



ТРАНСПОРТНОЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

Оригинальная статья

УДК 625.151.81:620.186

DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-4-359-368>EDN: <https://elibrary.ru/wsnqvg>

Особенности работы металла в зоне образования дефектов моноблочной крестовины

П. В. Трегубчак✉

Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ),
Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Введение. Анализируются причины появления и развития дефектов крестовин с цельнолитым блоком сердечника с усовиками и приварными рельсовыми окончаниями (моноблочная крестовина), работающих в условиях тяжеловесного и интенсивного движения. Выход из строя таких крестовин обусловлен процессами зарождения и развития трещин, а также выкрашиванием металла на поверхности катания. Одним из эффективных методов повышения ресурса крестовин является упрочнение их поверхности катания энергией взрывной волны.

Материалы и методы. Исследование микроструктуры металла опытных крестовин проведено с помощью металлографического комплекса на базе микроскопа Zeiss Axiovert 25 с программным обеспечением Thixomet Pro. Для химического травления поверхности образцов использовался реактив из 4%-го раствора азотной кислоты в дистиллированной воде. Твердость упрочненного слоя определялась по методу Бринелля в соответствии с ГОСТ 9012–59 на твердомере ТШ-2М.

Результаты. Установлено, что причиной образования дефекта по коду ДС.30Г.2 (в соответствии с Классификатором дефектов и повреждений элементов стрелочных переводов) может являться не только наличие оксидных плен и неспаев в металле, но и недостаточные прочностные характеристики конструкции крестовин, которые должны быть исключены на стадии постановки продукции на производство; повышенные динамические нагрузки, на которые не рассчитано соответствующее изделие. Микротрещины, образующиеся при дальнейшей эксплуатации в перенаклепанном слое металла у поверхности катания (без удаления дефектного слоя), приводят к расслоению металла и выкрашиванию. Таким образом, при проведении обточки крестовин необходимо наряду с удалением наплывов предусматривать удаление всего дефектного слоя. Исследования показали, что технология взрывного упрочнения поверхности катания крестовин наиболее эффективна.

Обсуждение и заключение. На основании полученных результатов сделаны выводы о возможности повышения ресурса крестовин за счет применения предварительного упрочнения поверхности катания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: стрелочный перевод, моноблочная крестовина, прочность, конструирование, тяжеловесное движение, высокомарганцовистая сталь 110Г13Л, циклическое нагружение, образование дефектов

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Трегубчак П. В. Особенности работы металла в зоне образования дефектов моноблочной крестовины // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2023. Т. 82, № 4. С. 359–368. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-4-359-368>.



TRANSPORT MATERIALS SCIENCE

Original article

UDK 625.151.81:620.186

DOI: <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-4-359-368>

EDN: <https://elibrary.ru/wsnqvg>



Peculiarities of metal work in the defect formation zone of a monoblock crossing

Pavel V. Tregubchak✉

Railway Research Institute,
Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

Introduction. The paper analyses the causes of appearance and development of defects of the solid block with wing rails and welded rail ends (monoblock crossing) operating under heavy and intensive traffic conditions. Failure of such crossings is caused by crack initiation and development processes, as well as by metal pitting on the tread surface. One of the effective methods to increase the life of crossings is to harden their tread surface with blast wave energy.

Materials and methods. The metal microstructure of the prototype crossings was investigated using metallographic equipment based on Zeiss Axiovert 25 microscope with Thixomet Pro software. Chemical etching of the surface of the samples used a reagent of 4 % nitric acid solution in distilled water. Hardness of the hardened layer was determined by the Brinell method as per GOST 9012–59 on a TSh-2M hardness tester.

Results. The author found that DS.30G.2 defects (Classifier of Defects and Damages of Turnout Elements) could be caused not only by oxide spots and cast seams in the metal but also by insufficient strength characteristics of the crossing structure, which should be eliminated when putting the product into production; increased dynamic loads not foreseen for the respective product. Microcracks formed in further operation in the overmoulded metal layer at the tread surface (without removing the defective layer) result in metal delamination and pitting. Thus, the turning of crossings should include the removal of the entire defective layer in addition to the removal of the swells. The research has shown that the most effective technology is explosive hardening of the crossing tread surface.

Discussion and conclusion. The results show that crossing life could be improved by pre-hardening of the tread surface.

KEYWORDS: turnout, monoblock crossing, strength, hardness, design, heavy traffic, high-manganese steel 110G13L, cyclic loading, defect formation

FOR CITATION: Tregubchak P.V. Peculiarities of metal work in the defect formation zone of a monoblock crossing. *Russian Railway Science Journal*. 2023;82(4):359-368. (In Russ.). <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-4-359-368>.

Введение. На российских железных дорогах конструкции острых крестовин из высокомарганцевистой стали с неподвижным сердечником наиболее многочисленны. Они применяются в стрелочных переводах, косоугольных глухих пересечениях и перекрестных съездах. При этом такие крестовины имеют наименьший ресурс в сравнении с другими основными элементами стрелочного перевода [1].

Наиболее распространенными дефектами крестовин с неподвижным сердечником являются отслоения и выкрашивания металла на поверхности катания литой части усовика и сердечника в зоне перекачивания. При проходе колес через эту зону возникают ударные динамические нагрузки, которые приводят к интенсивному образованию наплывов высокомарганцевистой стали, а несвоевременное их удаление — к отслоениям и выкрашиваниям металла. Так, доля крестовин, изъятых из пути в 2017–2018 гг. по дефектам, связанным с выкрашиванием металла по кодам ДУ.12.2, ДС.13.2, ДУ13.2, ДС.14.2, ДУ14.2 в соответствии с Классификатором дефектов и повреждений элементов стрелочных переводов¹, составляет 32 %. Доля изъятых крестовин по причине выкрашивания наплавленного слоя на поверхности катания литой части усовика и сердечника (ДС.18.2, ДУ.18.2) составляет 19 %, по причине износа — 41,4 %. При этом доля изъятых крестовин по остальным дефектам в сумме составляет 7,8 %. Кроме того, наиболее опасным дефектом при эксплуатации является горизонтальное расслоение литой части усовика и сердечника (ДС.30Г.2), обусловленное недостатками технологии литья, при которой внутри изделия возникают неспай и окисные пленки [2, 3].

