

# ПРОЕКТИРОВАНИЕ И СТРОИТЕЛЬСТВО ДОРОГ, МЕТРОПОЛИТЕНОВ, АЭРОДРОМОВ, МОСТОВ И ТРАНСПОРТНЫХ ТОННЕЛЕЙ

УДК 061.75

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-4-181-193

*С.А. БОКАРЕВ, А.М. УСОЛЬЦЕВ, А.И. СЛУЖАЕВ,  
Сибирский государственный университет путей сообщения*

## **ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ПОЯВЛЕНИЯ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН В СВАРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПРОЛЁТНЫХ СТРОЕНИЯХ**

В настоящее время на сети железных дорог России эксплуатируют более четырех тысяч сварных пролетных строений. В процессе их эксплуатации было выявлено почти три десятка типов усталостных трещин, динамика появления трещин типа Т-9 и Т-10 существенно увеличилась в последние годы. На появление и скорость развития усталостных трещин влияют: остаточные сварочные напряжения, напряженно-деформированное состояние конструкции в процессе эксплуатации, дефекты, повреждения и отступления от норм эксплуатации, район расположения моста и конструктивные особенности пролетных строений. Сейчас при эксплуатации сварных пролетных строений не применяют мероприятий, предупреждающих появление усталостных трещин в сварных пролетных строениях, и не выполняют ремонтных работ для трещин, длина которых меньше 20 мм. И только при достижении трещиной значительного размера нормативные документы предлагают засверливать стенку в устье трещины, чтобы остановить её развитие. Диаметр отверстия принимают равным примерно двойной толщине стенки. Для создания объемного напряженного состояния, препятствующего дальнейшему росту трещины, а также для закрытия отверстия в стенке в него устанавливают высокопрочный болт. Как правило, выполняемого ремонта оказывается недостаточно, чтобы остановить процесс трещинообразования. В статье предложен целый набор мероприятий, основанный на индукционном нагреве металла для предупреждения образования трещин (проковка, устранение зазора между «сухариками» и горизонтальными листами поясов балок), ремонте (пайка устья трещин) и усилении (постановка накладок на стенку с отверстием).

**Ключевые слова:** сварные металлические пролетные строения; усталостные трещины; усиление; ремонт; предупреждение появления трещин; индукционная пайка.

**Для цитирования:** Бокарев С.А., Усольцев А.М., Служаев А.И. Предупреждение появления усталостных трещин в сварных металлических пролетных строениях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2019. Т. 21. № 4. С. 181–193.

DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-4-181-193

S.A. BOKAREV, A.M. USOLTSEV, A.I. SLUZHAEV,  
Siberian Transport University

## PREVENTION OF METAL BRIDGE SPANS FROM FATIGUE CRACKING

At present, more than four thousand metal bridge spans are in operation all over the Russian railway network. Through the years of operation, about thirty types of fatigue cracking were identified. The dynamics of the types T-9 and T-10 cracks formation has increased significantly in recent years. The formation and growth of fatigue cracking is influenced by such factors as residual welding stress, stress-strain state of the bridge structure, defects, damages, and non-observing the operation and maintenance standards, bridge location and bridge span structure. At present, neither measures nor repair are performed to prevent fatigue cracking not exceeding 20 mm in length. Only when a crack reaches a certain length, the regulatory documents require to drill a hole at a crack mouth in order to prevent its further development. The hole diameter should be equal approximately to the doubled wall thickness. In order to prevent further crack growth and cover the hole, a high-tensile bearing type bolt is fixed into it, creating a volume stress. As a rule, such a repair is not enough to stop the cracking process. The article suggests a number of measures based on induction heating that allows to prevent cracking (including forging reducing gaps between connecting plates and horizontal sheets in a truss), to carry out repair (crack mouth soldering) and reinforcement (fixing metal plates onto a wall with a hole).

**Keywords:** bridge span; fatigue cracking; reinforcement; repair; prevention; induction brazing.

**For citation:** Bokarev S.A., Usoltsev A.M., Sluzhaev A.I. Preduprezhdenie poyavleniya ustalostnykh treshchin v svarnykh metallicheskiykh proletnykh stroeni-yakh [Prevention of metal bridge spans from fatigue cracking]. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta – Journal of Construction and Architecture. 2019. V. 21. No. 4. Pp. 181–193.  
DOI: 10.31675/1607-1859-2019-21-4-181-193

Сварные пролетные строения на сегодняшний день – это основной вид металлических пролетных строений железнодорожных мостов. Разработано более 10 типовых проектов этих конструкций. По индивидуальным проектам построены десятки железнодорожных мостов. Наибольшее распространение на сети железных дорог России получили следующие пролетные строения: балочные сплошностенчатые с ездой поверху по ТП инв. № 821 (более 1600 шт.); со сквозными главными фермами с ездой понизу по ТП инв. № 690 (около 700 шт.); сталежелезобетонные по ТП инв. № 739 (более 690 шт.). Фрагмент главной балки сварного пролётного строения ТП инв. № 821 показан на рис. 1.

