

Таким образом, рассчитаны поля напряжений в крупном зерне поликристалла с остаточным клиновидным двойником. Расчет выполнен с учетом роли в формировании напряженного состояния соседнего зерна, находящегося у устья двойника. Показано, что в зависимости от компоненты тензора напряжений напряжения имеют разные области локализации и различные численные значения. Результаты имеют важное значение в транспортной отрасли в обеспечении безопасности технических систем, использующих двойникующиеся материалы.

Автор благодарит Дробышевскую Т. В. за помощь в проведении расчетов.

УДК 620.179.141:62-592.59

МАГНИТОПОРОШКОВЫЙ КОНТРОЛЬ НАКОНЕЧНИКОВ ТОРМОЗНЫХ СОЕДИНИТЕЛЬНЫХ РУКАВОВ ВАГОНОВ

А. Г. ОТОКА

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

П. А. УСТИЛОВСКИЙ

Белорусская железная дорога, г. Гомель

О. В. ХОЛОДИЛОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

На железной дороге имеются проблемы, связанные с отказами технических средств и событиями, из-за которых происходят задержки грузовых и пассажирских поездов. По итогам работы за 2024 г. на Белорусской железной дороге (БЖД) в вагонном хозяйстве допущено 13 событий, связанных с нарушением правил безопасности движения и эксплуатации железнодорожного транспорта. В 2023 г. было допущено 21 событие. Несмотря на общее снижение числа нарушений безопасности движения поездов в 2024 г., по сравнению с 2023 г., количество событий, допущенных по вине предприятий вагонного хозяйства БЖД, увеличилось и составило 4 случая против 2 [1].

Одной из причин задержки поездов является утечка сжатого воздуха из тормозной системы. Например, таких задержек на Белорусской железной дороге за 2024 г. было 8, а за 2023 г. – 9. При этом особое внимание следует уделять тормозным соединительным рукавам. Тормозные рукава применяются на подвижном составе железных дорог для гибкого соединения воздушных магистралей вагонов между собой, с локомотивом с целью подачи сжатого воздуха под давлением до 1 МПа, а также для разъёмного соединения электрических цепей электропневматического тормоза [2].

Всё снятое с вагона тормозное оборудование должно быть направлено для осмотра, ремонта и испытания в соответствующие ремонтные подразделения.

Соединительный тормозной рукав состоит из резинотекстильной трубки, в которую с обеих сторон запрессовываются соединительная головка и наконечник. После запрессовки соединительный рукав обжимается хомутиками. В канавки соединительных головок устанавливают уплотнительные кольца.

Для проверки на прочность соединительные рукава подвергают гидравлическому испытанию под давлением воды в них $(1,20 \pm 0,02)$ МПа и с выдержкой под этим давлением в течение 1,5–2,0 мин.

Соединительный рукав считается выдержавшим испытание, если не было обнаружено:

- срыва деталей;
- просачивания воды;
- надрывов резинотекстильной трубки;
- остаточного сдвига резинотекстильной трубки с наконечников (для соединительных рукавов Р36, Р36-01, Р32Б-01);
- остаточного сдвига резинотекстильной трубки с соединительной головки и/или наконечника более чем на 2,5 мм (для соединительных рукавов Р17Б, Р17Б-01).

Для проверки на герметичность соединительные рукава подлежат пневматическому испытанию с выдержкой под давлением воздуха в них $(0,60 \pm 0,05)$ МПа при полном их погружении в ванну с водой.

Соединительный рукав считается выдержавшим испытание, если в течение 1 мин не было обнаружено выделение пузырьков воздуха в любой части соединительного рукава. При обнаружении пузырьков воздуха на поверхности резинотекстильной трубки соединительный рукав

должен быть выдержан под давлением в ванне с водой до 10 мин и, если выделение пузырьков на поверхности резинотекстильной трубки прекратится, считать его выдержавшим испытание, в противном случае соединительный рукав бракуется [3].

Практика показывает, что основные утечки сжатого воздуха тормозных рукавов обнаруживают по уплотнительным кольцам в месте соединения головок. Как правило, замена этих колец приводит к устранению утечки. Однако имеются случаи (рисунок 1), связанные с утечкой через резинотекстильную трубку, через резьбу наконечника и др.

Поэтому применение методов неразрушающего контроля (НК) в совокупности с существующими методами испытаний тормозных рукавов позволит повысить достоверность обнаружения скрытых дефектов в тормозных рукавах при исследовании основных причин, повлекших их неисправность в эксплуатации по причине утечки сжатого воздуха.

