

Список использованных источников

1. Баранов Н., Бугров Д., Главацкая Е., Горшков С., Древний город на Оби: история Сургута. – Екатеринбург: Издательство «Тезис», 1994. – С.295-298.
2. Захаров И.П. Моя земля. Сургут. – Рекламно-издательский информационный центр «Нефть Приобья» «ОАО Сургутнефтегаз», 1999. – С. 22-31.
3. Мунарев П.А. Так было, так начиналось (записки председателя). – Сургут: ООО «Сургутская типография», 2008. – С.65-90.
4. Петрова Л., Показаньев Ф. Города нашего края. – Свердловск: Средне-Уральское книжное издательство, 1987. – С.5-105.

УДК 620.179.16

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ УЛЬТРАЗВУКОВОГО КОНТРОЛЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В РЕЛЬСАХ ПРИБОРОМ СЭМА

Тапков К.А., Муравьев В.В., д.т.н., профессор

Ижевский государственный технический университет имени М.Т. Калашникова

Аннотация. Одной из наиболее часто встречающихся причин разрушения рельсов является высокое значение остаточных напряжений. В процессе производства рельсов остаточные напряжения могут возникать в процессе прокатки, термообработки, правке и рихтовке. В настоящее время приемо-сдаточные испытания включают в себя контроль по измерению расхождения паза рельса после прорезания шейки рельса на глубину 600 мм, а также измерение остаточных напряжений в подошве рельса до и после вырезки темплета с наклеенным тензодатчиком.

В данной статье рассматривается возможность применения акустопругого метода измерения напряжений в рельсах для проведения приемо-сдаточных испытаний и дальнейшего использования для дефектоскопии рельсов в эксплуатации. Приведены результаты исследования напряжённо-деформированного состояния и предложен двусторонний браковочный критерий $\sigma_{int} = -52...-80$ Мпа и затронуты перспективы применения метода для дефектоскопии рельсов.

Ключевые слова: неразрушающий контроль, акустопругость, рельс, напряжённо-деформированное состояние, моделирование, остаточные напряжения.

Введение. Безопасность эксплуатации железнодорожного транспорта имеет все возрастающую роль вследствие роста скоростей движения, интенсивности грузоперевозок и пассажирского потока. Важное место в обеспечении безопасности движения транспорта занимает надежность железнодорожного пути – рельсов, наличие опасных дефектов в которых может привести к материальному и экологическому ущербу, а также вызвать человеческие жертвы в результате схода подвижного состава.

Одной из наиболее частых причин разрушения многих металлических конструкций, в том числе и рельсов, является высокий уровень остаточных напряжений, который может достигать предела текучести, особенно в области острых трещин [1-4]. Это приводит к концентрации напряжений, ускоренному развитию дефектов и значительно снижает срок службы изделий [5-7]. Таким образом, значение остаточных напряжений в рельсах является важным параметром, от которого зависят время работы изделия и вероятность развития в нем дефектов. Знание этой величины повысит эксплуатационную надежность рельсов и железнодорожного транспорта в целом.

Остаточные напряжения возникают при производстве в процессе прокатки из-за неравномерности охлаждения элементов рельса при термической обработке, деформации рельса при правке и рихтовке, а также перераспределяются во время его эксплуатации. Моделирование температурно-структурного состояния железнодорожного рельса при его закалке позволяет объяснить распределение свойств в поперечном сечении [8-10].

В настоящее время, согласно ГОСТ 51685–2013 «Рельсы железнодорожные. Общие технические условия», уровень остаточных напряжений в шейке рельса оценивается по косвенным признакам, а именно по расхождению прорезанного в отрезке рельса паза. Пробу длиной 600 мм прорезают в холодном состоянии по нейтральной оси рельса на длину 400 мм, ширина паза 6 мм. В случае, если расхождение паза превысит 2 мм, рельс признается бракованным.