Основными критериями работоспособности деталей в общем случае считаются прочность, жесткость, износостойкость, теплостойкость. При этом определение размеров и материала деталей производится по критериям, соответствующим условиям их работы в изделии [4]. По износостойкости и устойчивости к высоким статическим и динамическим нагрузкам особо отличается высокомарганцевистая аустенитная сталь Гадфильда (110Г13Л), которая под воздействием колес, проходящих по крестовине поездов, наклепывается, приобретая повышенную износостойкость. Известно, что сталь с аустенитной структурой характеризуется низким пределом текучести, составляющим примерно одну треть от предела прочности, и значительно упрочняется под действием холодной деформации [5, 6]. По этой причине сталь 110Г13Л

плохо обрабатывается резанием, что вызвано повышенной способностью составляющего ее марганцовистого аустенита к упрочнению (наклепу) при резании с повышением твердости до 230 НВ. Особенности свойства этой стали привели к тому, что изделия из нее производятся преимущественно методом литья (крестовины и стрелки железнодорожных и трамвайных путей, траки гусеничных машин, зубья ковшей экскаваторов, футеровка шаровых мельниц, била и брони дробилок и др.) [7–9].

Прочность, т. е. способность материала противостоять внешним нагрузкам без разрушения, задается на стадии разработки изделия исходя из условий, что допустимые расчетные напряжения должны быть обеспечены конструкцией и технологией изготовления при минимальных затратах материала [10]. Конструктивные особенности крестовины из высокомарганцевистой стали в значительной степени будут влиять на ее прочностные показатели, на появление отказов, угрожающих безопасности движения поездов, а также на долговечность крестовины. Кроме того, должны учитываться свойства конструкции, определяющие ее приспособленность к достижению оптимальных затрат при производстве — технологичность — как с точки зрения изготовления отливки, так и ее механической обработки [11].

Причинами разрушения в процессе эксплуатации литого блока моноблочной крестовины под действием нагрузок, не превышающих регламентированные, могут являться недостаточные прочностные характеристики конструкции, механические повреждения, а также наличие недопустимых дефектов металлургического характера в теле или на поверхности литой детали.

Одним из эффективных методов повышения ресурса крестовин является упрочнение их поверхности катания энергией взрывной волны. По данным компании Vossloh Cogifer, упрочнение крестовин энергией взрывной волны позволяет увеличить несущую способность до 40 %, снизить затраты на техническое обслуживание до 50 %². Российский опыт эксплуатации упрочненных крестовин показывает увеличение ресурсных показателей до 30 % для крестовин массовых конструкций. Такие крестовины серийно выпускались в РФ до 2018 г., после чего их производство было возобновлено только в 2022 г. с применением новых взрывных зарядов.

Таким образом, основная цель этой работы — определение наиболее эффективного метода повышения ресурса крестовин из высокомарганцевистой стали. Для реализации цели необходимо выявить

¹Классификатор дефектов и повреждений элементов стрелочных переводов [Электронный ресурс]: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 27.09.2019 № 2143/п. URL: https://fmklab.ru/wp-content/uploads/2020/04/2143_r-Klassifikator-strelochnyh-perevodov.pdf (дата обращения: 13.06.2023).

²Cast Manganese common Crossings [Электронный ресурс]: сайт / Vossloh Cogifer. URL: https://www.vossloh.com/en/products-and-solutions/product-finder/product_13504.php (дата обращения 12.06.2023).

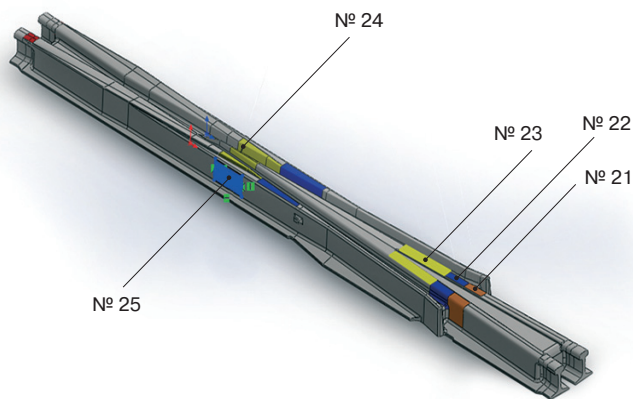


Рис. 1. Схема расположения вырезанных образцов № 21, 22, 23, 24, 25

Fig. 1. Layout of cut samples No. 21, 22, 23, 24, 25

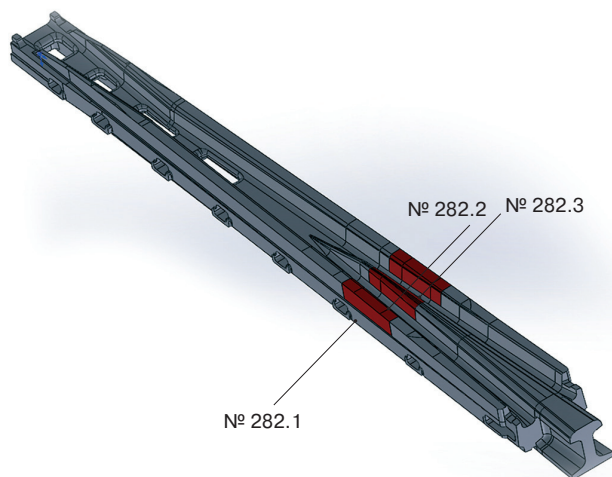


Рис. 2. Схема расположения образцов № 282.1, 282.2, 282.3, вырезанных из сердечника, упрочненного энергией взрывной волны