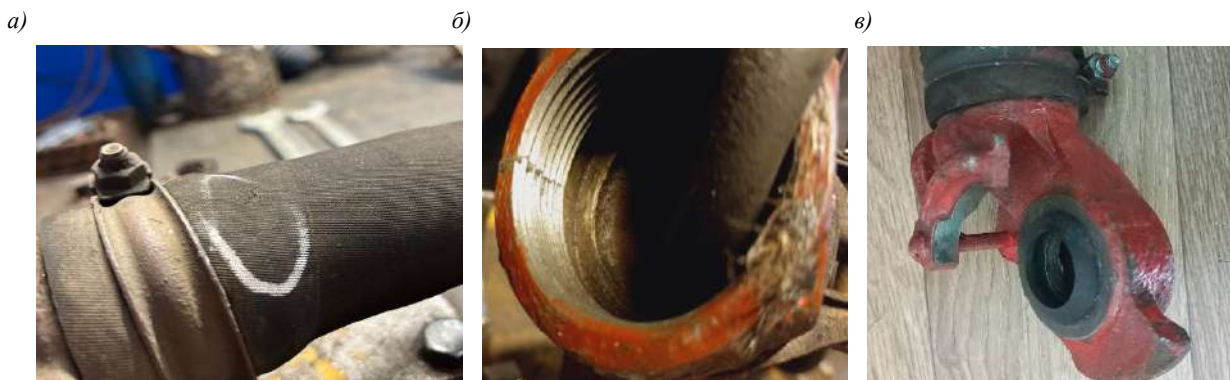


Рисунок 1 – Типичные места утечки сжатого воздуха в тормозных соединительных рукавах:
а – сквозная слабозаметная трещина длиной 6 мм на резинотекстильной трубке; б – трещина в резьбовой части наконечника, выходящая на наружную поверхность; в – износ кольца уплотнительного соединительной головки

В связи с этим разработка технологии НК составных частей тормозных рукавов в вагонном хозяйстве Белорусской железной дороги, которая может использоваться дополнительно при регламентированных испытаниях или в качестве подтверждающего контроля на наличие скрытых дефектов, является актуальной.

В качестве дефектного рукава был взят тормозной рукав Р369А, снятый с пассажирского вагона по незначительным утечкам, которые обнаружил осмотрщик-ремонтник вагонов. Утечка была обнаружена на слух в районе хомута со стороны наконечника. До разборки тормозного рукава было определено, что рукав проходил испытание в декабре 2024 г. (два месяца в эксплуатации после испытаний). При разукрупнении рукава на резинотекстильной трубке в зоне крепления хомутом при визуальном осмотре ничего обнаружено не было. Однако при осмотре наконечника была обнаружена малозаметная трещина на внутренней резьбе, переходящая на наружную грань.

Наконечники изготавливают из ковкого или высокопрочного чугуна, а также из стали марок 10, 20, 30, 45 по ГОСТ 1050 (в нашем случае сталь 45), поэтому для уточнения длины трещины был применен магнитопорошковый контроль (МПК). Известно, что намагничивание деталей проводят либо способом остаточной намагниченности (СОН), либо способом приложенного поля (СПП).

Магнитный контроль чугунных отливок основан на различии магнитных свойств структурных составляющих чугуна. Причем отсутствует закономерность между содержанием углерода и магнитными свойствами чугуна, т. к. определяющее влияние оказывает структурное состояние, а не содержание углерода в чугуне. Наибольшую коэрцитивную силу H_c будет иметь белый чугун. Увеличение степени графитизации приводит к снижению H_c , особенно при распаде остатков цементита. Это объясняется увеличением в структуре чугуна мягкой магнитной компоненты – феррита и снижением внутренних напряжений (графит создает меньшие структурные микронапряжения, чем цементит) [4].

Так как значение коэрцитивной силы H_c для стали 45 превышает 10 А/см (таблица 1) намагничивание наконечника следует проводить СОН.

Таблица 1 – Магнитные характеристики стали 45

Термическая обработка, °С	Коэрцитивная сила H_c , А/см	Остаточная индукция B_r , Т	Напряженность, необходимая для получения B_r , H_{max} , А/см
Закалка при температуре от 860 отпуск при температуре от 380 до 420	22,2	0,79	160

При контроле СОН намагничивание проводят короткими импульсами. Измеряют амплитудное значение тока, т. е. остаточная намагниченность определяется амплитудой намагничивающего тока. В нашем случае для магнитного насыщения наконечника тормозного рукава потребуется напряженность магнитного поля ≥ 160 А/см [5]. В качестве магнитной установки (рисунок 2) использовалась магнитная установка УМДП-01, обеспечивающая напряженность магнитного поля на поверхности наконечника ≈ 200 А/см, которое было экспериментально измерено измерителем магнитного поля ИМАГ-400Ц.



Рисунок 2 – Намагничивание наконечника тормозного рукава вагона с помощью магнитной установки УМДП-01

Пропускание импульсного тока происходило при неподвижном контактном стержне и соленоиде. Наконечник рукава намагничивался за счет продольного магнитного поля соленоида и циркулярного поля, возникающего при прохождении импульса тока через контактный стержень. Подвод соленоида и контактного стержня, закрепленных на поворотном кронштейне, осуществлялся к контролируемому наконечнику до срабатывания фиксатора (пока контактный стержень не обеспечит надежный контакт с контактной головкой, расположенной на стойке опорных роликов).

При этом контактный стержень должен был проходить по центру внутри наконечника.