Основным недостатком сварных пролетных строений, как и прочих сварных конструкций [1, 2], стало массовое образование усталостных трещин. Обследования сварных пролетных строений, проведённые в конце прошлого века, выявили характерные усталостные трещины, приведённые в Указаниях по осмотру и усилению эксплуатируемых сварных пролетных строений, МПС, 1990 г.

Динамика изменения количества усталостных трещин в последние годы показывает их существенное увеличение. На рис. 2 приведён график изменения количества трещин в сварных пролетных строениях Западно-Сибирской железной дороги. Самыми распространёнными трещинами в сварных пролет-

ных строениях оказались трещины типа Т-9 и Т-10 (рис. 1 и 2). При развитии этих трещин снижается не только долговечность, но и несущая способность пролётного строения [3].

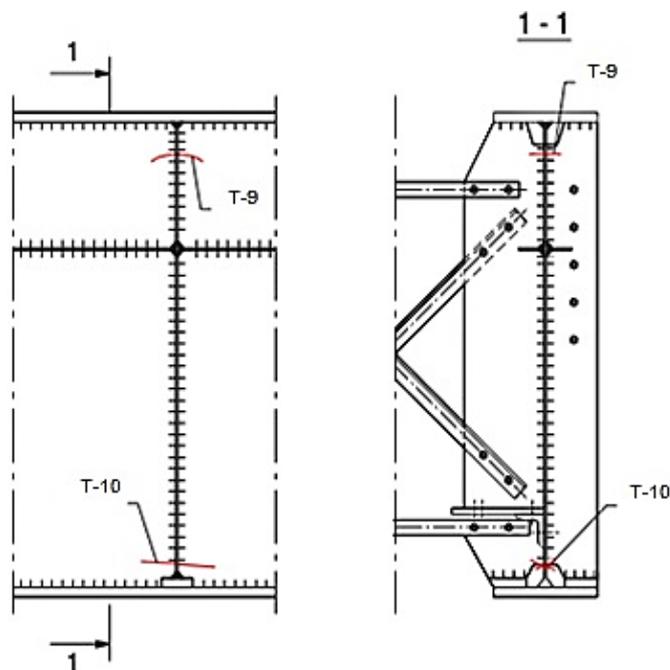


Рис. 1. Фрагмент главной балки с трещинами типа Т-9 и Т-10

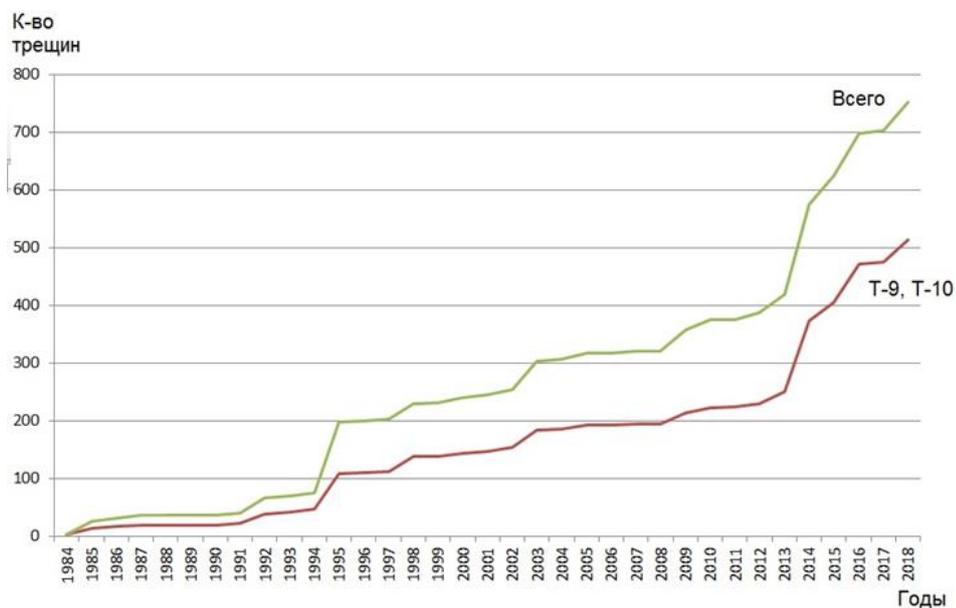


Рис. 2. Количество обнаруженных усталостных трещин в сварных пролетных строениях по годам

