Российской Федерации. Значительная роль в обеспечении безопасности принадлежит верхнему строению пути и, в том числе, рельсам, непосредственно воспринимающим и передающим на земляное полотно все статические, динамические и ударные воздействия подвижного состава. Прочность, долговечность и безотказность рельсов напрямую влияет на вероятности сходов, аварий и крушений железнодорожного транспорта.

Способность материала рельса сопротивляться образованию и развитию в процессе эксплуатации усталостных трещин, в значительной степени, зависит от уровня остаточных механических напряжений, в том числе, напряжений первого рода. В настоящее время, методы неразрушающего контроля остаточных механических напряжений в рельсах отсутствуют, и для этих целей используются разрушающие испытания по ГОСТ 51685-2013. Таким образом, актуальность темы диссертационной работы, направленной на создание методов оперативного сплошного неразрушающего контроля механических напряжений и оценку их влияния на скорость развития трещин в головке рельса, не вызывает сомнений.

2. Краткий обзор диссертационной работы

Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения и трех приложений. Список цитируемой литературы включает 133 наименования. В приложениях приведены: методика неразрушающего контроля, копии актов внедрения результатов диссертационных исследований в учебный процесс и на производственном предприятии. Общий объем диссертации без списка литературы и приложений составляет 127 страниц. Оформление диссертации соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

Автореферат полностью отражает содержание диссертации и соответствует требованиям ГОСТ Р 7.0.11-2011.

В первой главе проанализированы особенности технологии производства рельсов и их влияние на процессы формирования остаточных напряжений первого рода, выполнен обзор существующих методов испытаний и контроля, рассмотрены области применения и ограничения. По результатам научного обзора сформулированы цель и задачи исследования.

Во второй главе содержатся необходимые сведения из теории упругости и



усталостного разрушения, о численных способах решения задач упругого деформирования тела с использованием методов конечных элементов. Описаны применяемые в экспериментах средства измерений и специализированное программное обеспечение. Численные расчеты выполнены в программе COMSOL Multiphysics, для экспериментальных исследований применялся акустический структуроскоп СЭМА. Приведены технические и метрологические характеристики СЭМА, его структурная схема и особенности программного обеспечения для обработки сигналов. Выполнен анализ акустического тракта при прозвучивании рельса с поверхности катания, учитывающий различный уровень механических напряжений в подошве, шейке и головке рельса.

Третья глава посвящена результатам исследования сопоставимости разрушающих испытаний и неразрушающего контроля методом акустоупругости при прозвучивании рельсов с поверхности катания для оценки остаточных механических напряжений первого рода. Экспериментально установлены соотношения между остаточными напряжениями в основных элементах рельсов (головка, шейка, подошва) из разных плавок двух основных производителей. Предложена модель распределения напряжений в материале рельса, в которой уровни остаточных напряжений в его элементах определяются напряжениями в головке рельса и постоянными экспериментально определенными коэффициентами пропорциональности. Построена и рассчитана конечно-элементная модель рельса с остаточными напряжениями. Расчетным методом установлена, а затем экспериментально обоснована связь критериев разрушающего контроля по раскрытию паза в шейке и по деформациям темплета из подошвы с критериями неразрушающего контроля методом акустоупругости при прозвучивании сечения рельса.

В четвертой главе приведены результаты математического моделирования процесса развития усталостного дефекта в головке рельса в зависимости от уровня остаточных механических напряжений первого рода, разности температуры рельса и температуры «закрепления». Описана построенная конечно-элементная модель и алгоритм исследования усталостной прочности. В качестве критерия перевода рельса в категорию «остродефектный» принят переход дефекта через вертикальную плоскость симметрии рельса. Рассчитаны зависимости размеров трещины от пропущенного тоннажа при разных уровнях остаточных напряжений и температуры.

В заключении диссертации сформулированы основные результаты исследования.

3. Степень обоснованности научных положений, выводов и рекомендаций

Основные положения диссертации и полученные в результате ее выполнения выводы и рекомендации в достаточной мере обоснованы, как аналитически с использованием теорий упругости, акустоупругости и усталостного разрушения металлов, так и расчетами с использованием методов конечных элементов в широком спектре граничных условий. Построенные в работе модели и установленные

закономерности подтверждаются результатами экспериментов с реальными объектами контроля разных производителей из различных плавок рельсов.

4. Научная новизна и достоверность полученных результатов

Научная новизна работы заключается в теоретически и экспериментально обоснованной модели распределения остаточных напряжений первого рода в рельсе и основанные на ней закономерности, связывающие уровни механических напряжений в разных элементах и позволяющие обосновать применение и практически реализовать метод контроля на основе акустоупругости с использованием двух поперечных волн со взаимно перпендикулярными поляризациями. В рамках предложенной модели рассчитаны скорости развития усталостных дефектов в головке рельса в зависимости от уровня остаточных и температурных напряжений.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием метрологически обеспеченного оборудования, зарегистрированного в Государственном реестре средств измерений и поверенного (калиброванного) в установленном порядке. Все расчеты выполнены с использованием лицензионного программного обеспечения, а их результаты верифицированы экспериментально. Полученные выводы не противоречат опубликованным результатам работ других авторов, признанным положениям теорий упругости и усталостного разрушения.