Недостатки данной методики контроля очевидны: расхождение паза – это функция напряжений всех элементов рельса (головки, шейки, подошвы), поэтому данная методика не может дать представление о реальных значениях напряжений в элементах рельса. К этому можно добавить и факт проведения контроля лишь на одном отрезке рельса из партии, хотя уровни напряжений по разным сечениям также могут быть различны. Множество факторов, влияющих на остаточные напряжения в каждом элементе рельса, вызывают необходимость исследования распределения напряжений в сечении и по разным сечениям разных выборок для разработки обоснованного браковочного критерия [11].

Принцип работы прибора СЭМА и явление акустоупругости. Вычисление значений напряжений проводилось согласно формуле (1) [12-14]:

$$\sigma = D \cdot \left(\frac{t_1}{t_2} - 1 \right) \quad (1)$$

где $D=145$ ГПа – коэффициент акустоупругости, определенный экспериментально, t_1 – время распространения волны, поляризованной вдоль главных напряжений, с., t_2 – время распространения волны, поляризованной перпендикулярно оси главных напряжений, с.

Для формирования поперечных волн использована методика на основе электромагнитно-акустического (ЭМА) способа возбуждения и приема волн с помощью прибора СЭМА, структурная схема которого представлена на рис. 1 [9]. Генератор электрических импульсов 2 формирует мощный зондирующий электрический импульс, ЭМА-преобразователь 3 возбуждает и принимает в объекте контроля 1 акустические импульсы, которые поступают на усилитель 4 и плату АЦП 5.

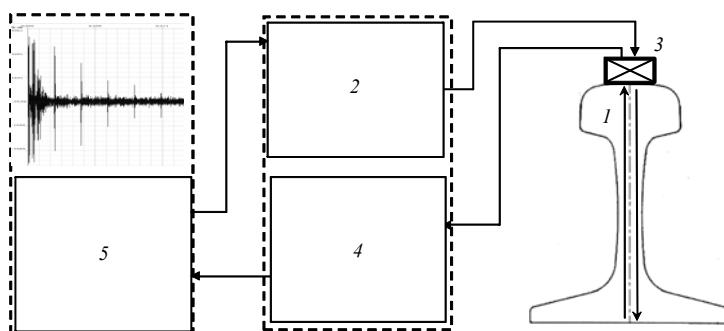


Рисунок 1 – Структурная схема установки: 1 – объект контроля; 2 – генератор; 3 – ЭМА-преобразователь; 4 – усилитель; 5 – ПК с платой АЦП.

Обработка полученных экспериментально эхограмм проводилась в программной среде ПРИНЦ (св-во № 2011614594) [15]. Погрешность измерений составила 3 МПа.

Отметим, что при прозвучивании сечения рельса со стороны головки экспериментальные данные представляют собой интегральную характеристику напряжений по всему сечению рельса. Причиной изменения скорости волн по элементам служит различный уровень напряжений по головке, шейке и подошве, в результате чего для сопоставления фактических напряжений по элементам рельса с экспериментальными появляется необходимость использовать средневзвешенное значение (2).

$$\sigma_{int} = \frac{\sigma_h \cdot L_h + \sigma_w \cdot L_w + \sigma_b \cdot L_b}{L_h + L_w + L_b} \quad (2)$$

где σ_{int} – значение напряжений, получаемых при прозвучивании со стороны головки рельса, МПа, σ_h , σ_w , σ_b — напряжения соответственно в головке, в шейке и в подошве рельса, МПа, L_h , L_w , L_b – путь, который проходит волна в вертикальном сечении по головке, шейке и подошве рельса соответственно, мм.

Расхождение паза и значения напряжений по элементам рельса были смоделированы в среде COMSOL, значения напряжений в отрезке рельса при прозвучивании со стороны поверхности катания были вычислены аналитически по формуле (2) согласно результатам моделирования.