Fig. 2. Layout of samples No. 282.1, 282.2, 282.3 cut from the core hardened by blast wave energy

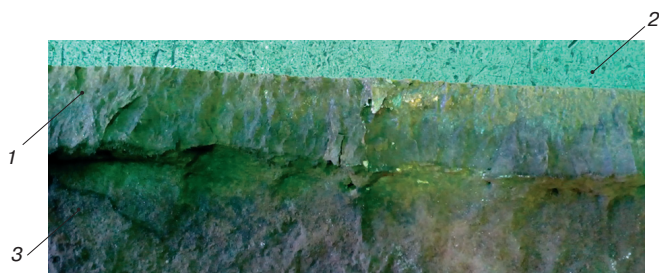


Рис. 3. Излом крестовины:

1 — поверхность излома; 2 — внешняя поверхность сердечника; 3 — внутренняя поверхность сердечника

Fig. 3. Cross beam rupture:

1 — rupture surface; 2 — core outer surface; 3 — tongue piece inner surface

природу появления основных дефектов крестовин — выкрашиваний поверхности катания клина и литых усиков, трещин.

Материалы и методы исследования. Объектами исследования были образцы металла из моноблочной крестовины типа Р65 марки 1/11 проекта Н 01.002.3100.01, плавка № 156081. Образцы промаркированы номерами с 21 по 25. Схема расположения вырезанных образцов представлена на рис. 1.

Образцы № 21, 22, 23 вырезаны из сердечника литой крестовины в районе улавливающего желоба с продольной трещиной на боковой поверхности. Микрошлифы изготавливали по методике с шлифованием алмазными пастами и полировкой окисью хрома. Для химического травления поверхности образцов использовался 4%-й раствор азотной кислоты в дистиллированной воде. Образец № 24 вырезан из сердечника в зоне перекатывания колес подвижного состава, образец № 25 — из левой усовой для определения механических свойств стали.

Исследование микроструктуры материала крестовины проведено с помощью металлографического комплекса на базе микроскопа Zeiss Axiovert 25 с программным обеспечением Thixomet Pro.

Объектами исследования упрочненного слоя поверхности катания крестовин были образцы, вырезанные из сердечников типа Р65 марки 1/11 проекта 2750: сердечника, упрочненного энергией взрывной волны, неупрочненного сердечника, подвергнутого естественному упрочнению в процессе эксплуатации. Образцы сердечника, упрочненного энергией взрывной волны, промаркированы номерами 282.1, 282.2 и 282.3. Схема расположения вырезанных образцов в отливке сердечника представлена на рис. 2.

Упрочнение сердечника производилось по стандартной технологии завода-производителя во взрывной камере с применением специальных взрывных зарядов. Измерение твердости произведено по методу Бринелля по ГОСТ 9012–59³ на твердомере ТШ-2М.

Результаты исследований. При визуальном осмотре моноблочной крестовины вмятины, забоины и другие следы механических повреждений на поверхности крестовины не выявлены. По дефектности крестовина полностью соответствует требованиям ГОСТ 7370–2015⁴.

После проведения резки образцов было выявлено, что на поверхности излома крестовины с внутренней стороны сердечника наблюдаются следы продуктов окисления — корродирование под воздействием окружающей среды (рис. 3), свидетельствующее о том, что зарождение и развитие

³ГОСТ 9012–59 (ИСО 410–82, ИСО 6506–81). Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю: дата введения 1960-01-01. М.: Стандартинформ, 2007. 40 с.

⁴ГОСТ 7370–2015. Крестовины железнодорожные. Технические условия: дата введения 2016-07-01. М.: Стандартинформ, 2015. 66 с.

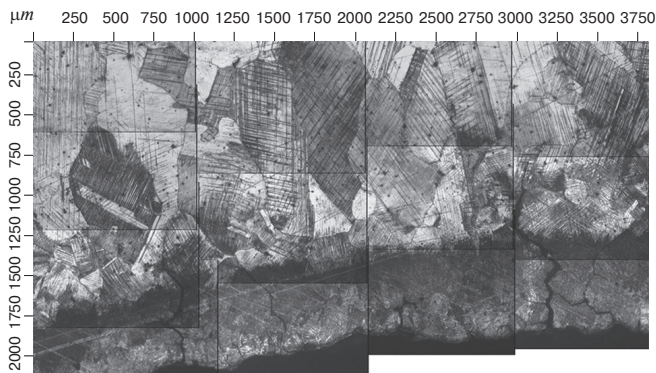


Рис. 4. Структура в зоне зарождения трещины

Fig. 4. Crack formation zone structure

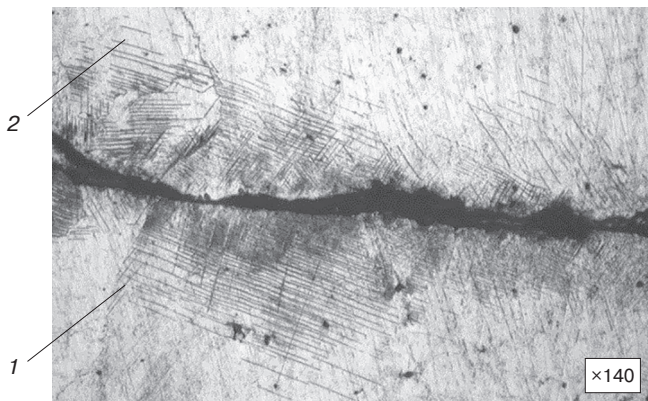


Рис. 5. Полосы сдвига (1, 2), образовавшиеся у поверхности трещины под воздействием знакопеременных нагрузок

Fig. 5. Shear bands (1, 2) formed at the crack surface under the influence of alternating loads

продольной трещины происходило от внутренней поверхности отливки крестовины в течение длительного времени.

