

ХАРАКТЕРНЫЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ СВАРНЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ

В. А. КОВТУНЕНКО, канд. техн. наук, **А. Г. СИНЕОК**, **А. М. ГЕРАСИМЕНКО**, **В. А. ЗАДОРЖНЫЙ**, инженеры
(Ин-т электросварки им. Е. О. Патона НАН Украины)

Проведен анализ характерных повреждений сварных узлов и соединений металлических конструкций действующих пролетных стросний мостов в г. Киеве. Определены основные факторы, влияющие на их возникновение и развитие. Рекомендованы первоочередные мероприятия, направленные на повышение безопасной эксплуатации мостов.

Ключевые слова: сварные металлические конструкции, сварные узлы и соединения, пролетные строения мостов, ресурс металлоконструкций, коррозионное повреждение, напряженно-деформированное состояние

В настоящее время в Украине эксплуатируется более 20 тыс. автодорожных мостов и путепроводов, а на железных дорогах — 8050 мостов общей протяженностью 210,4 км. Под воздействием многих факторов срок надежной эксплуатации мостов сокращается, возникают различного вида повреждения (трещины, деформации, коррозия), которые ставят под угрозу безопасную эксплуатацию объекта и нередко приводят к его аварийному состоянию. Продлить ресурс моста означает обеспечить бесперебойное движение по нему транспорта и значительную экономию средств.

Результаты анализа действительного состояния металлических мостовых конструкций и условий их эксплуатации [1–4] дают основание для пересмотра требований к проектированию, выбору материалов, конструктивных решений, технологий изготовления и монтажа при создании новых сооружений, а также для проведения исследований и разработки эффективных решений по ремонту и увеличению ресурса мостов, находящихся в эксплуатации.

Количество морально и физически устаревших транспортных сооружений непрерывно возрастает. Проектный срок службы многих из них установлен в пределах 50... 100 лет. В связи с ограничением средств, выделяемых на поддержание транспортных объектов в рабочем состоянии, важное значение приобретают действенные меры по восстановлению и продлению ресурса несущих металлоконструкций пролетных строений мостов. При этом в условиях научно-технического прогресса промышленного производства изменились соответственно требования к оценке технических мостовых конструкций.

Согласно существующей нормативно-технической базе [5] эксплуатируемые длительное время мостовые объекты (сооружения) классифицируются по следующим категориям несоответствия критериям нормальной эксплуатации:

работоспособные без ограничения срока эксплуатации несмотря на отдельные отступления от

норм государственных стандартов и технической документации;

с ограниченной работоспособностью по причине изменения государственных стандартов, регламентирующих нормативные значения подвижных нагрузок в сторону увеличения;

с ограниченной работоспособностью по результатам оценки технического состояния, нормальная эксплуатация которых может быть восстановлена за счет проведения специальных технологических мероприятий, например ремонта небольшого количества несущих элементов посредством сварки;

неработоспособные, в которых по результатам освидетельствования или проверочного расчета выявлены недопустимые дефекты, ослабление сечений большей части несущих конструкций; существующее состояние их по принятой классификации является предельным и без удаления или замены поврежденных конструкций они не могут быть допущены к эксплуатации.

По результатам обследований технического состояния стальных и сталежелезобетонных пролетных строений, выполненных авторами проектов при участии специалистов лаборатории «Сварка в строительстве» ИЭС им. Е. О. Патона, некоторые мосты г. Киева отнесены к категориям несоответствия требованиям нормальной эксплуатации:

мост им. Е. О. Патона — сооружение с ограниченной работоспособностью; требуется замена поперечных балок, связей, деформационных швов, сталежелезобетонной плиты проезжей части;

Гаваньский мост на Рыбальский остров — неработоспособное сооружение, подлежащее демонтажу вследствие оголения пучков несущей арматуры, коррозионного повреждения вант из стальных канатов, ослабление сечения которых достигло 50... 70 %;

Парковый пешеходный мост на Труханов остров — неработоспособное сооружение, в котором подлежат замене (ремонту) несущие элементы подвесок, имеет место значительная коррозия домкратных балок, опорных ребер, связей, требуется замена деформационных швов и др.

