

А. В. Поляков<sup>1</sup>, С. В. Пахомов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

## УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ ПРОВЕРКИ ГОЛОВКИ РЕЛЬСА ПОСЛЕ РЕМОНТА С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ АЛЮМИНОТЕРМИТНОЙ НАПЛАВКИ ГОЛОВКИ РЕЛЬСА

**Аннотация.** С каждым годом растет грузонапряжённость на главных направлениях сети, увеличиваются вес грузовых поездов и скорости движения. Поэтому возрастают требования к качеству рельсовой продукции. Необходимы ее надежность и увеличение срока службы. По мнению специалистов, снизить затраты на ремонт колеи, в том числе бесстыковых плетей на участках высокоскоростного движения, помогут современные технологии сварки. Развитие высокоскоростных железнодорожных магистралей требует создания бесстыкового пути, что устанавливает высокие требования к качеству рельсов. В связи с этими требованиями в последнее время на сети железных дорог России активно внедряется алюминотермитная наплавка и сварка рельсов. Безопасность движения поездов определяется в первую очередь надежной работой рельсов. Приведен анализ по типам выявленных дефектов дефектоскопами за период 2013 года по июнь 2018 года, который показывает, что дефекты в головке рельса с каждым годом растут. Приведено сравнение существующей технологии ремонта головки рельса и технологии алюминотермитной наплавки головки рельса. Предложена и рассмотрена методика ремонта головки рельса путем применения технологии алюминотермитной наплавки головки рельса. В полной мере рассмотрено применение метода ультразвукового контроля для проверки рельса после проведения ремонта. По результатам исследования получен экономический эффект в рассматриваемой технологии.

**Ключевые слова:** головка рельса, алюминотермитная наплавка, дефектоскопия, ультразвуковой контроль.

A. V. Polyakov<sup>1</sup>, S. V. Pakhomov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Irkutsk state University of railway engineering, Irkutsk, Russian Federation

## ULTRASONIC TESTING INSPECTION OF RAIL HEAD AFTER THE REPAIR WITH APPLICATION OF TECHNOLOGY OF THE ALUMINOTHERMIC WELDING OF RAIL HEAD

**Abstract.** Every year the load on the main directions of the network increases, the weight of freight trains and the speed of movement increase. Therefore, the requirements for the quality of rail products are increasing. Its reliability and service life extension are necessary. According to experts, modern welding technologies will help to reduce the cost of track repair, including buttless lashes in areas of high-speed traffic. The development of high-speed Railways requires the creation of a seamless track, which sets high requirements for the quality of the rails. In connection with these requirements in recent years on the Russian railway network is actively implemented aluminothermic surfacing and welding of rails. Train safety is primarily determined by the reliable operation of the rails. The analysis of the types of defects detected by flaw detectors for the period 2013 to June 2018, which shows that the defects in the rail head grow with each city. The comparison of the existing technology of rail head repair and technology of aluminum-thermite cladding of the rail head is presented. The method of repair of the rail head by applying the technology of aluminum-thermal welding of the rail head is proposed and considered. The application of the method of ultrasonic testing to check the rail after repair is fully considered. According to the results of the study, the economic effect in the considered technology was obtained.

**Keywords:** the head of the rail, aluminothermic welding, nondestructive testing, ultrasonic testing.

### Введение

Одной из наиболее важных и актуальных проблем железнодорожного транспорта является повышение качества и надежности деталей, механизмов машин и оборудования. Это вызвано постоянным ростом энерговооруженности оборудования железнодорожного транспорта, внедрением автоматизированных систем обслуживания и управления.

Очевидно, что увеличение эффективности, надежности и ресурса, а также обеспечение безопасной эксплуатации механизмов, машин и оборудования тесно связано с необходимостью оценки их технического состояния с использованием видов и методов неразрушающего контроля и диагностики, в первую очередь ультразвуковых методов контроля [1, 2, 3], которые нашли самое широкое применение на железнодорожном транспорте.

Для обеспечения безопасности движения поездов одним из основных условий является регулярный неразрушающий контроль специалистами рельсов, уложенных в путь. Обычно контроль осуществляется специальными ультразвуковыми дефектоскопами и позволяет определить наличие в них дефектов, выявить причины появления дефектов, и, самое главное, предупредить разрушение рельса под поездом, которое может привести к крушению [1, 2, 3].

