МОНТАЖНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ: МНЕНИЕ ТЕХНОЛОГА СВАРКИ

В. С. АГЕЕВ,
к. т. н. (ООО «НПЦ мостов»)

ТЕХНОЛОГИЯМ СБОРКИ И СВАРКИ МОНТАЖНЫХ СОЕДИНЕНИЙ СТАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ МОСТОВ В ПЕРИОДИЧЕСКОЙ ТЕХНИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЕ УДЕЛЯЕТСЯ МАЛО ВНИМАНИЯ. ОДНАКО В ЭТОЙ ТЕМЕ ЕСТЬ МНОГО СЛОЖНЫХ И НЕРЕШЕННЫХ ВОПРОСОВ, О КОТОРЫХ СЛЕДУЕТ ПОГОВОРИТЬ.

НОРМАТИВНАЯ ДОКУМЕНТАЦИЯ

В настоящее время вопросы конструирования и технологии сварки заводских и монтажных соединений регулируются, главным образом, стандартами уже не существующей ГК «Трансстрой».

В середине 90-х годов два института — НИИ мостов ЛИИЖТа и НИЦ «Мосты» — обратились в Научно-техническое управление Корпорации «Трансстрой» с предложением о разработке нормативных документов, в которых должны быть изложены технологии изготовления и монтажа стальных конструкций мостов. Так появилась серия стандартов предприятия СТП 005-97, СТП 006-97, СТП 012-2000, СТП 015-2000, СТП 016-2001. Они подробно излагают технологию сборки и сварки монтажных соединений, а стандарты СТП 005-97 и СТП 012-2000 содержали описание их конструкции. Целью создания нормативных документов являлось предотвращение снижения качества проектирования, изготовления и монтажа стальных мостовых конструкций, которое мы наблюдали в результате появления на мостостроительном рынке большого количества новых мелких проектных фирм, неспециализированных производств и строительных организаций, не обладающих достаточными знаниями.

Авторитет Корпорации «Трансстрой», созданной в результате реорганизации Министерства транспортного строительства СССР, придал этим стандартам общеотраслевой статус, который в силу традиционности мышления они сохраняют до сих пор. Своды правил СП 35.13330 и СП 46.13330, единственные нормативные документы, которые могут иметь статус общеотраслевых стандартов, к удивлению, почти не затрагивают эти темы.

Ставшая общепринятой обязательность стандартов организации ГК «Трансстрой», которые восемь лет актуализируются уже без участия ликвидированного правообладателя, отрицательно повлияла на несколько поколений специалистов, которые признают единственно допустимыми конструкцию и технологию сборочно-сварочных работ, описанные в стандартах. У многих произошла подмена теоретических основ профессиональных знаний, особенно в области сварки, шаблонами готовых «обязательных» конструктивно-технологических решений. Конечно, следование положениям данных стандартов при конструировании монтажных соединений не приведет к каким-либо отрицательным результатам, поскольку все, что в них написано, проверено многолетней практикой предшествующих поколений мостостроителей.

Вместе с тем все чаще и чаще появляются проекты мостовых конструкций, отличающиеся оригинальными архитектурными решениями, для которых необходимо разрабатывать такие же оригинальные технологические решения сборочно-сварочных работ. Эти решения кардинальным образом отличаются от привычных шаблонов. И довольно часто на регламенты по сборке и сварке монтажных соединений мы получаем замечания о том, что в той или иной части последовательность работ не соответствует СТО ГК «Трансстрой»-005.

В ответ на эти замечания бывает очень сложно объяснить, что конструктивно-технологические решения и последовательность сборочно-сварочных операций не могут быть предметом стандартизации. Что нормировать можно лишь конечные параметры конструкции и соединений, такие как прочность и соответствие геометрической формы рабочей документации и допускаемым отклонениям, на каждом этапе технологического

процесса. Что конструкция соединений определяется многими факторами — например, членением на блоки в зависимости от возможностей завода-изготовителя и условий транспортировки до объекта, способом монтажа, возможностями кранового оборудования на монтаже и т. д., а последовательность технологических операций — производными от конструкции пролетного строения, толщинами свариваемых элементов, необходимостью минимизировать сварочные деформации и т. д.