Анализ результатов исследований, выполненных сотрудниками Сибирского государственного университета путей сообщения (СГУПС), Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Института электросварки им. Патона, Всероссийского научно-исследовательского института железнодорожного транспорта (ВНИИЖТ) [4], и базы данных АСУ ИССО [5] показали, что образование усталостных трещин в металлических сварных пролетных строениях зависит от целого ряда факторов:

- дефекты сварки (подрезы, наплывы, шлаковые включения и другие концентраторы напряжений) и остаточные сварочные напряжения, которые могут достигать величин, близких или даже превышающих предел выносливости стали, и появление которых связано с нарушениями технологии сварки;

- зазоры между «сухариками» ребер жёсткости и поясами балок, приводящие к S-образному изгибу стенки балки, расположенной между ребром жёсткости и полкой горизонтального листа;

- изгибные деформации стенки балки по длине выреза ребра жесткости из-за внецентренной передачи нагрузки от мостового полотна на верхний пояс балки;

- суровость климатических условий эксплуатации (экстремально низкие отрицательные температуры зимой и положительные – летом).

Совместное неблагоприятное воздействие этих факторов значительно увеличивает действующие напряжения в стенке балки по сравнению с проектными и приводит к существенному снижению усталостной долговечности сварного узла. «Указания» предлагают различные способы ремонта и усиления сварных пролетных строений. Подрезы и наплывы сварки стыков на глубину до 2 мм рекомендовано устранять плавной зачисткой металла с помощью шлифовальной машинки. А при вводе в обращение более тяжелых поездных нагрузок ( $T_{пр}$ ) стыки необходимо усилить постановкой накладок на высокопрочных болтах. Концы усталостных трещин в основном металле длиной более 20 мм засверливают сверлом диаметром 18–20 мм, располагая центр отверстия на половине диаметра сверла за концом трещины. Для уменьшения концентрации напряжений выполняют зенковку металла по периметру отверстия на глубину 2–3 мм с обеих сторон металлического листа. В соответствии с распоряжением № 1783р «Об усилении надзора и повышении качества содержания сварных пролетных строений железнодорожных мостов», утвержденным вице-президентом ОАО «РЖД» В.Б. Воробьевым 28 августа 2009 г., в отверстия нужно вставлять высокопрочные болты для создания объемного напряжённого состояния, препятствующего дальнейшему развитию трещины, и закрытия отверстия в стенке. На относительно непродолжительное время трещину удаётся локализовать, но, как правило, указанного усиления оказывается недостаточно, чтобы остановить процесс трещинообразования полностью и обеспечить восстановление потребительских свойств конструкции на весь нормативный срок эксплуатации (70 лет).

Для обеспечения плотного примыкания ребер жёсткости к поясам рекомендовано выполнять усиление с использованием клиновидных «сухариков» или центрирующих планок. Конструкция указанного вида ремонтных работ приведена на рис. 3.

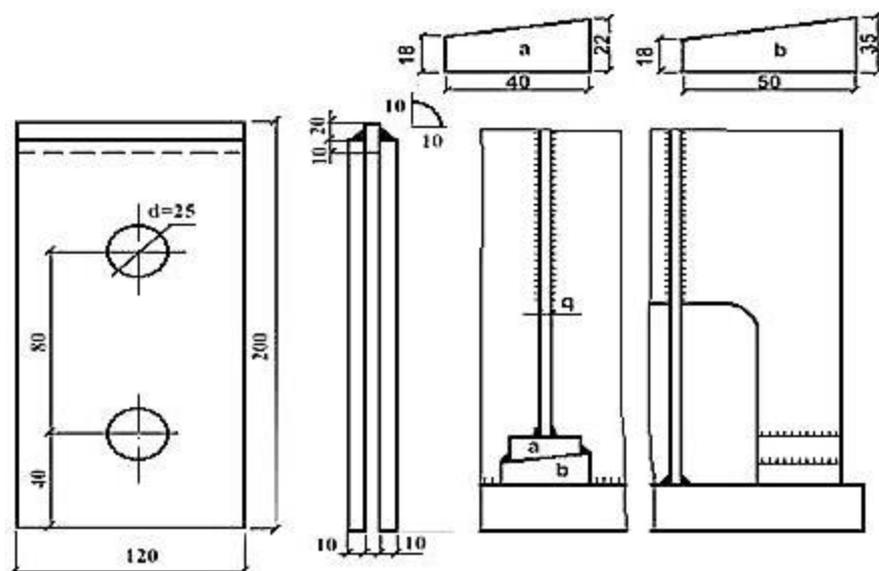


Рис. 3. Конструкция составных клиновидных «сухарики» и двухсторонних накладок

Недостатком данной конструкции является то, что при сварке двух частей клиновидных «сухарики» между собой вследствие нагрева происходит упирание «сухарики» в пояс балки и деформация ребра жёсткости на участке выкружки. В процессе остывания клиновидных «сухарики» металл сжимается, и между «сухарики» и поясом образуется зазор. Величины зазора в 0,2 мм достаточно, чтобы под нагрузкой в стенке балки происходил S-образный изгиб и образовывались усталостные трещины.