Результаты исследования напряжённо-деформированного состояния рельсов. Согласно ГОСТ 51585-2013 превышение значения расхождения паза в 2 мм является недопустимым, и рельс признаётся бракованным. По результатам моделирования для дифференцированных термоупрочнённых рельсов это соответствует уровню напряжений -77 ± 3 МПа при измерении прибором СЭМА [16].

В то же время, согласно ГОСТ 51685-2013 регламентируемый уровень остаточных напряжений в поверхностном слое подошвы составляет 250 МПа. По результатам моделирования остаточных напряжений в подошве рельса, критический уровень в 250 МПа в поверхностном слое будет присутствовать при значении измеренных напряжений в -52 ± 3 МПа прибором СЭМА [16].

Заключение

1. Предложен двухсторонний браковочный критерий при приёмо-сдаточных испытаний рельсов: уровень остаточных напряжений при прозвучивании прибором СЭМА сечения рельса со стороны головки должен лежать в пределах $-49...-80$ МПа с учётом погрешности.

2. Моделирование показало высокую степень корреляции с результатами экспериментального исследования, что позволяет говорить о возможности использования разработанной модели и типа распределения напряжений для дальнейшего исследования напряжённо-деформированного рельсов, уложенных в пути.

3. Проведение дополнительных исследований напряжённо-деформированного состояния для рельсов, уложенных в пути, а также лабораторных исследований, позволяет говорить о создании методики для контроля преддефектного состояния рельсов в составе уже имеющихся вагонов-дефектоскопов.

Список использованных источников

1. Муравьев В.В., Зуев Л.Б., Комаров К.Л., Харитонов В.Б., Чаплыгин В.Н. Оценка накопления дефектов при усталости акустическим методом. – Проблемы машиностроения и надежности машин. – 1994. – № 4. – С. 103-107.
2. Абабков Н.В., Кашубский Н.И., Князьков В.Л., Князьков А.Ф., Козлов Э.В., Конева Н.А., Макаров Н.М., Муравьев В.В., Попова Н.А., Смирнов А.Н., Фольмер С.В. под редакцией А.Н. Смирнова. Диагностика, повреждаемость и ремонт барабанов котлов высокого давления. – М., 2011. – 256 с.
3. Степанова Л.Н., Серьезнов А.Н., Муравьев В.В., Бобров А.Л., Чаплыгин В.Н., Лебедев Е.Ю., Кабанов С.И., Катарушкин С.А., Кожемякин В.Л. Связь спектра сигналов АЭ с процессом усталостного развития трещин в металлических образцах. – Контроль. Диагностика. – 1999. – №2. – С. 5-8.
4. Муравьев В.В. Взаимосвязь скорости ультразвука в сталях с режимами их термической обработки. – Дефектоскопия. – 1989. – №2. – С. 66-68.
5. Муравьев В.В., Волкова Л.В., Громов В.Е., Глезер А.М. Оценка остаточных напряжений в рельсах с использованием электромагнитно-акустического способа ввода-приема волн. – Деформация и разрушение материалов. – 2015. – № 12. – С. 34–37.
6. Покровский А.М., Третьяков Д.Н. Численное моделирование температурно- структурного состояния железнодорожного рельса при его закалке // Наука и Образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. – 2015. – №07. – С. 1–13.
7. Буденков Г.А., Муравьев В.В., Коробейникова О.В. Исследование напряженно-деформированного состояния ободьев цельнокатанных вагонных колес методом акустической тензометрии. – Фундаментальные проблемы современного материаловедения. – 2009. – Т. 6. – №3. – С. 111-117.
8. Муравьев В.В., Бояркин Е.В. Неразрушающий контроль структурно-механического состояния рельсов текущего производства по скорости ультразвуковых волн. – Дефектоскопия. – 2003. – №3. – С 24-33.
9. Степанова Л.Н., Бехер С.А., Курбатов А.Н. и др. Исследование напряженного состояния рельса с использованием акустоупругости и тензометрии. – Изв. вузов. Строительство. – 2013. – №7. – С.103-109.
10. Муравьев В.В., Волкова Л.В., Платунов А.В., Булдакова И.В. Оценка напряженно-деформированного состояния рельсов методами конечных элементов и акустоупругости. – Деформация и разрушение материалов. – 2017. – №1. – С. 41-44.