В рельсах в процессе эксплуатации по мере наработки тоннажа, измеряемого в млн. т брутто, происходят процессы износа, смятия, коррозии и усталости, в том числе контактной, изгибной и коррозионной усталости. В результате протекания этих процессов в рельсах образуются различные повреждения и дефекты: выкрашивания, выколы, трещины, изломы, все виды износа, пластические деформации в виде смятия, сплывов металла головки рельса, коррозия, механические повреждения, величины которых превышают нормированные значения.

Отказ рельса вызывается дефектом, при котором исключается пропуск поездов (полный отказ, например, при изломе рельса) или возникает необходимость в ограничении скоростей движения поездов (частичный отказ, например, образование волнообразных неровностей сверх нормируемых значений на поверхности катания головки рельса и т. п.).

В настоящее время существует классификация дефектов, подразделяющаяся на группы [4].

На рис. 1 представлен анализ по типам выявленных дефектов дефектоскопными средствами за период 2013 года по июнь 2018 года.

Анализ показывает, что дефекты в головке рельса с каждым годом растут по экспоненте.

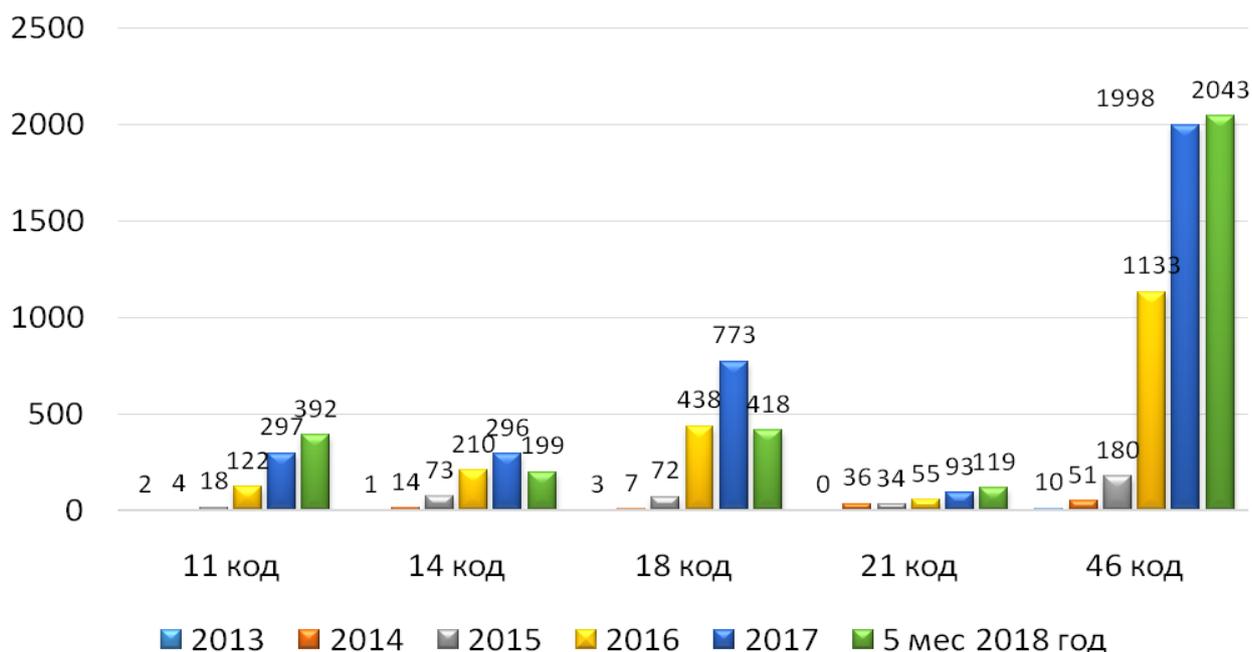


Рис. 1. Статистические данные по наличию дефектных рельсов за период 2013-2018 гг.