Анализ данных по трещинообразованию показывает низкую эффективность применяемых ОАО «РЖД» методов. Остановить рост усталостных трещин в сварных пролетных строениях железнодорожных мостов можно, только применяя комплекс мероприятий от профилактики образования трещин в эксплуатируемых конструкциях до их усиления.

Усталостные трещины проходят несколько стадий развития [6]: накопления усталостных повреждений; припорогового роста с длиной трещины до 4 мм; стабильного развития – от 4 до 20 мм и ускоренного, нестабильного – более 20 мм длиной. До появления трещины целесообразно выполнить профилактические мероприятия, которые могут предупредить её образование иногда вплоть до окончания эксплуатации пролётного строения. При обнаружении трещины длиной до 20 мм необходимо своевременно выполнить ремонт конструкции, локализовав трещину на ранней стадии развития и уменьшив скорость её роста. При достижении длины трещины 20 мм и более выполняют усиление конструкции.

### Профилактические мероприятия

**Местный нагрев (отпуск металла).** Местный нагрев (отпуск металла) околошовной зоны конструкции осуществляется индукционным методом

до 600 °С с целью снятия остаточных напряжений. Индукционный нагрев – это метод нагрева электропроводящих материалов токами высокой частоты. На основе такого нагрева осуществляют и индукционную пайку стали с использованием соответствующего припоя.

**Снятие остаточных напряжений низкочастотной виброобработкой конструкции.** Приведенный в работе [7] метод был модернизирован для сварных пролётных строений с местными концентраторами напряжений в районе сварных швов. Сначала определяют с использованием модели МКЭ величины пиковых резонансных значений частот собственных колебаний конструкции в локальной области около сварного шва. Затем возбуждают колебания методом малых воздействий в диапазоне  $\pm 20\%$  от этой частоты и осуществляют запись виброграмм, по характеру возрастания амплитуд колебаний фиксируют 1-ю резонансную частоту на виброграмме, на которой и производят виброобработку в течение 10–20 мин. В результате такого воздействия остаточные напряжения суммируются с вибрационными, вследствие чего напряжения в металле достигают предела текучести, происходят пластические деформации материала и перераспределение напряжений в конструкции. Для виброобработки конструкции может применяться комплекс ВТУ-01МП.2. Запись и обработка виброграмм колебаний конструкций осуществляли при помощи измерительного диагностического комплекса «Тензор МС». Установка прибора для снятия остаточных напряжений в стенке балки сварного пролетного строения (инв. № 821) показана на рис. 4. Примеры виброустановок приведены на рис. 5.

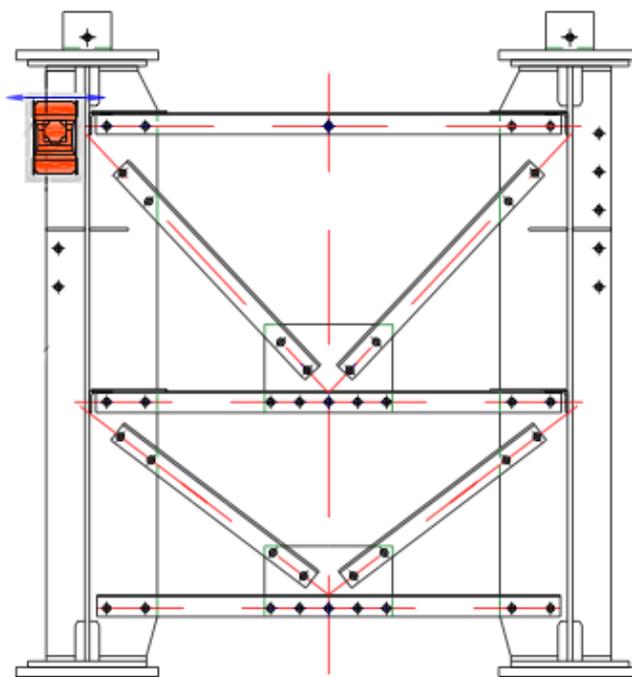


Рис. 4. Установка прибора для снятия остаточных напряжений в пролетных строениях вибрацией