11. Муравьев В.В., Волкова Л.В., Платунов А.В., Куликов В.А. Электромагнитно-акустический метод исследования напряженно-деформированного состояния рельсов. – Дефектоскопия, №7. – 2016. – С. 12-19.
12. Муравьев В.В., Стрижак В.А., Пряхин А.В. Исследование внутренних напряжений в металлоконструкциях методом акустоупругости. – Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2016. – Т. 82, №12. – С. 52-57.
13. Серьезнов А.Н. Муравьев В.В., Степанова Л.Н. и др. Локализация сигналов акустической эмиссии в металлических конструкциях. – Дефектоскопия. – 1997. – №10. – С. 79-84.
14. Муравьев В.В., Волкова Л.В., Лапченко М.А. Ультразвуковой контроль остаточных напряжений в бандажах локомотивных колес при производстве. – Дефектоскопия. – 2015. – №5. – С. 3-16.
15. Стрижак В.А., Пряхин А.В., Обухов С.А., Ефремов А.Б. Информационноизмерительная система возбуждения, приема, регистрации и обработки сигналов электромагнитно-акустических преобразователей. – Интеллектуальные системы в производстве. – 2011. – № 1. – С. 243-250.
16. Муравьев В.В., Волкова Л.В., Платунов А.В., Булдакова И.В. Оценка напряженно-деформированного состояния рельсов методами конечных элементов и акустоупругости. – Деформация и разрушение материалов. – 2017. – №1. – С. 41-44.

УДК 339.924: 316.422.4

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ ЕДИНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПРОСТРАНСТВА СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА В ПРОЦЕССЕ УГЛУБЛЕНИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ИНТЕГРАЦИИ

Якушенко К.В.

Белорусский национальный технический университет

Основная цель интеграционного процесса – поиск форм и методов сотрудничества в рамках регионального или международного масштаба. Развитие интеграции стало закономерным результатом роста производительных сил, которые требовали более надежных контактов, связей и отношений между субъектами и устранения многочисленных препятствий на пути сотрудничества. Союзное государство даже без учета длительной истории тесных экономических взаимоотношений в последние несколько лет активно формируют единую пространственно-временную территорию, на которой реализуют различные варианты взаимовыгодных отношений. Соответственно, при разработке концепции формирования Единого информационного пространства России и Беларуси предлагается взять за основу базовые положения уже существующего единого экономического пространства для двух стран.

Среди зарубежных исследователей обычно выделяют классическую теорию интеграционных этапов Б. Баласса, которая основывается на критериях уменьшения дискриминации компаний на каждом этапе либерализации факторов производства. Однако приведенные Балассом формы интеграции постепенно претерпевают изменения: использование только критерия снятия барьеров для перемещения факторов производства и устранения дискриминации во взаимных отношениях оказывается недостаточным для выявления всего разнообразия возможных форм интеграционного взаимодействия государств, возникает потребность в создании единых программ, механизмов и структур, а также в усилении роли наднациональных институтов, в формировании более скоординированной политики государств и в появлении нового качества в этой координации. И здесь встает вопрос о степени координации политики на каждой стадии интеграционного взаимодействия: политика государств объединения может быть согласованной и включать в себя только *общие* для этих стран элементы, а может быть иная (*единая* для всех стран-участниц политика), более высокая степень согласованности, при которой формируются сильные наднациональные структуры.

В связи с этим, при единой политике обеспечивается более глубокая интеграция стран, ведущая к слиянию различных сфер суверенных экономик и к возникновению нового интеграционного качества – наднациональных правил, политик, структур и механизмов в едином интегрированном пространстве.