Сейчас в своей практической деятельности специалисты по ремонту железнодорожных путей применяют известный метод ремонта головки рельса путем вырезания куска рельса длиной 8-12,5 метров с дефектом, вырубки такого же куска рельса без дефекта и дальнейшей

сваркой двух стыков с установкой на них стыковых фрезерованных накладок (рис. 2). Но исследования показали, что можно применять и технологию алюминотермитной наплавки головки рельсов (THR), которая также известна, и ее методика изложена в работах [5, 6].

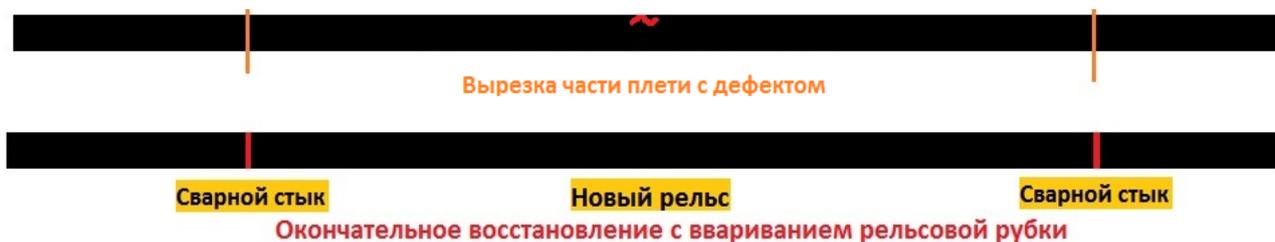


Рис. 2. Схема применяемой технологии устранения дефекта в головке рельса

Особенность THR состоит в том, что по разработанной методике производится вырезка дефектной части головки рельса на заданную глубину с использованием газовой резки, а затем, производят алюминотермитную наплавку в вырезанной части головки до восстановления высоты головки с окончательной зачисткой мест наплавления (рис. 3).

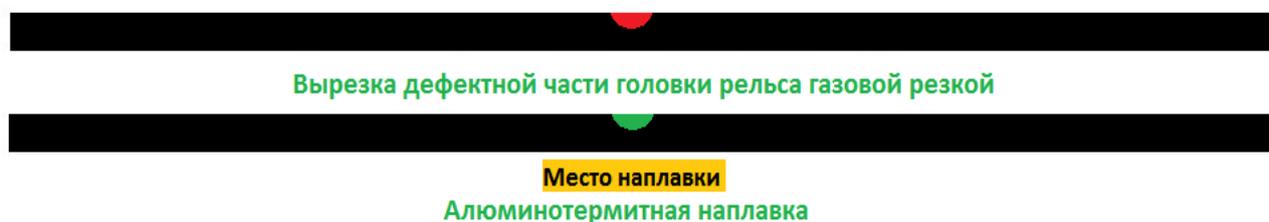


Рис. 3. Схема применения технологии алюминотермитной наплавки головки рельсов

Можно отметить, что THR представляет собой процесс образования между основным и наплавленным металлом прочной металлургической связи путем нанесения (наплавления) на поверхность детали слоя дополнительного металла. Она предназначена для устранения дефектов головки рельсов на поверхности катания до 180 мм (дефекты первой группы) и на глубине до 25 мм (дефекты второй группы) (рис. 4).