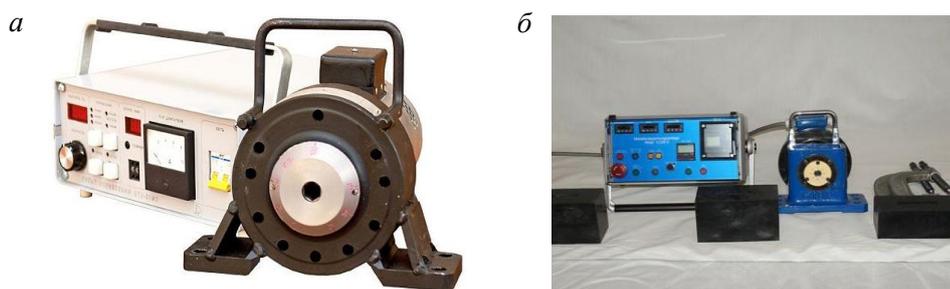


Рис. 5. Внешний вид комплексов для виброобработки:  
*а* – установка ВТУ-01МП.2 производства ООО «Магнит плюс»; *б* – установка производства WIAP AG Ltd SA (WIAP® LC 20, с интегрированным PLC)

**Высокочастотная механическая проковка (ВМП).** Высокочастотная механическая проковка сварного шва и околошовной зоны способствует значительному снижению остаточных напряжений и увеличению усталостной долговечности конструкции.

В Институте электросварки им. Е.О. Патона (НАН Украины) и Институте проблем прочности им. Г.С. Писаренко (НАН Украины) выполнены исследования, доказывающие эффективность этого метода для повышения усталостной долговечности сварных конструкций [8].

Механическая проковка создает в местах обработки напряжения сжатия, уменьшающие остаточные напряжения и препятствующие образованию усталостных трещин. Также при ВМП происходит увеличение ударной вязкости металла (на 20–30 %), что улучшает работу конструкции при экстремально низких отрицательных температурах Сибири.

В настоящее время существует несколько приборов для выполнения этого процесса. На рис. 6 приведены примеры этих приборов.



Рис. 6. Приборы для выполнения высокочастотной механической проковки:  
*а* – прибор USP-300, Украина, США; *б* – прибор Шмель, Россия; *в* – прибор Карл, Китай

Исследования, выполненные S.H. Nan and J.W. Nan [9] и в СГУПС [10], показали, что хорошего результата можно добиться обработкой зоны вокруг сварного шва при помощи пневмомолотка с энергией удара 4 Дж (рис. 7). Использование пневмоинструмента несколько снижает производительность труда

при выполнении работ, но при этом стоимость инструментов значительно ниже, что делает данный вид работ доступным даже при выполнении профилактических работ в рамках текущего содержания искусственного сооружения.



Рис. 7. Молоток пневматический для механической проковки

#### Обеспечение плотного примыкания рёбер жёсткости к поясам балок.

Это ещё одна из мер по профилактике усталостных трещин типа Т-9 и Т-10. Для этого уголкивые коротыши прикрепляют к ребрам жесткости с помощью индукционной пайки и устраняют зазоры затяжкой болтов, проходящих через гайку, приваренную к верхней горизонтальной полке уголкового коротыша [11].

Существующие «сухарики» можно не демонтировать. Конструкция фиксации ребер жесткости приведена на рис. 8.

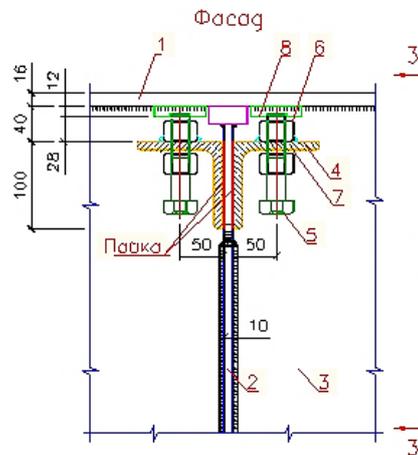


Рис. 8. Конструктивное решение по профилактике S-образного изгиба стенки главной балки

**Ремонт конструкции с усталостной трещиной.** В СибНИИ мостов СГУПС разработан метод локализации усталостной трещины индукционным прогревом устья трещины (до температуры 850–900 °С) с последующей про-

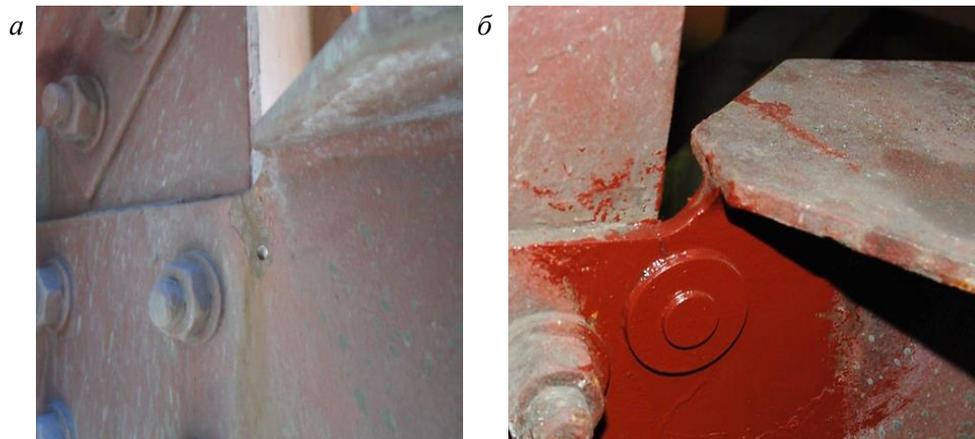
ковкой по мере остывания конструкции до температуры 400–450 °С [10]. Пример локализации индукционным прогревом устья трещины с проковкой приведен на рис. 9. Даже при интенсивной эксплуатации сооружения этот способ ремонта позволяет остановить дальнейшее развитие трещины на период до 10 лет.