При проведении металлографического исследования использовались образцы, вырезанные из крестовины в зоне поверхности катания, а также поперек поверхности излома.

Дефектов литейного характера в зоне зарождения трещины выявлено не было. При этом зона зарождения трещины у внутренней поверхности крестовины имеет очень высокую плотность полос сдвига, которая снижается по мере удаления от поверхности. Высокая плотность полос сдвига свидетельствует о «перенаклепе», результатом которого явилось образование микротрещин (рис. 4). Такие изменения зеренной структуры характерны при воздействии внешних нагрузок на сталь 110Г13Л.

При перенаклепе происходит локальное уменьшение плотности металла в более деформированных зонах и образование микротрещин. Дальнейшее воздействие знакопеременных нагрузок приводит к

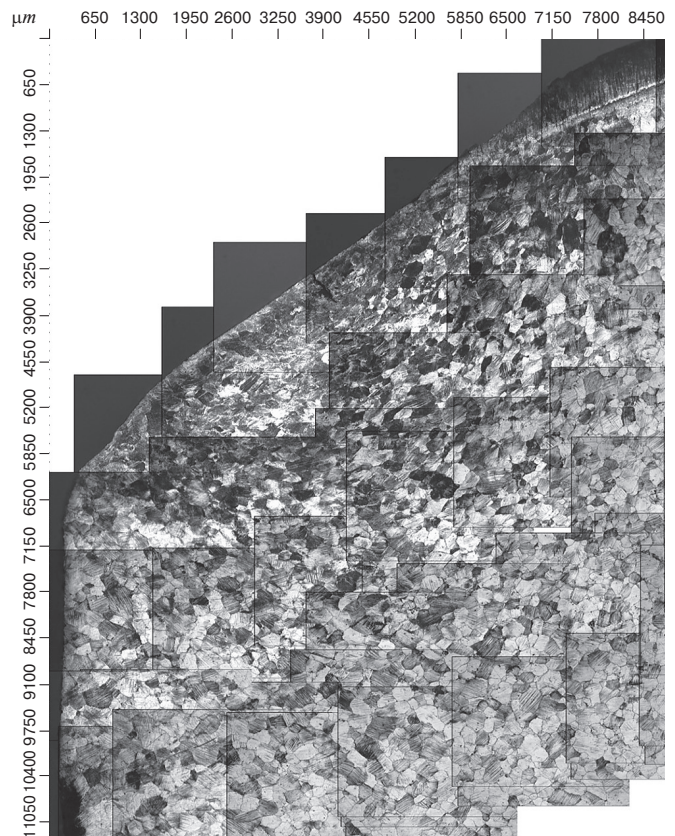


Рис. 6. Изменение зеренной структуры и плотности полос сдвига у поверхности катания под воздействием колес подвижного состава

Fig. 6. Changes in grain structure and density of shear bands at the tread surface under the influence of rolling stock wheels

объединению микротрещин в магистральную, вдоль фронта продвижения которой тоже образуются полосы сдвига (рис. 5).

У поверхности катания, подвергавшейся эксплуатационному воздействию, наблюдаются полосы сдвига. Плотность полос сдвига и глубина их распространения от поверхности катания увеличиваются в сечениях, наиболее подверженных внешней нагрузке (рис. 6).

В зоне перенаклепа также наблюдаются трещины, распространяющиеся параллельно поверхности катания. На поверхности катания имеются трещины, уходящие в глубину металла до 0,5 мм под углом $\sim 45^\circ$ (рис. 7).

Микротрещины у поверхности катания при дальнейшей эксплуатации без удаления дефектного слоя приводят к расслоению металла и выкрашиванию.

Зоны сварных стыков в переднем и заднем вылетах крестовины не поражены дефектами — трещинами. Твердость в сварном шве и зоне термического влияния