Работы в области определения и исследования фактического состояния металлоконструкций действующих пролетных строений мостов выполняются в соответствии с отечественной и зарубежной нормативно-технической базой.



Выявлены следующие характерные повреждения, влияющие на работоспособность и эксплуатационную пригодность металлоконструкций: разрушение защитных покрытий и, как следствие, коррозия металла; разрывы и трещины в основном металле и швах; искривления, местные прогибы, коробление; ослабление болтовых и заклепочных соединений; вырезы элементов или их полный демонтаж вследствие прокладки коммуникаций; деформация, вызванная перегрузками или неравномерными осадками и креном фундамента; абразивный износ.

Дефекты и повреждения элементов конструкций в зависимости от значимости данного элемента для работоспособности конструкции в целом, а также от степени опасности дефекта или повреждения делаются на три категории [6]:

А — дефекты и повреждения особо ответственных элементов и соединений, представляющие непосредственную опасность разрушения, например трещины в поперечных стыках нижних растянутых поясов главных балок пролетного строения;

Б — дефекты и повреждения, не представляющие в момент обнаружения непосредственную опасность для конструкции, которые могут в дальнейшем вызвать повреждение других элементов (узлов и соединений) и в случае их развития перейти в категорию А, например трещина в продольном стыковом шве ребристой плиты нижнего пояса главной балки в непосредственной близости от поперечного стыка нижнего пояса;

В — дефекты и повреждения, наличие которых не связано с угрозой разрушения, например усталостная трещина у границы выкружки (деконцентратора) в стенке поперечной балки ортотропной плиты проезжей части моста в месте пропуска продольного ребра.

Как указывалось выше, дефекты и повреждения в пролетных строениях металлических мостов могут быть выявлены и определены как с помощью внешнего осмотра (визуально-оптический метод), так и современной технической диагностики.

При обследовании первым методом определены очаги коррозии металла, а также дефекты наружного формирования сварных швов — трещины, разрывы, вмятины, местное ослабление, неплотности, ослабленные заклепки, незатянутые болты и пр.

С помощью второго метода выявлены внутренние дефекты сварных швов, степень уменьшения сечения несущих элементов в результате коррозии, геометрические характеристики пролетного строения (строительный подъем, отклонение осей и пр.). Как показали результаты обследований стальных конструкций, основным видом их повреждений является коррозия, возникновению которой способствуют их конструктивные и технологические несовершенства.

К конструктивным недостаткам можно отнести создаваемые пазухи и так называемые мешки с плохим проветриванием поверхности несущих конструкций (особенно в коробчатых главных балках), а также места с недостаточным водоотводом и щели, в которых из-за коррозии происходит растрескивание элементов. Чаще всего такие явления имеют место

там, где угловые швы привариваемых внахлестку элементов не замыкаются по контуру.

Возникновению интенсивной коррозии способствуют следующие технологические факторы:

плохая подготовка поверхности металла под грунтовку и окрашивание (только вновь сооружаемые металлические мосты в последнее время подвергаются дробеструйной обработке конструкций на заводах-изготовителях);

неудовлетворительное качество грунтов и краски отечественного производства, использованных в мостах, возведенных 10 лет назад и более;

отсутствие покрасочных и сушильных камер на заводах металлических конструкций;

исключение из технологического цикла таких процессов, как нанесение защитных покрытий, обезжиривания и пр.

Сочетание конструктивных и технологических несовершенств в совокупности с практикой применения в мостах более поздней постройки обычных строительных сталей усугубляли и ускоряли протекание процессов коррозии в конструкции.

Так, для изготовления металлоконструкций пролетных строений моста им. Е. О. Патона, Паркового пешеходного моста на Труханов остров в г. Киеве и других мостов использована низкоуглеродистая сталь марки М16С, соответствующая стали 16Д (ГОСТ 6713–91) по свариваемости и другим физико-механическим характеристикам. Однако в связи с отсутствием в ее составе меди она отличается более низкой коррозионной стойкостью, чем сталь 16Д.