Однако не только СТО ГК «Трансстрой», но и СП 46.13330 содержат предписывающие требования по последовательности сборочно-сварочных работ. Например, вызывает удивление положение п. 10.25, предписывающее производить обязательную частичную или полную работу болтового соединения стенки в болтосварных стыках всех без исключения типов конструкций после выполнения сварки соединений горизонтальных листов сечения. Авторы этого положения требуют таким способом снимать остаточные сварочные деформации в стенке, не допуская даже мысли, что можно другими технологическими приемами минимизировать сварочные деформации, как это делали с 70-х годов до 2017 года, когда это положение было внесено в Свод правил.

Надо отметить, что нецелесообразность выполнения данного требования СП 46.13330 в части удорожания в 2,5 раза работ, в невозможности выполнения требования при навесном монтаже, например, консольных плит, в необходимости замены болтов с покрытием, признают все участники строительного производства. Следовательно, наличие положений, не выполняемых в практической работе, свидетельствует о необходимости изменения нормативных документов в области технологии строительно-монтажных работ. А именно, перехода от предписывающих норм к параметрическому принципу нормирования с изложением обязательных функциональных требований и предоставления профильным специалистам свободы творчества в разработке конструкций и технологий.

Надо отметить, что авторский коллектив одной организации, выполнявшей в последнее десятилетие актуализацию Сводов правил и СТО ГК «Трансстрой», не справился с задачей написания стандартов, соответствующих современным требованиям. В настоящее время разработка нормативных документов стала бизнесом. Наблюдения последних лет свидетельствуют о том, что организация, выигравшая конкурс, не приглашает в авторский коллектив специалистов из других организаций, считая собственный опыт достаточным для создания отраслевых нормативных документов. Но, увы, разработанные ими документы зачастую фактически повторяют текст ранее изданных норм. Многочисленные замечания, поступающие в адрес разработанных стандартов, большей частью не учитываются. К сожалению, ожидать изменения существующего порядка не приходится.

ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ

Нормативная документация не содержит требований к организациям, выполняющим разработку технологии сборки и сварки монтажных соединений. Эти требования содержатся в статье 55.8 Гражданского кодекса РФ, предусматривающей обязательное членство в саморегулируемой организации и получение допуска к технологическому проектированию. Членство в СРО предполагает создание в технологической организации определенной структуры и наличия достаточно большой численности персонала. А по части железнодорожных пролетных строений персоналу технологической организации к тому же необходимо пройти аттестацию в Ростехнадзоре для получения допуска к работе на особо опасных объектах.

Но таких технологических организаций одна или две на всю страну. Большинство представленных на рынке имеет минимальный штат, состоящий в некоторых случаях (судя по доступной информации от налоговых органов) из одного–трех человек. Здесь не рассматриваются проектные организации, разрабатывающие технологию строительства. В части получения допуска к проектированию они полностью соответствуют законодательству РФ, но в своей работе не затрагивают области сборки и сварки монтажных соединений.

В результате несоблюдения большинством технологических организаций требований законодательства строительные подрядчики не имеют гарантий компенсации в случае некачественно составленной документации. Поскольку, не являясь членом СРО, технологические организации не страхуют свою деятельность, не проводят периодическое повышение квалификации, не имеют нормоконтроля, и квалификация их специалистов зачастую весьма сомнительна. (О ней можно судить по содержанию регламента, который состоит из текста, заимствованного их СТО ГК «Трансстрой» 005 или из регламентов других технологических организаций.)

На все перечисленные несоответствия строительные организации при проведении конкурсов не обращают внимания, оценивая лишь стоимостные показатели предложений. Такая практика ведет к деградации технологической документации в области сборки и сварки монтажных соединений до уровня кратких инструкций или технологических карт вместо полноценного

проекта производства сварочных работ, поскольку, как известно из социологии, при принятии стоимости как основного показателя качество продукции нивелируется по худшему результату.

БОЛТОВЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Еще в 90-е годы в НИИ мостов ЛИИЖТа была разработано предложение по комплексной защите от коррозии болтовых стыков полной заводской готовности, исключающей подготовку болтокомплектов и контактных поверхностей на монтаже. Благодаря работам Н. И. Сотскова (ЦНИИ ПСК им. Мельникова) и Е. Б. Кабанова (ЦНИИ КМ «Прометей») была разработана методика термодиффузионного цинкования болтокомплектов. Позднее ООО «НПО «Мостовик» вывел на рынок болтокомплекты с цинкламельным покрытием. В части болтокомплектов задача была решена.

В то же время в ЦНИИС и в НИИ мостов ЛИИЖТа выполнялись исследования фрикционно-защитных покрытий для контактных поверхностей. Идея применения таких покрытий пришла из EN 1090.2, где для консервации поверхностей использовали этилсиликатные грунтовки. Исследование фрикционных свойств грунтовок разных фирм, представленных на отечественном рынке, показало соответствие их среднестатистического значения показателя нормативному значению коэффициента трения для металлических поверхностей, равного 0,58. Это значение и было внесено в СП 35.13330 для фрикционно-защитных покрытий.

Однако не были учтены такие факторы, как величина среднеквадратичного отклонения, зависящая от шероховатости металлической поверхности, правильности определения коэффициента закручивания для болтокомплектов, точности приложения крутящего момента, точности создания усилия обжатия болтоконтакта из-за рассеивания значений коэффициента закручивания и, самое главное, от толщины слоя и качества нанесения грунтовки. В результате заводы мостовых конструкций не смогли обеспечить постоянство коэффициента трения 0,58 (и выше) и не знали, что делать с левой частью кривой нормального распределения, содержащей значения от 0,5 до 0,58.

Внимательное прочтение EN 1090.2 показывает, что в зарубежной практике для этилсиликатных покрытий на контактных поверхностях устанавливают более низкое значение коэффициента трения 0,4, который определяют по усилию, создающему сдвиг в образце 0,15 мм (μ0,15). В нашей стране коэффициент трения (μразр) определяют по усилию, приводящему к исчерпанию несущей способности образца при упругой деформации сдвига в болтовом соединении (рис. 1). Это и объясняет различие расчетных величин в отечественных и зарубежных нормах.

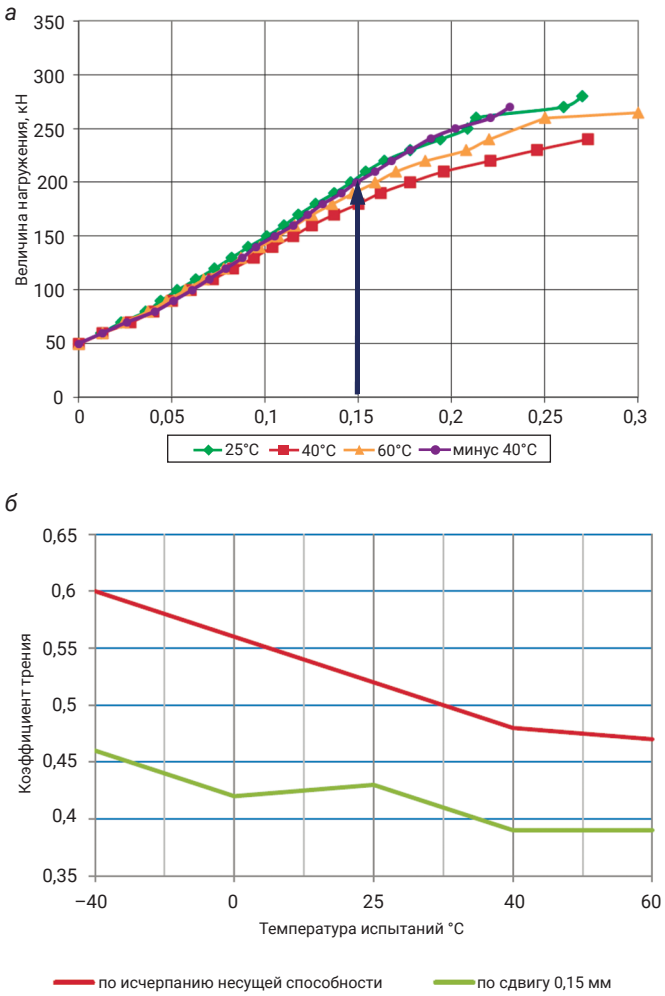

Рис. 1. Коэффициент трения:
а — графики сдвига при испытании по СТП 006-97 образов с покрытием ЦВЭС+ЦВЭС-А;
б — изменение значения коэффициента трения покрытия ЦВЭС+ЦВЭС-А от температуры конструкции