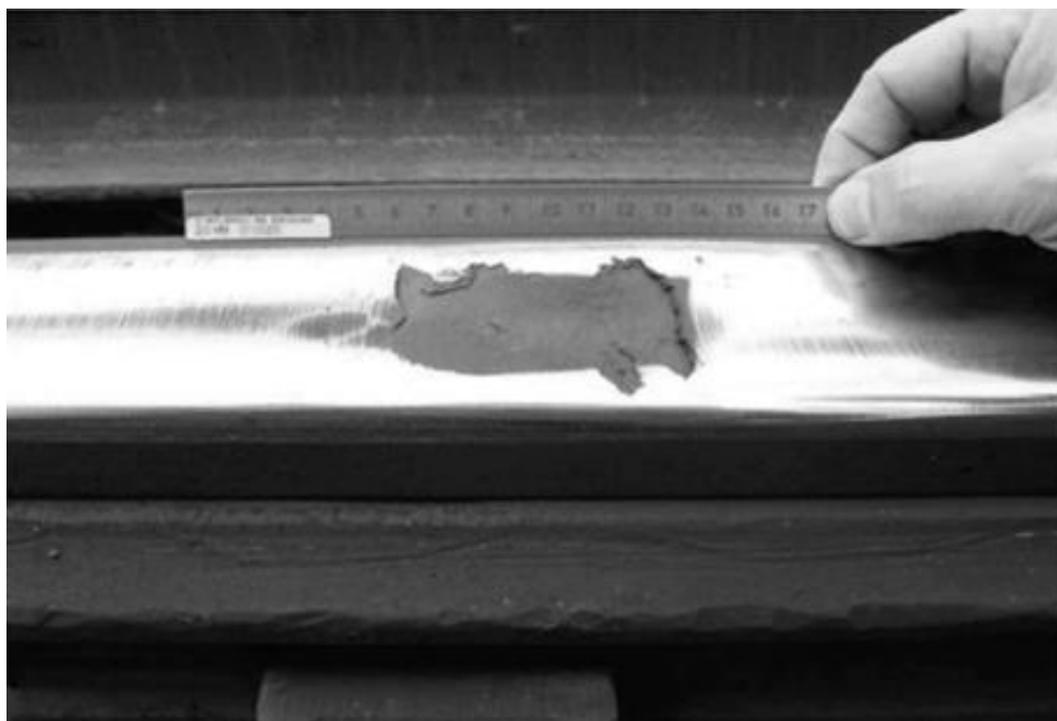


Рис. 4. Наличие образовавшегося дефекта головки рельсов на поверхности катания до 180 мм

При ремонте головки рельсов данной технологией используют оригинальное оборудование, а также оснастку и необходимые расходные материалы в виде термитных спичек и уплотнительного песка производства фирмы ET или с их согласия на подобные заменители.

Выбор других компонентов, обеспечивающих применение THR, в виде абразивных материалов для резки и шлифовки головки рельсов, позволяет использовать и заменяющие компоненты.

#### **Технология алюминотермитной наплавки головки рельса**

Предлагается следующая методика применения THR [7, 8].

В месте дефекта посередине устанавливают и закрепляют опорное устройство с установочным калибром, на вал которого фиксируют гайкой газовый резак. Следует отметить, что этот калибр устанавливают таким образом, чтобы газовый рез выполнялся со стороны рабочей грани головки рельса.

Затем включается и настраивается на рабочий режим газовый резак и осуществляется процесс вырезки поврежденного дефектом части головки рельса. При этом необходимо постоянно отслеживать расстояние между газовым резаком и рельсом, которое должно быть в пределах 10 - 15 мм.

В дальнейшем, после снятия опорной поверхности с рельса и газового резака с вала, осуществляется процесс равномерного и плавного воздействия струей резака по вырезанной части рельса с целью устранения неровностей при резке (рис. 5).

Кроме того, после этой операции места резки необходимо зачистить углошлифовальной машинкой от шлака и остатков стали до металлического блеска (рис. 6).



**Рис. 5. Процесс газовой резки головки рельса**



**Рис. 6. Процесс зачистки углошлифовальной машинкой от шлака и остатков стали**

В дальнейшем выполняется операция по установке специального оборудования путем его закрепления на рельсе с установкой на заданные размеры горелки предварительного подогрева, формы с универсальным зажимным устройством, а также формодержатели. После этого осуществляется операция по уплотнению указанных устройств при помощи огнеупорной смеси (рис. 7).



**Рис. 7. Установка горелки предварительного подогрева вместе с формами**

Процессы заливки термитной стали, снятия грата и шлифовки аналогичны операциям алюминотермитной сварки (рис. 8).