Рисунок 3 – Трещины, выявленные с помощью магнитной установки УМДП-01:

- а – трещина L_1 длиной 22 мм на внутренней стороне наконечника, противоположной гайке (выходит на торец);
- б – трещина L_2 длиной 19 мм на внутренней стороне наконечника (располагается со стороны, противоположной L_1);
- в – трещина L_3 длиной 56 мм (переходит с наружной с тороны гайки на внутреннюю резьбу до бурта);
- г – трещина L_4 длиной 5 мм (в зоне технологической канавки после резьбовой части)

Такой способ намагничивания является комбинированным, что позволяет выявлять трещины практически любой ориентации.

После намагничивания и нанесения магнитной суспензии «Диагма-1200» (рисунок 3) были обнаружены одновременно четыре трещины, переходящие с внутренней поверхности на наружную.

При этом ширина валика, образованного скоплением магнитных частиц над трещинами, показывает их раскрытие по ширине. Всё это говорит о том, что утечка сжатого воздуха была именно по старым трещинам. Наиболее опасной оказалась сквозная трещина L_3 длиной 56 мм, через которую сжатый воздух и выходил наружу.

В заключение можно отметить, что с помощью МПК в наконечнике тормозного рукава были идентифицированы трещины с внутренней и наружной сторон наконечника, которые при визуальном осмотре замечены не были.

Ввиду того, что срок эксплуатации наконечников тормозных рукавов не регламентирован НТД, подтверждение на практике наличия скрытых трещин магнитопорошковым методом на БЖД в качестве дополнительного метода является целесообразным. Это позволяет повысить достоверность обнаружения скрытых дефектов в наконечниках при исследовании основных причин, повлекших неисправность тормозных рукавов в эксплуатации по утечке сжатого воздуха. При этом метод может применяться для уточнения длины дефектов уже раскрывшихся трещин, которые обнаруживаются при визуальном осмотре.

Список литературы

1 Анализ о состоянии безопасности движения поездов в вагонном хозяйстве Белорусской железной дороги за 2024 г. от 20.01.2025 №18-02-03/2309. – Минск, 2024. – 23 с.

2 **ГОСТ 2593-2014.** Рукава соединительные железнодорожного подвижного состава. Технические условия (разработаны ОАО «НИИ вагоностроения»). – 2014. – 28 с.

3 **732-ЦВ-ЦЛ** Общее руководство по ремонту тормозного оборудования: утв. Советом по железнодорожному транспорту государств – участников Содружества, протокол от 18–19 мая 2011 г. № 54. – 2011. – 329 с.

4 **Сандомирский, С. Г.** Особенности связей магнитных свойств чугунов с их структурой и магнитные методы контроля структуры чугунных отливок (обзор) / С. Г. Сандомирский // *Литье и металлургия*. – 2016. – № 4 (85). – С. 96–107.

5 Значения коэрцитивной силы, остаточной индукции и поля насыщения для основных марок сталей. Данные ПНАЭ Г-7-015-89. – 2022. – URL: <https://e-ecolog-ru.turbopages.org> (дата обращения: 13.07.2025).

УДК 629.463.32

АНАЛИЗ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАГРУЖЕННОСТИ УНИВЕРСАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ С ЦЕЛЬЮ СНИЖЕНИЯ МАССЫ ТАРЫ РАМЫ

А. В. ПИГУНОВ, В. В. ПИГУНОВ, М. А. КАЛАШНИКОВ, А. А. ГОГОНОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Снижение массы тары вагона и повышение его грузоподъемности в рамках допустимой осевой нагрузки – одна из основных задач, стоящих перед конструкторами. Решение данной задачи позволяет получить конкурентные преимущества над другими производителями вагонов. Достичь данной цели возможно несколькими путями. Первый путь заключается в применении в несущей конструкции вагона высокопрочных сталей. Однако здесь возникают проблемы в обеспечении усталостной долговечности за нормативный срок службы вагона. Второй путь заключается в поиске конструктивных решений, основанных на анализе величин и сочетания эксплуатационных нагрузок и расчетных напряжений.

Существующие конструкции универсальных платформ можно разделить на две основные группы в зависимости от конструктивного исполнения рамы. К первой группе можно отнести конструкции платформ с продольными балками рамы, имеющими переменное по длине сечение. Максимальная высота сечения – в середине вагона, уменьшается к консольным частям. Ко второй группе можно отнести конструкции с боковыми продольными балками постоянного сечения, а с хребтовой – переменного, как и у конструкций первой группы. При этом хребтовая балка, как правило, изготавливается из двух двутавров № 60 или № 70. А для изготовления боковых балок применяются двутавры или швеллеры.

Современными требованиями, приведенными в ГОСТ 33211–2014 [1], для универсальных платформ дополнительно акцентируется внимание на необходимости обеспечения прочности рамы при действии вертикальной нагрузки: 45 тон, – распределенной на длине 3 м и 60 т – распределенной на длине 4,3 м. Эти нагрузки должны быть приложены к боковым продольным балкам рамы.

Принимая во внимание приведенные выше схемы нагружения для оценки прочности универсальных платформ, можно говорить о том, что боковые продольные балки рамы должны иметь в