Следует отметить, что EN 1090.2 и ГОСТ Р 54257 устанавливают разный доверительный интервал рассеивания коэффициента трения (табл. 1). Коэффициент трения 0,58 был определен в 1974 году в НИИ мостов ЛИИЖТа как среднестатистическое значение по имеющемуся обширному массиву результатов испытаний нескольких институтов с обеспеченностью 0,95, что и определяет ширину доверительного интервала.

Таблица 1.
Интервалы рассеивания коэффициента трения

Расчетный коэффициент терния	Границы доверительного интервала			
	По EN 1090.2 ±σ (±8%)		По ГОСТ Р 54257 ±2σ (±16%)	
	минимальное	максимальное	минимальное	максимальное
$\mu^{разр}$ = 0,58	—	—	0,49	0,67
$\mu^{0,15}$ = 0,5	0,46	0,54	—	—
$\mu^{0,15}$ = 0,4 → $\mu^{разр}$ = 0,5	0,37	0,44	0,42	0,58

Исследования ООО «НПЦ мостов» показали, что коэффициент трения для этилсиликатных грунтовок без наполнителя или с карборундовым наполнителем зависит от температуры металлоконструкции и опускается ниже 0,5 для коэффициента трения μразр и ниже 0,4 для коэффициента трения $\mu^{0,15}$, рассчитанного при сдвиге 0,15 мм. Таким образом, значение коэффициента трения для контактных поверхностей с этилсиликатными покрытиями в СП 35.13330 необоснованно завышено и не может гарантировать безопасность мостовых сооружений. В СП 35.13330 коэффициент трения для контактных поверхностей с этилсиликатными покрытиями должен быть равен $\mu^{разр}$ = 0,50. Только снижение его расчетного значения позволит применять в мостостроении этилсиликатные грунтовки с карборундовым наполнителем.

КОНСТРУКЦИЯ БОЛТОСВАРНОГО СТЫКА ГЛАВНЫХ БАЛОК

Несколько слов о рациональном проектировании стыка, а именно о целесообразности применения вставки в верхнем поясе главной балки.

В болтосварном стыке главных балок, разработанном в 70-е годы в НИИ мостов ЛИИЖТа, первоначально предусматривалось расположение стыкового соединения верхнего пояса по оси стыка балки. При этом в стенке у соединения верхнего пояса был предусмотрен технологический вырез, аналогичный по форме и размерам вырезу у нижнего пояса. Это решение преследовало не только цель снижения усталостной прочности, поскольку болтосварной стык разработан для автодорожных пролетных строений, где вопросы выносливости менее значимы, чем в железнодорожных мостах.

При многослойной сварке листов с односторонней разделкой кромок происходит поперечное укорочение и угловая деформация соединения с изгибом в сторону корня шва.

Благодаря плавному изменению высоты обрыва стенки в большом технологическом отверстии у верхнего пояса, концы стенок при сварке соединения деформируются, и давление на стенку за пределами стыковой накладки болтового соединения стенки не передается (рис. 2, а).

Все меняется, когда в верхнем поясе проектируют вставку длиной 400 мм и уменьшают размер технологического отверстия (рис. 2, б). В этом случае давление от угловой деформации в каждом шве передается на стенку за пределами ширины стыковой накладки и создает в стенке вертикальное сжимающее усилие. Кроме этого, поперечное укорочение при сварке двух поперечных стыковых швов передает на стенку сжимающие усилия, направленные в сторону оси стыка.