*Рис. 9.* Торможение роста усталостной трещины в экспериментальном образце индукционной пайкой с прогревом и проковкой

Способом, позволяющим надежно локализовать трещину на ранней стадии развития, не причиняя вреда конструкции, является постановка плоских накладок в устье трещины методом индукционной пайки [12].

При этом локальный индукционный нагрев устья трещины создает поле сжимающих напряжений, препятствующих росту трещины, а плоские накладки усиливают стенку балки и снижают уровень напряжений от временной нагрузки, что также положительно влияет на долговечность конструкции. Постановка плоской накладки для локализации трещины типа Т-18 в домкратной балке пролетного строения показана на рис. 10.



*Рис. 10.* Локализация трещины путем постановки плоских накладок, перекрывающих устье трещины:  
*а* – трещина типа Т-18 в домкратной балке; *б* – усиление постановкой накладок

**Усиление стенки главной балки постановкой накладок на индукционной пайке.** Усиление конструкции с трещинами путем сверления отверстия в устье трещины и установки двухсторонних накладок методом индукционной пайки является надежным способом восстановления потребительских свойств конструкции [11].

Пример постановки накладок показан на рис. 11. Постановка накладок позволяет полностью восстановить несущую способность конструкции. Данную технологию применяют для локализации средних (от 21 до 50 мм) и длинных (> 51 мм) усталостных трещин. Отверстие в устье трещины ( $\varnothing$  23 мм, рис. 11, а) снижает концентрацию напряжений, индукционный нагрев зоны пайки с центром в месте отверстия создает зону сжимающих напряжений внутрь отверстия, препятствующих дальнейшему развитию трещины. Накладки усиления снижают уровень напряжений в элементе и создают конструктивный барьер, препятствующий дальнейшему распространению трещины (рис. 11, б).

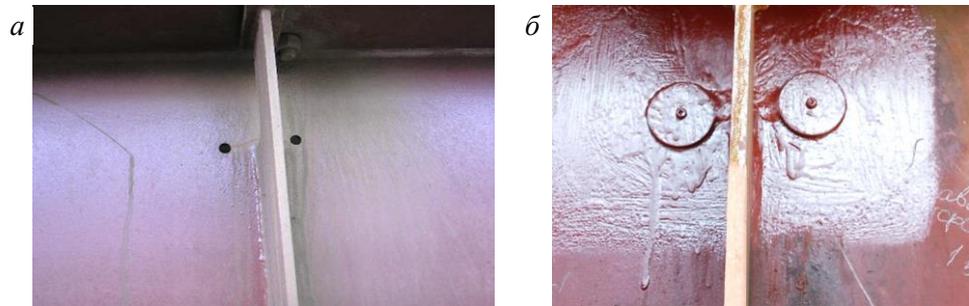


Рис. 11. Усиление конструкции постановкой двухсторонних накладок:  
а – засверливание устья трещины отверстием; б – постановка круглых грибовидных накладок

В последние годы в массовом порядке стали фиксировать трещины по сварным швам прикрепления ребер жесткости. Вид конструкции с трещиной приведен на рис. 12, а.

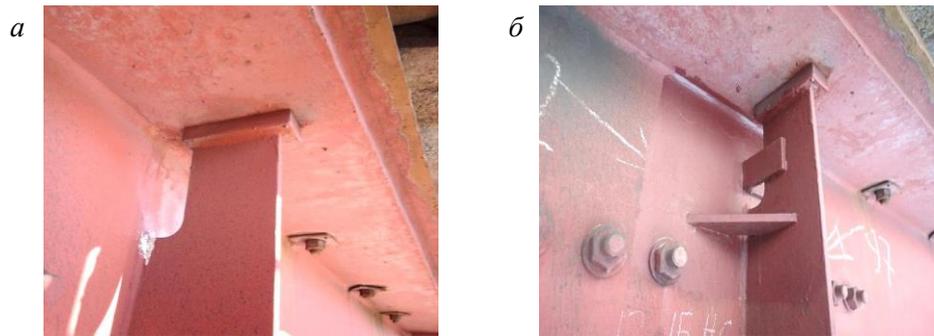


Рис. 12. Трещина в сварном шве прикрепления ребра жесткости и ее локализация методом индукционной пайки:  
а – трещина в сварном шве прикрепления ребра жесткости; б – ремонт трещины с применением индукционной пайки

Несвоевременный ремонт элемента с трещиной ведет к снижению местной устойчивости стенки балки и, как следствие, к снижению несущей способности пролетного строения. В СибНИИ мостов СГУПС разработан [11] способ *ремонта сварного шва постановкой конструктивных элементов с помощью индукционной пайки*.