В результате детального обследования моста им. Е. О. Патона, проведенного УкрНИИПСК им. В. Н. Шимановского совместно с ИЭС им. Е. О. Патона в июле–сентябре 2001 г., получены объективные данные о состоянии металлоконструкций. В процессе обследования оценены степень коррозионного поражения металлических несущих и вспомогательных конструкций (включая главные и поперечные балки, связи), а также состояние железобетонной плиты проезжей части моста и деформационных швов.

Обследование проводили визуально и с использованием измерительных инструментов — лупы с восьмикратным увеличением и ультразвукового толщиномера. Для выборочного контроля сварных швов применяли ультразвуковой и магнитно-порошковый методы неразрушающего контроля, с помощью которых выявлены следующие изменения толщины несущих элементов главных балок: нижние пояса главных балок — от 1,5 до 2,0 %; стенки главных балок в надпорных участках — до 3 % (рис. 1); участки опорных ребер — до 9 %, при этом имеет место пластовая ржавчина (рис. 2); продольные ребра нижнего ряда по стенкам главных балок — до 9 %. Повреждений в верхнем поясе выявлено не было.

Следует отметить, что эти изменения более всего проявляются по верховым и низовым ниткам, т. е. в местах, где поверхность элементов наименее обдуваемая, и куда более интенсивно попадает влага в виде осадков и соли, используемой в холодное время года для борьбы с наледью и снегом на проезжей части мостов. Влага и осадки беспре-



Рис. 1. Вид коррозионного повреждения на участке стенок главных балок моста им. Е. О. Патона

пятственно проникают в несущие элементы главных балок через щели в сталежелезобетонной плите, образованные постановкой стоек крепления колесоотбойного профиля, и через вышедшие из строя в результате 100%-го поражения коррозией водоотражающие лотки на деформационных швах (рис. 3).

Состояние лакокрасочного покрытия на поверхности несущих элементов главных балок в большинстве своем неудовлетворительное. Вследствие многократного окрашивания образовался слой старой краски толщиной более 1 мм, что привело к отслаиванию краски и прокатной окалины. На этих участках воздушная прослойка способствует образованию конденсата от суточного перепада температур.

Специалисты обращали внимание на недопустимость приварки несущих и вспомогательных элементов угловыми швами внахлестку без замыкания швов по контуру опирания, что согласуется с результатами, полученными при обследовании объекта.

Так, по верхним продольным ребрам на стенке главной балки при монтаже оставлены стальные коротыши толщиной от 12 до 20 мм, являющиеся, по-видимому, остатками элементов временных под-



Рис. 2. Вид коррозионных повреждений поясов, ребер главных балок и элементов связей в надопорных участках пролетного строения моста им. Е. О. Патона



Рис. 3. Вид коррозионного повреждения поперечных балок моста им. Е. О. Патона

мостей, удаленных газокислородной резкой. Приварку этих планок выполняли двухугловыми швами поперек сечения продольных ребер. Попадание влаги в щель между плоскостями ребер и планок привело к возникновению активной щелевой коррозии. В результате один, а в некоторых случаях и два угловых шва вследствие размораживания разорвались (рис. 4). В местах приварки внахлестку спаренных уголков выявлены разрушения угловых сварных швов, с помощью которых уголки прикрепляются к вертикальным фасонкам на стенках главной балки. Причиной разрушений является щелевая коррозия, возникающая в местах отсутствия замыкания по контуру угловых швов крепления уголков к фасонкам.

Главные балки пролетных строений моста им. Е. О. Патона после проведения комплекса ремонтных работ могут эксплуатироваться без ограничения временных нагрузок.

Проблемы усиления и ремонта отдельных соединений и узлов, а также вопросы, связанные с отступлением от действующих нормативных документов на проектирование и изготовление мостовых конструкций, эксплуатируемых продолжительное время, будут решены при разработке проекта реконструкции моста.