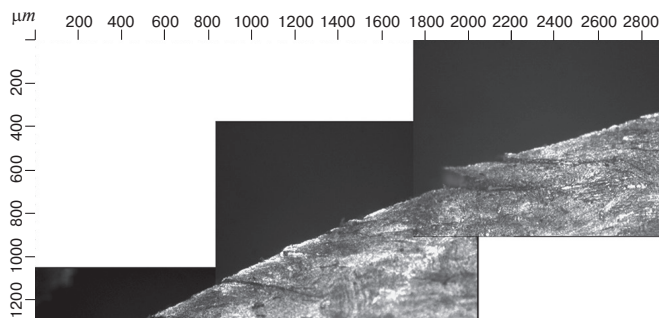


Рис. 7. Микротрещины на поверхности катания

Fig 7. Microcracks on the tread surface

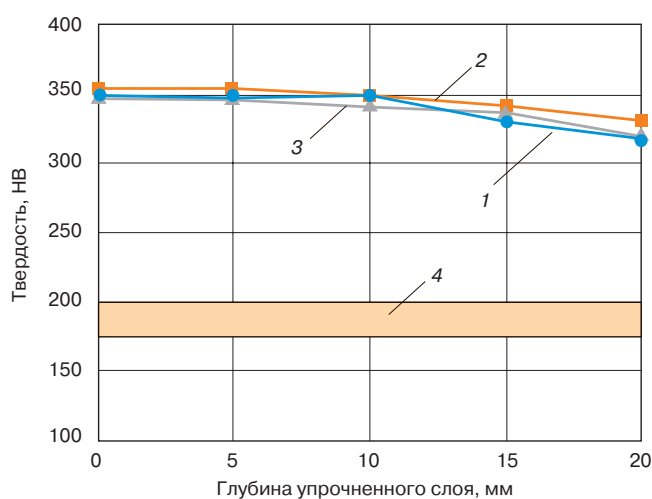


Рис. 8. Распределение твердости по глубине упрочненного слоя:
1 — образец 282.1; 2 — образец 282.2; 3 — образец 282.3;
4 — диапазон твердости металла неупрочненных образцов

Fig. 8. Hardness distribution along the depth of the hardened layer:
1 — sample 282.1; 2 — sample 282.2; 3 — sample 282.3; 4 — metal
hardness range of unhardened samples

сварного шва не превышает 43 HRC, что соответствует требованиям ГОСТ 7370–2015⁵.

Исследования образцов металла, вырезанных из отливки крестовины, показали, что продольная трещина на боковой поверхности отливки сердечника развивалась длительное время. Дефектов литейного характера в зоне зарождения трещины не выявлено. Причиной образования трещины являются недостаточные прочностные характеристики конструкции литой части моноблочной крестовины.

Выкрашивание поверхности катания вызвано ударными динамическими нагрузками от колес подвижного состава, которые приводят к перенаклепу высокомарганцовистой аустенитной стали и образованию микротрещин и наплывов дефектного металла. Несвоевременное удаление дефектного слоя, наряду с наплывами, приводит к отслоениям и выкрашиванию металла.

Упрочнение поверхности катания крестовин. Исследование упрочненного слоя, образовавшегося под воздействием энергии взрывной волны. Результаты измерений твердости упрочненного слоя, образовавшегося под воздействием энергии взрывной волны, представлены на рис. 8. Глубина упрочненного слоя образцов измерялась относительно крайней верхней точки на поверхности катания. Твердость металла неупрочненных крестовин составляет порядка 180–200 НВ, в отдельных случаях может достигать 220 НВ.

Микроструктура исследованных образцов — аустенит. Карбидные включения не выявлены. От поверхности до глубины 25 мм наблюдаются полосы сдвига (рис. 9), что вызвано эффектом от упрочнения взрывом. Плотность полос сдвига ближе к основному металлу снижается (рис. 10).



Рис. 9. Структура аустенита с полосами сдвига:
а — на поверхности; б — на глубине 25 мм

Fig. 9. Austenite structure with shear bands:
а — on the surface; б — 25 mm deep

⁵ ГОСТ 7370–2015. С. 25.

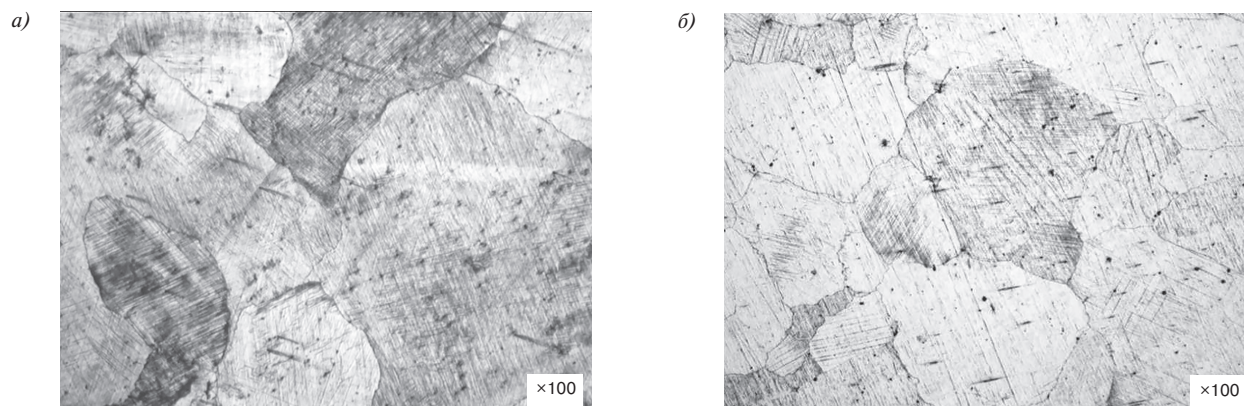


Рис. 10. Структура упрочненного слоя образцов:
а — на глубине 10 мм; б — на глубине 25 мм

Fig. 10. Structure of the hardened layer of the samples:
а — 10 mm deep; б — 25 mm deep

Твердость на поверхности и по глубине упрочненного слоя, а также микроструктура исследованных образцов соответствуют требованиям ГОСТ 7370–2015⁶ и технологической инструкции на упрочнение поверхности катания литых сердечников, моноблочных и цельнолитых крестовин методом взрыва. Глубина упрочненного слоя исследованных образцов превышает максимально допустимую глубину вертикального износа сборных и цельнолитых крестовин, регламентированную Классификатором дефектов и повреждений элементов стрелочных переводов⁷, которая составляет 12 мм.

Исследования образцов металла, вырезанных из отливки упрочненного сердечника, показали, что применение новых взрывных зарядов позволяет производить упрочнение поверхности катания крестовин методом взрыва в соответствии с имеющейся технологией завода-производителя и получать продукцию, соответствующую предъявляемым к ней требованиям качества.