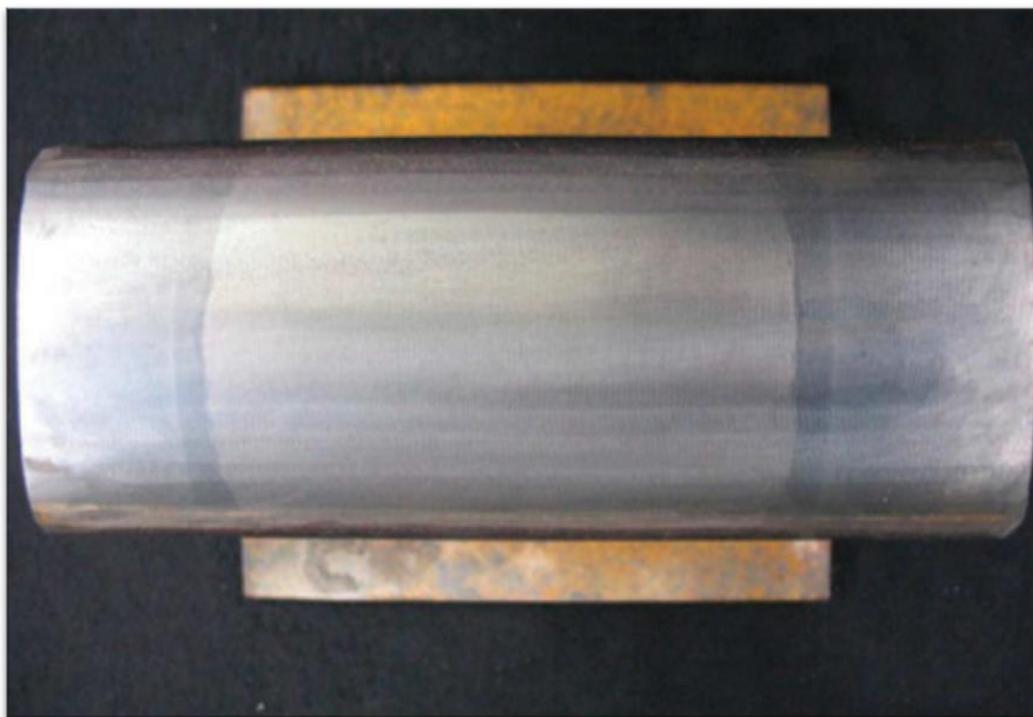


Рис. 8. Процессы заливки термитной стали, снятия грата и шлифовки

#### Применение ультразвукового метода неразрушающего контроля

Среди множества методов неразрушающего контроля для оценки качества выполненного ремонта головки рельса с использованием ТНР был выбран метод ультразвукового контроля (УЗК) рельсов. Его внедрение позволяет выявлять в головке рельсов наиболее опасные дефекты типа непроваров, трещин, пор, шлаковых включений, а также и в наплавленном слое головки рельса, образовавшихся при наплавке [9-12]. При этом могут появляться следующие особенности в процессе контроля:

1) расположенные у поверхности катания головки рельса дефекты сварки на глубине до 6 мм могут быть не выявлены (рис. 9);