5. Практическая значимость

Практическая значимость диссертации состоит в том, что на основе ее результатов разработана методика контроля методом акустоупругости остаточных механических напряжений в рельсах, которая может быть использована для сплошного контроля в процессе приемо-сдаточных испытаний. Организация сплошного контроля после изготовления позволит повысить безопасность железнодорожного движения за счет снижения вероятности попадания в эксплуатацию рельсов с высоким уровнем механических напряжений, способствующих повышению скорости развития усталостных дефектов.

6. Публикации и апробация

Основные результаты диссертационного исследования отражены в 14 публикациях, в том числе 3 статьи в изданиях, в которых должны быть опубликованы научные результаты диссертаций на соискание учёной степени кандидата технических наук.

Результаты диссертации докладывались на 6 всероссийских и международных конференциях.

7. Замечания по работе

1) Разработанная модель, описываемая выражением 2.31, является достаточно грубой. При этом в работе не обосновано, достаточна ли ее точность для решения

поставленной задачи, не определена связь средних по сечению напряжений с локальными напряжениями в элементах рельса.

2) Переход от выражения 2.37 к 2.38 возможен только в том случае, если скорости в разных элементах рельса в отсутствии остаточных механических напряжений первого рода в одинаковые. Это в работе не обосновано.

3) Полученные в работе выражения 2.41 и 2.45 не проанализированы, не показано как они используются для решения поставленных задач.

4) На стр. 61 сказано, что «создана 3D-модель рельса». При этом отсутствуют сведения о среднем размере конечных элементов (постоянный или адаптивный), граничных условиях, распределении напряжений и нагрузок, имитирующих остаточные напряжения, верификации модели на простейших аналитически решенных задачах.

5) На стр. 66 сказано «нагрузка колеса вагона ... может достигать 11 т при применении тележки ЦНИИ-Х3». В настоящее время эксплуатируются тележки с осевой нагрузкой 23 и 25 т/ось, а в перспективе 27 т/ось, что соответствует нагрузке от колеса 11,5, 12,5 и 13,5 т. Наименование тележки ЦНИИ-Х3 не используется в современной нормативной и технической документации.

6) На рис. 4.62, видимо, допущена опечатка, неправильно обозначена горизонтальная ось. В анализе рис. 4.62 сказано, что «превышение максимально допустимого уровня остаточных технологических напряжений ускоряет рост трещины». При этом наклоны всех зависимостей на рис. 4.62 практически идентичные.

7) В тексте диссертации имеется незначительное количество опечаток, грамматических и стилистических ошибок: под формулой (2.43) расшифровываются обозначения величин, которые в ней не используются; на стр. 61 предложение не согласовано «и сопоставлено значения распределенных сил ...»; название раздела 3.4 не согласовано; лишняя запятая в предложении «подвижного состава, под поверхностью ...» на стр 79; опечатка на стр. 80 в таб. 4.1 «Максимальные напряжения в рельса ...»; опечатка на стр. 84 «трещину, размером которой не превышают более ...»; в п.1 научной новизны единицы измерения перенесены на следующую строку в нарушение «Положения о единицах величин...»; на стр. 14 отсутствуют единицы измерения «+50 до – 50 ...»; на рис. 4.1 – 4.6 отсутствует масштаб и неясно, распределение каких напряжений приведено.

Несмотря на допущенные опечатки и ошибки диссертация написана достаточно грамотным техническим языком.

Отмеченные замечания и сформулированные вопросы не снижают научной и практической значимости работы и не влияют на достоверность полученных результатов.

8. Общая оценка и заключение по рассмотренной работе

Диссертация является законченной научно-исследовательской работой, выполненной автором на достаточно высоком научном уровне. Автореферат полностью

соответствует содержанию диссертации.

Диссертационная работа соответствует требованиям п. 9 Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации № 842 от 24.09.2013 г., предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Тапков Кирилл Александрович заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Согласен на включение моих персональных данных в аттестационное дело и их дальнейшую обработку.

Дата составления отзыва «15» декабря 2020 года.

Официальный оппонент
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Электротехника,
диагностика и сертификация» СГУПС

Бахер
Сергей
Алексеевич

Докторская диссертация по специальности 05.11.13 – «Приборы и методы контроля природной среды, веществ, материалов и изделий».

Место работы: кафедра «Электротехника, диагностика и сертификация» федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Сибирский государственный университет путей сообщения» (СГУПС).

Адрес: 630049, РФ, Новосибирская обл., г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, д. 191.
Телефон: +7 (383) 328-04-00, электронная почта: public@stu.ru, сайт: http://www.stu.ru/.

подпись С.А. Бахера заверяю
Проректор по учебной работе СГУПС,
кандидат технических наук, доцент



Новоселов
Алексей
Анатольевич