Проведенное моделирование цельнолитого блока моноблочной крестовины методом конечных элементов с использованием расчетной платформы ANSYS Workbench выявило наименьшие значения коэффициента запаса по усталостной прочности в зонах 1 и 2 (рис. 11). Поле распределения коэффициента запаса по усталостной прочности, полученное в ходе моделирования, представлено на рис. 12.

В крестовине после пропуска 235,6 млн т брутто были выявлены: продольная горизонтальная трещина на литой части сердечника в районе первой опасной зоны, подозрение на дефект по коду ДС.30Г.2

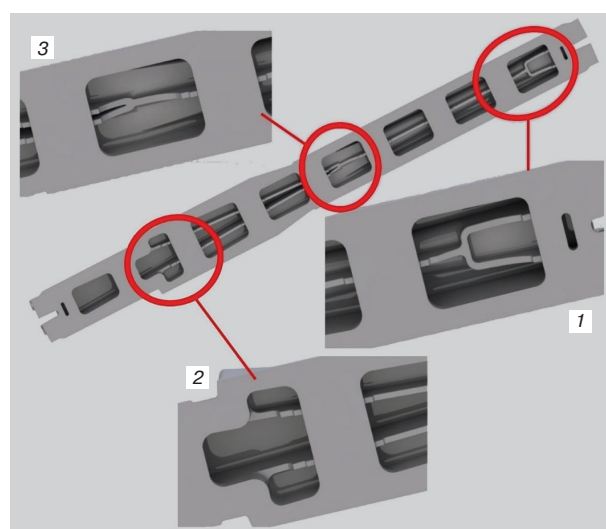


Рис. 11. Модель конструкции моноблочной крестовины со сдвоенными продольными ребрами жесткости:
1 — первая опасная зона со стороны переднего торца отливки;
2 — вторая опасная зона со стороны заднего торца отливки;
3 — геометрия соединения ребер, идущих со стороны заднего торца отливки [12, с. 150]

Fig. 11. Monoblock crossing design model with double longitudinal stiffening:
1 — first danger zone at the front end of the casting;
2 — second danger zone at the rear end of the casting;
3 — rib connection geometry from the rear end of the casting [12, p. 150]

(рис. 13). Также в процессе эксплуатации на опытных крестовинах выявлялись дефекты по коду ДС.13.2. Подробно результаты расчетов и эксплуатационных

⁶ГОСТ 7370–2015. С. 55.

⁷Классификатор дефектов и повреждений элементов стрелочных переводов. С. 84

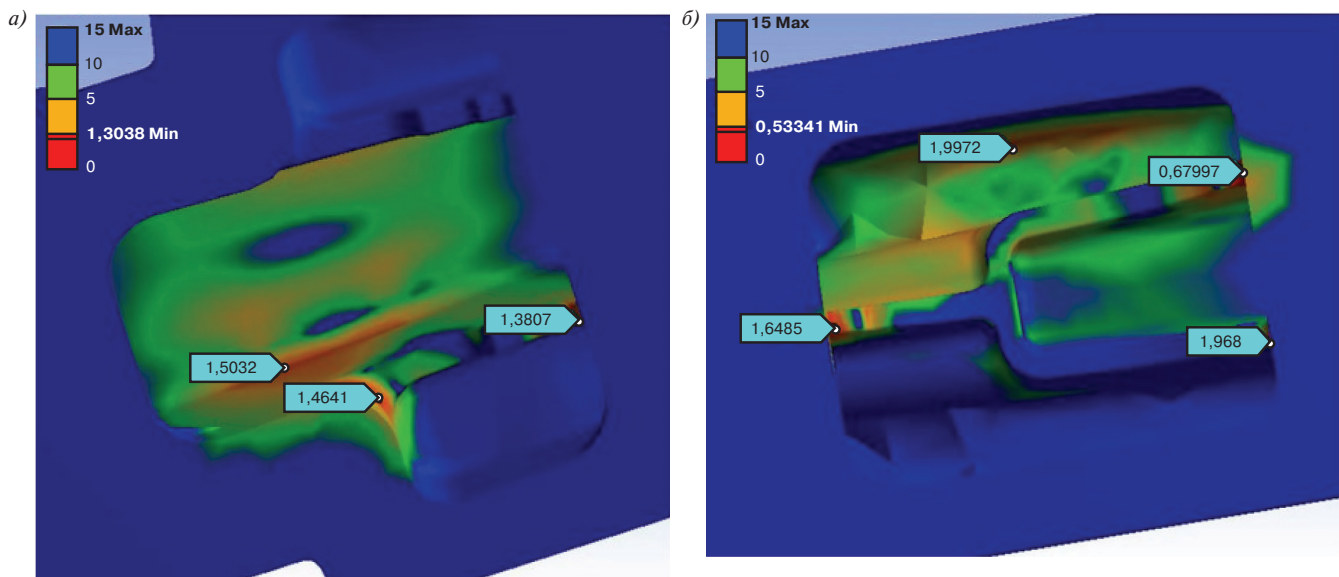


Рис. 12. Коэффициент запаса по усталостной прочности:
а — со стороны заднего торца отливки; б — со стороны переднего торца отливки [12, с. 153]

Fig. 12. Fatigue safety coefficient:
а — from the back end of the casting; б — from the front end of the casting [12, p. 153]



Рис. 13. Результат проверки трещины
методом цветной дефектоскопии, подозрение
на дефект ДС.30Г.2 [12, с. 155]

Fig. 13. Result of crack inspection by colour defectoscopy,
suspected defect DS.30G.2 [12, p. 155]

испытаний крестовины данной конструкции были представлены в [12].