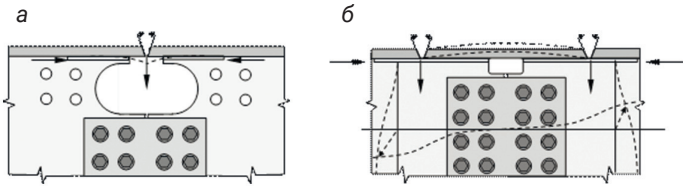

Рис. 2. Варианты оформления стыка верхнего пояса (пунктиром показана форма деформации):
а — без вставки с большим технологическим отверстием;
б — со вставкой и малым технологическим отверстием

Сложения этих факторов в стенке вызывает потерю устойчивости в стенках толщиной 12–14 мм на участках вблизи стыковой накладки болтового соединения стенки. Вероятность и величина выпучивания в стенке зависит от ее толщины и размеров неподкрепленного ребрами участка, а также от толщины верхнего пояса. Именно для ликвидации выпучивания п. 10.25 СП 46.13330 и требует разборки болтового соединения стенки. Вместе с тем в нашем арсенале есть технологические приемы снижения угловой и поперечной деформации в стыковых швах, приемы управления сварочными деформациями.

Рассмотренная выше картина напряженно-деформированного состояния доказывает, что размещение поперечного стыкового соединения верхнего пояса по оси стыка балки является наиболее рациональным конструктивным решением даже без большого

технологического отверстия в стенке. В отличие от цельносварного стыка балки, вставка в верхнем поясе в болтосварном стыке не имеет существенного технологического смысла. Компенсировать неточности изготовления и сборки балки можно за счет припуска длины пояса на одном из блоков, прирезаемом при монтаже.

КОНСТРУКЦИЯ ЦЕЛЬНОСВАРНОГО СТЫКА ГЛАВНОЙ БАЛКИ

Цельносварной стык, разработанный в ИЭС им. Е. О. Патона в 60-х годах, предназначен для внедрения автоматической сварки. Размеры сварочных автоматов, созданных в ИЭС, определили размеры проемов в стенке и в верхнем поясе. Из-за того, что эти размеры указаны в СТО ГК «Трансстрой» 005 и СТО ГК «Трансстрой» 012, возник миф, что цельносварной стык в мостовых конструкциях может быть только таким.

Явными недостаткам цельносварного стыка ИЭС им. Е.О. Патона является неуравновешенность длины сварных швов в нижнем и верхнем поясе и неспособность поперечного сечения балки сопротивляться общим сварочных деформациям, поскольку нейтральная ось поперечного сечения при сварке второго вертикального соединения стенки находится всегда ниже зоны горения дуги (рис. 3). Деформации поперечной усадки сварного шва создают изгибающий момент, приводящий к искривлению балки в плоскости стенки. Геодезический контроль на реальных конструкциях показал, что при автоматической сварке второго вертикального шва возникают 90% сварочной деформации общего изгиба.

Для уменьшения сварочных деформаций общего изгиба рационально исключить вставку в верхнем поясе балки. Повсеместный отказ от автоматической сварки под флюсом с принудительным формированием шва

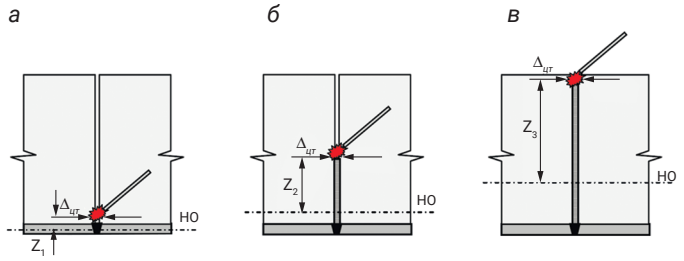

Рис. 3. Изменение положения нейтральной оси при сварке вертикального стыкового шва стенки: а — в начале шва; б — в середине шва; в — в конце шва

вертикальных соединений и применение взамен механизированной сварки в смеси газов, расширяющей возможности управления сварочными деформациями, позволяет отказаться и от вставки. Ожидаемым возражением здесь будет усложнение установки вставки в стенку при отсутствии вставки в верхнем поясе. Однако следует заметить, что в болтосварном стыке коробчатой балки еще сложнее установить стыковые накладки той же высоты, что и вставка в цельносварном стыке, и совместить монтажные отверстия.