Рис. 4. Приварка фланговыми угловыми швами временных сборочных приспособлений к продольным ребрам главных балок моста им. Е. О. Патона



Рис. 5. Парковый пешеходный мост на Труханов остров с устройствами для разгрузки подвесок

В большинстве случаев поперечные балки моста им. Е. О. Патона имеют значительные коррозионные повреждения. Причиной их появления, как уже отмечалось выше, является существенное разрушение сталежелезобетонной плиты проезжей части моста в результате плохой гидроизоляции и выщелачивания бетона, попадания влаги и солей в отверстия в плите, а также лотков деформационных швов. Кроме того, в местах установки и расположения поперечных балок имеет место недостаточная естественная вентиляция. При этом необходимо также учитывать наличие труб теплотрассы, проходящей под плитой проезжей части. Недостаточная теплоизоляция, а в некоторых местах вообще ее отсутствие являются причиной перепада температуры, а стало быть, и образования конденсата.

В ходе последнего обследования, проведенного специалистами УкрНИИПСК им. В. Н. Шимановского совместно с ИЭС им. Е. О. Патона, установлено, что большая часть поперечных балок уже исчерпала свой ресурс работоспособности вследствие значительного коррозионного повреждения (до 70 % снижения сечения поясов и стенок). Мостоотрядом № 2 ОАО «Мостобуд» по варианту усиления балок, предложенному ИЭС им. Е. О. Патона, осуществлено усиление некоторых элементов поперечных балок, наиболее нуждавшихся в восстановлении сечений. Однако уже за незначительный период времени состояние неусиленных балок можно было характеризовать как критическое,



Рис. 6. Вид усталостной трещины в узле крепления подвески Паркового пешеходного моста на Труханов остров, в котором при ремонте не выдержано расстояние между фланговыми и лобовыми швами



Рис. 7. Вид продольной трещины в фланговом угловом шве крепления подвески к вертикальному ребру на стенке главной балки Паркового пешеходного моста на Труханов остров

а усиленные поперечные балки также претерпели существенные повреждения коррозией — до 21 % сечения стенок и до 19,5 % сечения нижних поясов (см. рис. 4).

Ремонт поперечных балок указанного пролетного строения вследствие поражения значительной площади их поверхности коррозией нецелесообразен. Поперечные балки в большинстве случаев требуют обновления, что можно осуществить только путем замены плиты проезжей части моста. Поочередная замена балок путем поддомкрачивания отдельных участков сталежелезобетонной плиты с инженерной точки зрения является нереальной, поскольку при этом происходит полное разрушение последней.

Коррозия является наиболее распространенным типом повреждений. Она выявлена и при обследовании Паркового пешеходного моста на Труханов остров (рис. 5–7). Причин возникновения такого рода разрушений существует несколько.

При строительстве моста вопросу качества изолирования (защиты) скрытых в бетоне участков подвесок достаточного внимания не было уделено. В то время отсутствовали технологии надежной гидроизоляции. В процессе эксплуатации этого моста, как и большинства автомобильных пролетных строений, не проводили постоянные осмотры для выявления дефектов, что способствовало развитию очагов коррозии.

Колебания ветвей подвесок от ветровых воздействий инициировали зарождение и развитие трещин в металле уголков (подвесках). Учитывая большую жесткость узла крепления подвесок к вертикальным ребрам на стенке главных балок, нетрудно представить, что в месте заделки уголковых подвесок в железобетонную плиту накопившиеся циклы колебаний подвески при изменении в результате коррозии сечения элементов инициировали зарождение усталостных трещин. По данным предварительного обследования, такие трещины обнаружены в местах, где подвески ремонтировали без предварительной их разгрузки с применением накладок. Такое техническое решение нельзя назвать правильным в связи с значительной выносливостью таких соединений из-за резких изменений формы и высокой концентрации напряжений. В настоящее время работы по восстановлению ресурса подвесок указанного



Рис. 8. Деформации опорного раскоса моста через р. Десну в г. Чернигове

моста завершаются. На всех подвесках поврежденные уголки заменены новыми.

Помимо коррозии, еще одним распространенным типом повреждений в действующих металлических сварных пролетных строениях являются трещины. При обследовании мостовых конструкций особое внимание обращали на наличие трещин, а в случае их обнаружения выясняли причину их образования и оценивали степень опасности для несущей способности.

Причинами возникновения трещин могут быть концентрация напряжений, остаточные напряжения от сварки, усталостные явления и повышенная хладноломкость металла.