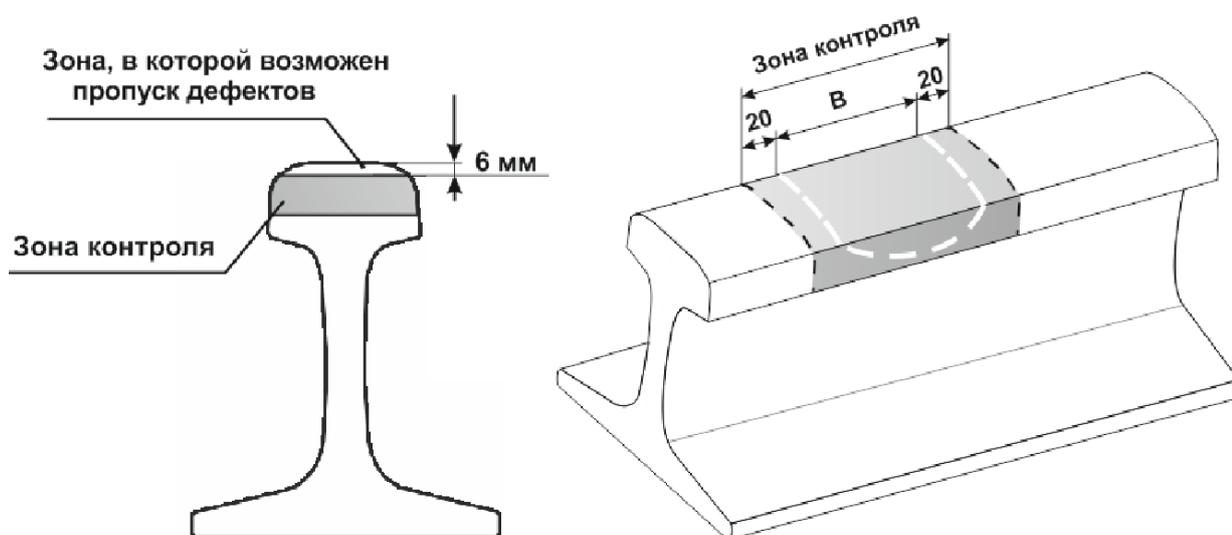


Рис. 9. Схема обеспечения прозвучивания при ультразвуком контроле головки рельсов

2) при осмотре изломов отремонтированных рельсов, разрушенных на гидравлическом прессе, дефекты, выявленные при УЗК, могут быть не видны;

3) в процессе УЗК отражающие свойства трещин, которые выходят на поверхность головки рельса, снижаются при проникновении в них контактирующей жидкости при нанесении на поверхность рельса.

При УЗК рельсов, отремонтированных ТНР, применяют схемы прозвучивания в соответствии с табл. 2, в которой указаны заданные основные параметры УЗК рельсов, и отремонтированных или подлежащих ремонту рельсов ТНР (табл. 3).

**Таблица 2. Схемы прозвучивания УЗК рельсов при проведении досварочного и приемочного контроля**

Схема прозвучивания УЗК	Вид контроля	
	Досварочный	Приемочный
РС ПЭП с $\alpha=0^\circ$ , эхо-метод с поверхности катания с боковых поверхностей головки	+	+
ПЭП с $\alpha=70^\circ$ с поверхности катания и с боковых поверхностей головки, эхо-метод	+	+
ПЭП с $\alpha=50^\circ$ с боковых поверхностей головки, эхо-метод	+	-

**Таблица 3. Значения основных параметров УЗК рельсов, отремонтированных или подлежащих ремонту рельсов ТНР**

Тип ПЭП	Метод контроля	Угол ввода $\alpha$ , град.	Условная чувствительность $K_u$ , дБ	Мертвая зона, мм
П112-2,5	эхо	0	14	$\leq 6$
П121-2,5-70	эхо	$70^{-3}$	16	$\leq 3$
П121-2,5-50	эхо	$50^{\pm 2}$	16	$\leq 8$

Для того, чтобы применить ТНР на рельсах с дефектным сечением и считать их пригодным, необходимо выполнять следующие требования [13]:

- дефектное сечение находится вне зоны сварного или болтового стыка;
- условный размер дефекта по длине рельса не превышает 90 мм;
- глубина залегания дефекта от поверхности катания не более 25 мм.

При выполнении данных требований и после применения ТНР необходимо провести визуальный осмотр рельсов в соответствии с ТУ 0921-335-01124323:

– произвести осмотр качества обработки и очистки поверхностей рельса в области головки;

– осуществить визуальный и оптический осмотр с целью поиска возможных трещин, раковин, непроваров и шлаковых включений, которые могут появиться на поверхности головки рельсов.

После выполненных осмотров рельсов они будут признаваться контролепригодными, если:

- слой наплавления при ТНР в области поверхности катания и боковых поверхностей головки рельса обработан механически в соответствии с указанными выше требованиями;
- на полученных ТНР поверхностях подголовочных граней головки рельсов полностью отсутствуют подтеки металла в зоне контроля.

Для выполнения требований контролепригодности необходимо обязательно протереть головку рельса ветошью и покрыть ее слоем трансформаторного масла.

В случае обнаружения при УЗК указанного ранее дефекта на головке рельсов необходимо убедиться в этом на осциллографе дефектоскопа, где амплитуда эхо-сигнала –

превышает уровень срабатывания индикаторов дефектоскопа при заданном значении чувствительности. Затем производится измерение следующих параметров:

- значение коэффициента выявляемости Кд;
- координаты диапазона расположения ширины и длины дефекта;
- глубины залегания выявленного дефекта;
- условные размеры дефекта, т. е условную протяженность и условную ширину.