Как видно из рис. 11, 12, а и 13, место образования продольной горизонтальной трещины совпадает с местом и направлением области с пониженной величиной коэффициента запаса по усталостной прочности.

Выявленные зоны с недостаточными прочностными характеристиками были усилены в ходе процесса постановки на производство, а соответствующая конструкция крестовины принята к серийному производству.

Обсуждение и заключение. Автор предлагает для повышения ресурса крестовин применять предварительное упрочнение поверхности катания энергией взрывной волны, а также проводить своевременное удаление шлифованием как наплывов металла, так и дефектного слоя, образовавшихся под действием нагрузки от колес подвижного состава. Для проведения шлифовки поверхности катания крестовин стрелочных переводов с неподвижным сердечником необходимо разработать инструкцию, в которой должен быть предусмотрен порядок работ по ликвидации дефектов крестовин по кодам ДУ.12.2, ДС.13.2, ДУ.13.2, ДС.14.2, ДУ.14.2, ДС.18.2, ДУ.18.2, ДС.42.2, ДУ.42.2 в соответствии с Классификатором дефектов и повреждений элементов стрелочных переводов.

Применение при производстве крестовин технологии упрочнения энергией взрывной волны наряду с увеличением износостойкости и ресурса выявляет скрытые дефекты литья (например, внутренние трещины), что также повышает эксплуатационную надежность крестовины.

Установлено, что причиной образования дефекта по коду ДС.30Г.2 может являться не только наличие оксидных плен и неспаев в металле, но и

недостаточные прочностные характеристики конструкции крестовины, повышенные динамические нагрузки, на которые не рассчитано соответствующее изделие. Недостатки конструкции крестовины должны быть исключены на стадии постановки изделия на производство.

С целью увеличения ресурсных показателей моноблочных крестовин рекомендуется применение предварительного упрочнения поверхности катания энергией взрывной волны, что позволит уже на начальном этапе эксплуатации крестовины обеспечить наличие высокой твердости верхнего слоя металла порядка 350 НВ с одновременным сохранением вязкой сердцевины в диапазоне 180–200 НВ.

Кроме того, как показали исследования, своевременное удаление как наплывов металла, так и всего дефектного слоя, образовавшихся под действием нагрузки от колес подвижного состава, также позволяет увеличить срок службы крестовин.

Благодарности: автор выражает благодарность рецензентам за полезные замечания, способствовавшие улучшению статьи.

Acknowledgments: the author expresses his gratitude to the reviewers for their constructive comments, improving the quality of the article.

Финансирование: автор заявляет об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Funding: the author received no financial support for the research, authorship, and publication of this article.

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов и не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

Conflict of interest: the author declares no conflict of interest and no financial interests in any material discussed in this article.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Глюзберг Б.Э., Королев В.В., Шишкина И.В. Увеличение ресурса крестовин стрелочных переводов // Современные проблемы проектирования, строительства и эксплуатации железнодорожного пути: XV Междунар. науч.-техн. конф.: чтения, посвященные памяти проф. Г.М. Шахунянца, Москва, 4–5 апреля 2018 г.: тр. М.: РУТ, 2018. С. 186–187 [Gluzberg B.E., Korolev V.V., Shishkina I.V. Increasing the life of simple switch crossings. In: *Modern problems of railway design, construction and operation: XV International Scientific and Technical Conference: readings in memory of Prof. G.M. Shakhunyanets, 4–5 April 2018, Moscow: proceedings*. Moscow: RUT; 2018. p. 186–187. (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/hhkygj>.
2. Глюзберг Б.Э., Королев В.В., Шишкина И.В. Элементы стрелочных переводов для российских железных дорог // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. 2019. Т. 14, № 14 (14). С. 17–20 [Gluzberg B.E., Korolev V.V., Shishkina I.V. Elements of turnouts for russian railways. *Vnedreniye sovremennykh konstruktсий i peredovykh tekhnologiy v putevoye khozyaystvo*. 2019;14(14):17–20. (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/wuvvyl>.
3. Королев В.В., Шишкина И.В. Система учета дефектов элементов стрелочных переводов // Внедрение современных конструкций

и передовых технологий в путевое хозяйство. 2016. Т. 9, № 9 (9). С. 190–195 [Korolev V.V., Shishkina I.V. Turnout Element Defect Accounting System. *Vnedreniye sovremennykh konstruktсий i peredovykh tekhnologiy v putevoye khozyaystvo*. 2016;9(9):190–195. (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/wimbxd>.

4. Глюзберг Б.Э. Проблемы стрелочного хозяйства высокоскоростной железнодорожной магистрали ВСЖМ-1 // Транспортное строительство: сб. ст. Второй Всерос. науч.-техн. конф., Москва, 12–14 апреля 2021 г. М.: Периодика, 2021. С. 14–22 [Gluzberg B.E. Problems of switch management of the high-speed railway line VSZhM-1. In: *Transport Construction: Coll. of article, Second All-Russian Scientific and Technical Conference, 12–14 April 2021, Moscow*. Moscow: Pериодика Publ.; 2021. p. 14–22. (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/zxxzlj>.

5. Astafurova E.G., Tukeeva M.S., Zakharova G.G., Melnikov E.V., Maier H.J. The role of twinning on microstructure and mechanical response of severely deformed single crystals of high-manganese austenitic steel. *Materials characterization*. 2011;62(6):588–592. <https://doi.org/10.1016/j.matchar.2011.04.010>.

6. Yan W., Fang L., Sun K., Xu Y. Thermodynamics of nanocrystalline formation in surface layer of Hadfield steel by shot peening. *Materials Science and Engineering: A*. 2007;445–446:392–397. <https://doi.org/10.1016/j.msea.2006.09.061>.