Как правило, трещины появляются под действием нескольких факторов. Наиболее часто образование трещин происходит в местах концентрации напряжений, где имеет место значительное изменение сечения элементов (обрывы листов, неплавное изменение толщины и ширины, места крепления накладок, ребер, диафрагм и пр.). Концентрация напряжений имеет место на необработанных торцах сварных стыковых соединений, в различных дефектах сварных швов таких, как непровары, неплавления по кромкам, подрезы кромок, наплывы, шлаковые включения, поры, прожоги, незаполненные кратеры, отверстия при слабых заклепках и незатянутых высокопрочных болтах.

Большое влияние на образование трещин оказывают остаточные напряжения после сварки. Поэтому при обследовании особое внимание уделяли местам, где имеет место скученность сварных швов.

На заводах-изготовителях мостовых конструкций при разработке технологии сборки-сварки не уделяется должного внимания порядку выполнения отдельных швов. В результате, как правило, самые ответственные сварные узлы, где порядок выполнения сварки определяет уровень остаточных напряжений, свариваются неправильно, и нередко уже во время кантовки изделий в цехе в них появляются холодные трещины.

Отдельную группу повреждений автодорожных и частично пешеходных мостов с ограниченным пропуском транспорта составляют различного вида прогибы, вмятины, разрывы, вызванные механическими воздействиями на несущие элементы (рис. 8, 9). Во многом это обусловлено нестандартными габаритами проезжей части, сформированной в те времена, когда нормы проектирования



Рис. 9. Механические повреждения опорного раскоса моста через р. Десну в г. Чернигове

не учитывали интенсивность транспортных потоков и нагрузок, а также габариты транспортных средств.

Техническое состояние металлоконструкций пролетного строения и принадлежность к одной из групп оценивают по результатам освидетельствования и проверочного расчета.

Усиление и реконструкция металлоконструкций с использованием технологий ремонта, впервые внедряемых в производство, должны осуществляться при авторском надзоре. На необходимость проведения авторского надзора за внедрением как конструктивных разработок, так и технологических указывает проектная документация.

Технология работ при усилении конструкций под нагрузкой должна обеспечивать минимально возможное ослабление сечений усиливаемых элементов, являющееся следствием нагрева при сварке. При усилении элементов конструкций путем увеличения сечений с помощью сварки рекомендуется соблюдать следующий порядок работ:

присоединение элементов усиления по всей их длине к конструкции с помощью струбцин, клиньев и пр.;

приварку концевых участков, включающих в работу элементы усиления;

приварку элементов усиления на прихватках с шагом 300...500 мм и длиной 30...50 мм;

наложение первоначально связующих швов, обеспечивающих совместную работу усиливаемого элемента и элементов усиления;

выполнение работ по усилению (сварочные работы и резка) при снятии нагрузок от транспорта — прекращение его движения.



При усилении путем увеличения сечений двух или более пролетов статически неопределимых главных балок вначале следует присоединять элементы усиления по всем усиливаемым элементам пролетов на сварочных прихватках и лишь затем приступать к сварке концевых участков и связующих швов. Сварку швов усиливаемых элементов необходимо выполнять последовательно, начиная с менее нагруженного пролета конструкции.

При двухсторонних схемах увеличения сечений сначала приваривают элементы усиления, расположенные со стороны растянутых волокон, а затем — со стороны сжатых. При двусторонних схемах усиления балок сначала приваривают нижний растянутый элемент усиления, а потом верхний.

В усиливаемых конструкциях, находящихся под нагрузкой собственной массы, следует избегать наложения швов поперек действующих усилий, и особенно растягивающих. В случае невозможности выполнения этого условия необходимо разработать специальные технологические меры, обеспечивающие безопасный для конструкций процесс сварки.

При разработке технологии усиления сварных соединений мостов, кроме перечисленных ранее, необходимо выполнять следующие условия:

при наплавке дополнительных слоев вносить как можно меньше тепла в детали, находящиеся под нагрузкой;

наплавку усиливаемого слоя начинать в местах дефектов усиливаемого шва (подрезы, наплывы, незаплавленные кратеры и пр.).