Головка рельсов, которая была отремонтирована ТНР, считается исправной и годной к эксплуатации, а, следовательно, в целом рельс признают остродефектным (ОДР) после УЗК контроля при выполнении следующих условий:

- амплитуда эхо-сигнала от дефекта превышает уровень срабатывания индикаторов дефектоскопа при заданном значении чувствительности;
- измеренные значения координат дефекта соответствуют его расположению в контролируемой зоне и не совпадают с координатами расположения конструктивных отражателей;
- условная ширина и условная протяженность дефекта больше или равна 5 мм.

Рельсы, отремонтированные ТНР, в которых обнаружены внутренние дефекты, относят к ОДР кода 28.4 (в случае излома рельса – кода 78.4/28.4).

Следует отметить, что рельсы, в которых обнаружено выкрашивание наплавленного слоя металла глубиной более 2,0 мм при длине более 25,0 мм, а также глубиной более 6 мм при длине до 25,0 мм включительно, относят к дефектным рельсам (ДР) кода 18.4.

Указания по эксплуатации для ДР кода 18.4 соответствуют указаниям по эксплуатации дефекта кода 18.2 в соответствии с Инструкцией [2].

#### **Заключение**

Применение на практике ТНР дает значительный положительный эффект:

- от фактического сокращения услуг ремонтных бригад;
- от значительного уменьшения покупки запасных частей;
- экономия в ремонтном фонде.

Кроме того, практическими исследованиями показано, что экономический эффект от применения данной технологии составляет примерно 35-50 тыс. руб. на каждое дефектное место. Данная ТНР позволяет значительно обеспечивать ресурсосбережение при ремонте рельсов. По предварительным данным расчетов применение данной ТНР с разработанной методикой УЗК позволит ежегодно обеспечивать ОАО «РЖД» около 300 млн. руб.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Сафарбаков А.М. Основы технической диагностики деталей и оборудования: учебное пособие / А.М. Сафарбаков, А.В. Лукьянов, С.В. Пахомов. – Ч. 1 – Иркутск: ИрГУПС, 2007. – 128 с.
2. Сафарбаков А.М. Основы технической диагностики деталей и оборудования: учебное пособие / А.М. Сафарбаков, А.В. Лукьянов, С.В. Пахомов. – Ч. 2 – Иркутск: ИрГУПС, 2007. – 110 с.
3. Программы поиска места отказа в объектах и системах железнодорожного транспорта: учебно-метод. пособие / С.В. Пахомов, А.М. Сафарбаков, Ю.С. Мухачев. – Иркутск: ИрГУПС, 2013. – 88 с.
4. Инструкция «Дефекты рельсов. Классификация, каталог и параметры дефектных и остродефектных рельсов», ТУ 0921-335-01124323.
5. Климов В.Г., Бердников В.С. Опыт применения средств НК при дефектоскопии алюминотермитных сварных стыков // В мире неразрушающего контроля. 2007. № 3 (37).
6. Пахомов С.В., Поляков А.В. Разработка метода ультразвукового контроля для проверки рельса, восстановленного алюминотермитной наплавкой // Наука и молодежь: Сборник трудов четвертой Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Иркутск : ИрГУПС, 2018. – с. 81-86.

7. Справочник по сварке / под ред. Е. В. Соколова. Т. 2. – М.: 1961.
8. Сварка рельсов алюминотермитная методом промежуточного литья: ТУ 091-127-01124323-2005.
9. Метод ультразвукового контроля сварных стыков рельсов: СТО «РЖД» 1.11.003-2009.
10. Кретов Е.Ф. Ультразвуковая дефектоскопия в машиностроении / Е.Ф. Кретов. – СПб: Радиоавионика, 1995. – 328 с.
11. Марков А. А., Шпагин Д. А. Ультразвуковая дефектоскопия рельсов, – Изд. 2-е, исправл. и доп. – СПб.: Образование – Культура, 2013, – 283 с.
12. Ермолов И.Н. Неразрушающий контроль: практ. пособие. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля / И.Н. Ермолов, Н.П. Алешин, А.И. Потапов; под ред. В.В. Сухорукова. – М.: Высш. шк., 1991. – 283 с.
13. Правила контроля стыков алюминотермитной сварки рельсов в пути: ПР07.41-2006.