7. Зыкова А.П., Федосеева С.Н., Лычагин Д.В. Модифицирование стали 110Г13Л // Современные проблемы машиностроения: сб. науч. тр. VII Междунар. науч.-техн. конф., Томск, 11–13 ноября 2013 г. / под ред. А.Ю. Арляпова, А.Б. Кима. Томск: Нац. исслед. Томский политехн. ун-т, 2013. С. 86–90 [Zykova A.P., Fedoseeva S.N., Lychagin D.V. Modification of Steel 110G13L. In: Arlyapov A.Y., Kim A.B. (eds.) *Modern Problems of Mechanical Engineering: Coll. of sci. articles of VII International Scientific and Technical Conference, 11–13 November 2013, Tomsk*. Tomsk: National Research Tomsk Polytechnic University; 2013. p. 86–90. (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/rmqzrh>.

8. Мулявко Н.М. Анализ эксплуатационной стойкости отливок из стали 110Г13Л // Известия Челябинского научного центра УрО РАН. 2001. № 4. С. 61–70 [Mulyavko N.M. The analysis of operational resistance of castings made of steel 110G13L. *Izvestiya Chelyabinskogo nauchnogo tsentra UrO RAN*. 2001;(4):61–70. (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/bjijmp>.

9. Влияние модифицирования кальцием на структуру стали Гадфильда и морфологию образующихся в ней неметаллических включений / А.Б. Ахметов [и др.] // Электрометаллургия. 2017. № 3. С. 8–12 [Akhmetov A.B., Kusainova G.D., Kuzhanova A.A., Ilyasov A.E., Sharkaev S.N. Effect of modification with calcium on hadfield steel structure and morphology of nonmetallic inclusions formed in it. *Electrometallurgy*. 2017;(3):8–12. (In Russ.)]. EDN: <https://www.elibrary.ru/ygghid>.

10. Бабокин Г.И., Подколзин А.А., Колесников Е.Б. Основы функционирования систем сервиса. В 2 ч. Ч. 1. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Юрайт, 2023. 423 с. [Babokin G.I., Podkolzin A.A., Kolesnikov E.B. *Fundamentals of the Functioning of Service Systems. In 2 parts. Part 1*. 2nd ed., revised and expanded. Moscow: Yurayt Publ.; 2023. 423 p. (In Russ.)].

11. Монастырский А.В. О современных методах разработки и оптимизации технологических процессов в литейном производстве // Литейное производство. 2010. № 5. С. 19–22 [Monastyrskiy A.V. Modern methods of developing and optimizing the manufacturing processes in the foundry industry. *Foundry. Technology and Equipment*. 2010;(5):19–22. (In Russ.)]. EDN: <https://elibrary.ru/lnfstn>.

12. Трегубчак П.В. Проектирование конструкции моноблочных крестовин для тяжелых условий эксплуатации // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (Вестник ВНИИЖТ). 2023. Т. 82, № 2. С. 146–156. [Tregubchak P.V. Design of monoblock crossing for heavy operating conditions. *Russian Railway Science Journal*. 2023;82(2):146–156. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21780/2223-9731-2023-82-2-146-156>.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Павел Владимирович ТРЕГУБЧАК,

начальник отдела, отдел устройств верхнего строения пути и стрелочных переводов, научный центр «Инфраструктура», Научно-исследовательский институт железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ, 129626, г. Москва, ул. 3-я Мытищинская, д. 10), Author ID: 779415, <https://orcid.org/0009-0002-1097-9227>

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Pavel V. TREGUBCHAK,

Head of the Department, Department of Devices of the Track Superstructure and Turnouts, Research Center for Railway

Infrastructure, Railway Research Institute (129626, Moscow, 10, 3rd Mytishchinskaya St.), Author ID: 779415, <https://orcid.org/0009-0002-1097-9227>

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The author has read and approved the final manuscript.

Статья поступила в редакцию 10.07.2023, рецензия от первого рецензента получена 29.07.2023, рецензия от второго рецензента получена 04.08.2023, принята к публикации 10.10.2023.

The article was submitted 10.07.2023, first review received 29.07.2023, second review received 04.08.2023, accepted for publication 10.10.2023.



ТРУДЫ ВНИИЖТ



Коган, Александр Яковлевич. Динамика пути и его взаимодействие с подвижным составом: монография / А. Я. Коган. — Изд. 2-е, перераб. и доп. — Москва : ИПП «КУНА», 2023. — 280 с. — ISBN 978-5-98547-142-7.

В монографии рассмотрены вопросы формирования продольных температурных сил в рельсах и сил, возникающих при уgone пути, которые совместно определяют условия устойчивости бесстыковых плетей в летнее время года и условия их прочности зимой. В книге освещаются основные положения, касающиеся колебаний и устойчивости пути в вертикальной и горизонтальной поперечных плоскостях под воздействием движущихся динамических нагрузок.

Приведены основные принципы формирования динамической системы, объединяющей в единое целое колеблющийся путь как систему с распределенными параметрами и экипаж как систему со многими степенями свободы. Дается оценка влияния состояния пути и подвижного состава на сопротивление движению поезда и оценка интенсивности бокового и вертикального износов рельсов, износов гребней и проката колес подвижного состава. Монография предназначена для научных работников железнодорожного транспорта и смежных с ним отраслей промышленности, может быть полезна преподавателям технических вузов.

По вопросам приобретения обращаться по адресу: 129626, г. Москва, 3-я Мытищинская ул., д. 10, Научно-издательский отдел АО «ВНИИЖТ».

Тел.: (495) 602-83-01, (495) 602-84-56; e-mail: rio@vniizht.ru, www.vniizht.ru