На рис. 12, б показан пример ремонта сварного шва в месте прикрепления ребра жесткости к стенке балки постановкой трапециевидной косынки и уголкового коротыша, прикрепляемых к стенке балки.

Оказалось, что усиление и ремонт конструкций с усталостными трещинами имеют целый ряд особенностей, связанных с температурными разнонаправленными деформациями основной конструкции и накладок, что потребовало отладки технологии пайки и применения специализированных индивидуально изготовленных индукторов. Таким образом, удалось создать аппаратуру для индукционной пайки, технологическую цепочку способов, направленных на предотвращение появления трещин, ремонт и усиление пролётных строений с усталостными трещинами. Представленный комплекс мероприятий позволяет обеспечить усталостную долговечность и прочность сварных пролётных строений, запроектированных под нагрузку С14, регламентированную действующими нормативными документами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Len Reid*. Arresting Cracks in Steel Bridges // Western Bridge Preservation Partnership. San Diego CA. 2013. 12 May.
2. *Repairing and Preserving Bridge and Steel Structure Using an Innovative Crack Arrest Repair System* // VP Technology. 11th International Fatigue Congress, Melbourne, Australia, March 2–7, 2014.
3. *Бокарев С.А., Мурованный Ю.Н., Прибытков С.С., Усольцев А.М.* Условия обеспечения движения тяжеловесных поездов по искусственным сооружениям // Железнодорожный транспорт. 2017. № 7. С. 15–20.
4. *Жунев К.О.* Статистический анализ факторов трещинообразования в сварных пролетных строениях // Транспортная инфраструктура Сибирского региона : сб. материалов VIII Международной научно-технической конференции. Т. 1. 2017. С. 455–460.
5. *Бокарев С.А.* Информационное обеспечение организаций, занятых проектированием, строительством или эксплуатацией мостов // Вестник СГУПС. Вып. 13. Новосибирск, 2006. С. 4–10.
6. *Картопольцев В.М., Боровиков А.Г., Картопольцев А.В.* Оценка остаточного ресурса конструкций металлических мостов по критерию трещинообразования // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2015. № 2. С. 176–183.
7. *Летуновский А.П., Новиков Г.В.* Снятие остаточных сварочных напряжений // Сфера Нефтегаз. 2010. № 1.
8. *Кныш В.В., Кузьменко А.З., Войтенко О.В.* Повышение сопротивления усталости сварных соединений высокочастотной механической проковкой // Автомат. Сварка. 2006. № 1. С. 43–47.
9. *Han S.H., Han J.W.* Fatigue Life Estimation of Fillet Welded Joints Considering Statistical Characteristics of Weld Toe's Shape and Multiple Collinear Surface Cracks // Journal of KWS. 2005. V. 23. № 3. P. 158–167.
10. *Пат. № 2562622*. Российская Федерация, МПК E01D 22/00 (2006.01). Способ усиления имеющего трещину металлического элемента пролетных строений мостов / С.А. Бокарев, А.М. Усольцев, Ю.Н. Мурованный ; ФГБОУ ВПО СГУПС ; опубл. 13.08.2015.

11. Пат. № 2675120. Российская Федерация, МПК E01D 22/00 (2006.01). Способ усиления балки пролетного строения моста / С.А. Бокарев, А.М. Усольцев ; ФГБОУ ВО СГУПС ; опубл. 17.12.2018.
12. Пат. № 2642758. Российская Федерация, МПК E01D 22/00 (2006.01). Способ усиления имеющего трещину металлического тонкостенного элемента пролетных строений мостов / С.А. Бокарев, А.М. Усольцев, А.И. Служаев ; ОАО «РЖД», ЦУИС ; опубл. 25.01.2018.
13. Пат. № 2656645. Российская Федерация, МПК E01D 22/00 (2006.01). Способ торможения и предотвращения образования усталостных трещин / С.А. Бокарев, А.М. Усольцев, Е.Г. Попова ; ОАО «РЖД», ЦУИС ; опубл. 06.06.2018.