### REFERENCES

1. Safarbakov M. A. basics of technical diagnostics of parts and equipment: textbook / A. M. Safarbakov, A. V. Lukyanov, and S. V. Pakhomov. – Part 1 – Irkutsk: Irkutsk State University Of Communications, 2007. – 128 p.
2. Safarbakov M. A. basics of technical diagnostics of parts and equipment: textbook / A. M. Safarbakov, A. V. Lukyanov, and S. V. Pakhomov. – Part 2 – Irkutsk: Irkutsk State University Of Communications, 2007. – 128 p.
3. Programs of search of a place of refusal in objects and systems of railway transport: educational method. manual / S. V. Pakhomov, A. M. Safarbakov, Y. S. Mukhachev. – Irkutsk: Irkutsk State University Of Communications, 2013. – 88 p.
4. Instruction «Defects of rails. Classification, catalog and settings defective and fatal cropped rails», THE 0921-335-01124323.
5. Klimov V. G., Berdnikov V. S. Experience of application of NDT means at flaw detection of aluminum-thermite welded joints // In the world of nondestructive testing. 2007. № 3 (37).
6. Pakhomov S. V., Polyakov A.V. Development of ultrasonic testing method for testing the rail recovered by aluminum-thermal surfacing // Science and youth: proceedings of the fourth all-Russian scientific-practical conference of students, postgraduates and young scientists. – Irkutsk : Irkutsk State University Of Communications, 2018. – p. 81-86.
7. Handbook on welding / ed. by V. E. Sokolov. Vol.2. – М.: 1961.
8. Aluminothermic welding of rails by the method of intermediate casting: ТУ 091-127-01124323-2005.
9. The method of ultrasonic testing of rail welds: STO RZHD 1.11.003-2009.
10. Kretov E. F. Ultrasonic flaw detection in mechanical engineering / E. F. Kretov. – St. Petersburg: Radioavionika, 1995. – 328 p.
11. Rules of control of joints of aluminothermic welding of rails in a way: PR 07.41-2006.
12. Markov A. A., Shpagin D. A. ultrasonic flaw detection of rails, – Ed. 2nd, corrected. and DOP. – SPb.: Education-Culture, 2013, 283 p.
13. Yermolov I. N. Non-destructive testing: practice. benefit. At 5 kN. kN. 2. Acoustic control methods / I. N. Yermolov, N. P. Aleshin, A. I. Potapov; edited by V. V. Sukhorukov. – М.: Higher. SHK., 1991. – 283 p.

### Информация об авторах

*Поляков Александр Владимирович* – магистрант, кафедры «Физика, механика и приборостроение», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: polyakov123@mail.ru

*Пахомов Сергей Васильевич* – к. т. н., доцент, и.о. заведующего кафедрой «Физика, механика и приборостроение», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: pakhomov\_sv@irgups.ru

### **Authors**

*Polyakov Alexander Vladimirovich* – master's degree student, Department «Physics, mechanics and instrument engineering», Irkutsk state University of railway engineering, Irkutsk, e-mail: polyakov123@mail.ru

*Pakhomov Sergey Vasilyevich* – Ph. D. in Engineering Science, associate Professor, acting head of the Department «Physics, mechanics and instrumentation», Irkutsk state University of Railways, Irkutsk, e-mail: pahomov\_sv@irgups.ru

### **Для цитирования**

Поляков А. В., Пахомов С. В. Ультразвуковой контроль проверки головки рельса после ремонта с применением технологии алюминотермитной наплавки головки рельса [Электронный ресурс] / А. В. Поляков, С. В. Пахомов // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2019. — №1. — Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/1-2019>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 20.01.2019)

### **For citation**

Polyakov A.V., Pakhomov S.V. Ultrasonic testing of the rail head after repair using the technology of aluminothermic surfacing of the rail head [Electronic resource] / A.V. Polyakov, S. V. Pakhomov // Young science of Siberia: electron. science. journal. - 2019. - №1. - Access mode: <http://mnv.irgups.ru/toma/1-2019>, free. The title. from the screen. — Lang. Rusyi. English. (date of application: 20.01.2009) [Accessed 13/09/18]