Для снижения опасности возникновения хрупкого разрушения сварных соединений при пониженных температурах новые сварные швы на усиливаемых конструкциях следует располагать по возможности в наименее напряженных сечениях и как можно дальше от мест уменьшения сечения, вырезов, ребер. Необходимо избегать скученности сварных швов, их пересечения под острым углом, а также близкого расположения параллельных стыковых и угловых швов.

В результате проведенных обследований определены основные факторы, влияющие на прочность пролетных строений сооружений мостов, осуществлен анализ полученных результатов и выработаны предварительные рекомендации для проведения мероприятий по повышению безопасности эксплуатации строений мостов.

Специалисты ИЭС им. Е. О. Патона совместно с авторами проектов УкрНИИПСК им. В. Н. Шимановского провели предварительные обследования моста им. Е. О. Патона, Паркового пешеходного моста на Труханов остров, моста на Рыбальский остров и др. При этом выявлен ряд повреждений сварных соединений и узлов, проведена их классификация по характерным признакам и

установлены основные факторы, влияющие на образование этих повреждений. По каждому из указанных сооружений сделаны заключения об эксплуатационной прочности пролетных соединений указанных мостов и целесообразности принятия мер по их ремонту, усилению и пр.

В автодорожных стальных и сталежелезобетонных мостах, которые сооружались в 1950-е годы, часто возникают технологические трещины, связанные с несовершенством конструктивных форм сварных узлов. Нередко такие трещины развиваются в незамкнутых по контуру сварных швов обварки ребер, а также в местах деконцентраторов и выкружек. Значительное количество повреждений в автодорожных мостах (трещины, потеря устойчивости формы несущих элементов, существенные уменьшения сечений стенок и поясов главных балок вследствие коррозии) возникает из-за неудовлетворительного состояния выравнивающих устройств и деформационных швов, лотков на береговых стояках и стояках, которыми мост разрезается на отдельные пролеты. Для обнаруженных повреждений требуется разработка технологии ремонта в каждом конкретном случае. В автодорожных мостах со сталежелезобетонной проезжей частью и стальными главными и поперечными балками (например, мост им. Е. О. Патона, Парковый пешеходный мост на Труханов остров) основными повреждениями являются уменьшения сечения поясов и стенок балок вследствие коррозии.

Необходимость ремонта элементов, подверженных коррозии, должно определяться в зависимости от их нагруженности и глубины повреждения. Как правило, для таких элементов и узлов требуются усиления путем ввода дополнительных сечений. В целом проблема может быть решена с помощью применения стали повышенной коррозионной стойкости, проектирования узлов и соединений, исключающих образование неvented полостей или создания полностью герметичных замкнутых сечений, повышения качества подготовки поверхности под грунтовку и покраску и применения материалов высокого качества.

1. СНиП 3.06.07–86. Мосты и трубы. Правила обследований и испытаний / Госстрой СССР. — Введ. 01.07.87.
2. ВСН 4–81. Инструкция по проведению осмотров мостов и труб на автомобильных дорогах / Минавтодор РСФСР. — Введ. 01.01.82.
3. Указания по осмотру и усилению, эксплуатируемых сварных пролетных строений / МПС России, НИИМ, ЛИИЖТ. — М., 1989. — Введ. 01.01.90.
4. Пособие по проектированию усиления стальных конструкций (к СНиП П-23–81) / УкрНИИпроектстальконструкция. — М.: Стройиздат, 1989. — 159 с.
5. ДБНВ. 3-6-2002. Споруди транспорту. Мости і труби. Обстеження і випробування / Держбуд України. — Введ. 01.10.2002.
6. ДБН 362–92. Оценка технического состояния стальных конструкций, эксплуатируемых производственных зданий и сооружений / Укравхстройинформ. — Введ. 01.07.92.

Analysis results are presented on characteristic damages of weldments and welded joints in metal structures of active bridge spans in Kiev. Main factors affecting formation and propagation of the above damages are given. The top priority measures aimed at improvement of operational safety of bridges are recommended.

Поступила в редакцию 11.03.2005