## REFERENCES

1. *Len Reid*. Arresting cracks in steel bridges. San Diego CA: Western Bridge Preservation Partnership, 2013.
2. *Repairing and preserving bridge and steel structure using an innovative crack arrest repair system*. Le Len Reid, VP Technology. Proc. 11th Int. Fatigue Congress, Melbourne, Australia, March 2–7, 2014.
3. *Bokarev S.A., Murovannyi Yu.N., Pribytkhov S.S., Usoltsev A.M.* Usloviya obespecheniya dvizheniya tiazhelovesnykh poyezdov po iskusstvenn ym sooruzheniyam [Conditions for heavy trains movement along artificial structures]. *Zheleznodorozhnyi transport*. 2017. No. 7. Pp. 15–20. (rus)
4. *Zhunev K.O.* Statisticheskii analiz faktorov treshchinoobrazovaniya v svarnykh prolyotnykh stroeniyah [Statistical analysis of crack growth factors in welded bridge spans]. Sbornik materialov VIII Mezhdunarodnoi nauchno-tehnicheskoi konferentsii “Transportnaya infrastruktura Sibirskogo regiona” (Proc. 8th Int. Sci. Conf. “Transport Infrastructure in Siberian Region”). 2017. V. 1. Pp. 455–460. (rus)
5. *Bokarev S.A.* Informatsionnoye obespechenie organizatsyi zaniatykh projektirovaniem, stroitelstvom ili ekspluatatsyiei mostov [Application of information technologies by companies involved in bridge design, building and maintenance]. *Vestnik SGUPS*. V. 13. 2006. Pp. 4–10. (rus)
6. *Kartopoltsev V.M., Borovikov A.G., Kartopoltsev A.V.* Otsenka ostatochnogo resursa konstruksii metallicheskih mostov po kriteriyu treshchinoobrazovaniya [Residual life of metal bridge structures estimated by crack formation]. *Vestnik of Tomsk State University of Architecture and Building*. 2015. No. 2. Pp. 176–183. (rus)
7. *Letunovskii A.P., Novikov G.V.* Snyatiye ostatochnykh svarochnykh napriazhenii [Reduction of residual welding stress]. *Sfera Neftegas*. 2010. No. 1. (rus)
8. *Knysh V.V., Kuzmenko A.Z., Voitenko O.V.* Povysheniye soprotivleniya ustalosti svarnykh sojedinenii vysokochastotnoi mekhanicheskoi prokovkoi [Increasing fatigue resistance of welded joints with high frequency mechanical forging]. *Avtomaticheskaya svarka*. 2006. No. 1. Pp. 43–47. (rus)
9. *Han S.H., Han J.W.* Fatigue life estimation of fillet welded joints considering statistical characteristics of weld toe's shape and multiple collinear surface cracks. *Journal of KWS*. 2005. V. 23. No. 3. Pp. 158–167.
10. *Bokarev S.A., Usoltsev A.M., Murovannyi Yu.N.* Sposob usileniya imeyushchego treshchinu metallichesкого элемента пролетных строений мостов [Method of reinforcement of a metal bridge span component with a crack]. Patent Russ. Fed. N 2562622. (rus)
11. *Bokarev S.A., Usoltsev A.M.* Russia Federation, Sposob usileniya balki proletnogo stroeniya mosta [Method of reinforcement of a bridge span girder]. Patent Russ. Fed. N 2675120. (rus)
12. *Bokarev S.A., Usoltsev A.M., Sluzhaev A.I.* Sposob usileniya imeyushchego treshchinu metallichesкого тонкостенного элемента пролетных строений мостов [Method of reinforcement of metal thin-wall bridge span component having a crack]. Patent Russ. Fed. N 2642758. (rus)
13. *Bokarev S.A., Usoltsev A.M., Popova E.G.* Sposob tormozheniya i predotvrashcheniya obrazovaniya ustalostnykh treshchin [Method of arresting and preventing fatigue cracks]. Patent Russ. Fed. N 2656645. (rus)

**Сведения об авторах**

*Бокарев Сергей Александрович*, докт. техн. наук, профессор, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, BokarevSA@stu.ru

*Усольцев Андрей Михайлович*, старший научный сотрудник, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191, uam@stu.ru

*Служаев Александр Иванович*, главный инженер НИДЦ, Сибирский государственный университет путей сообщения, 630049, г. Новосибирск, ул. Дуси Ковальчук, 191.

**Authors Details**

*Sergei A. Bokarev*, DSc, Professor, Siberian Transport University, 191, D. Kovalchuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, BokarevSA@stu.ru

*Andrei M. Usoltsev*, Senior Researcher, Siberian Transport University, 191, D. Kovalchuk Str., 630049, Novosibirsk, Russia, uam@stu.ru

*Alexander I. Sluzhaev*, Leading Engineer of Road R&D Center, Siberian Transport University, 191, D. Kovalchuk str., 630049, Novosibirsk, Russia.