Альтернативные конструкции цельносварных стыков уже встречались в практике нашей организации. В конструкции арочного моста через р. Кубань в г. Краснодаре (АО «Трансмост», ГИП В. В. Мартынов) стык верхнего пояса коробчатых главных балок и арки коробчатого сечения расположен по оси стыка, а вставка в стенках сохранена (рис. 4, а).

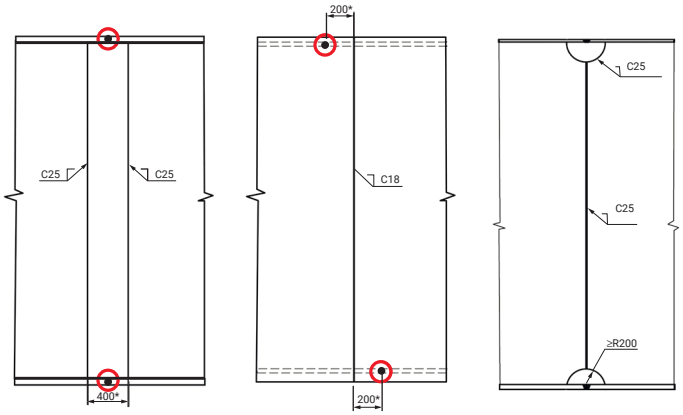

Рис. 4. Варианты конструкции цельносварных стыков главных балок и арок: а — стыковое соединение верхнего пояса по оси стыка; б — стыковые соединения поясов смещены в разные стороны от оси стыка (Z-образный стык); в — стыковые соединения поясов по оси стыка отделены полукруглыми вставками

В конструкции арки моста через р. Москву в створе Берегового проезда (ОАО «Институт Гипростроймост», ГИП М. А. Баранов) применен Z-образный стык без вставки в стенку, со стыковыми соединениями поясов, разнесенными в разные стороны от оси стыка (рис. 4, б). Для удобства сварки соединений поясов в коробчатом сечении арки ее нижний пояс должен быть размещен между вертикальными листами стенок, а верхний может иметь свесы или также должен быть расположен между листами стенок.

Возможен и вариант расположения стыковых соединений поясов в одном сечении со стыковым соединением стенки (рис. 4, в). В этом случае вблизи по-

ясов в стенке делают выкружки, в которые вваривают вставки. Как видно из рисунка, длина сварных швов полукруглых вставок значительно меньше, чем протяженность стыковых соединений вставки на полную высоту стенки.

Все варианты цельносварного стыка объединяет то, что в них исключается развитие магистральной трещины по всему сечению стыка балки в случае хрупкого разрушения стыкового шва в одном из поясов.

КЛАССИЧЕСКАЯ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ СВАРКИ ЦЕЛЬНОСВАРНОГО СТЫКА ГЛАВНОЙ БАЛКИ

Последовательность сварки возможных конструктивных вариантов цельносварного стыка и приемы управления сварочными деформациями в каждом случае индивидуальны.

В классическом варианте цельносварного стыка ИЭС им. Е. О. Патона при последовательной автоматической сварке соединений управление сварочными деформациями невозможно. На практике применяется лишь метод компенсации общих сварочных деформаций изгиба за счет создания предварительного перелома продольного профиля в стыке путем опускания свободного конца монтируемого блока. Величина опускания задается приближенно на основании личного опыта технолога, поскольку зависит от геометрических размеров блока и толщин свариваемых элементов. Хотя и здесь можно предложить упрощенную формулу расчета, которую используют в АО «Дороги и мосты», в виде

$$\Delta = L/H \times 4...6,$$

где L и H — длина и высота блока в мм, а множитель в диапазоне от 4 до 6 выбирают в зависимости от толщины поясов.

Но в силу приближенного назначения предварительного перелома профиля, а также из-за колебаний величины зазоров в соединении, случайных остановок сварочного автомата при сварке, величина общей сварочной деформации изгиба изменяется в достаточно широких пределах. Не редки случаи, когда после сварки балка в стыке приобретает обратный изгиб. В результате для данной технологии сварки устанавливают допускаемое отклонение высотных отметок продольного профиля балки после сварки ±30 мм.

УПРАВЛЕНИЕ СВАРОЧНЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ ПРИ СВАРКЕ ЦЕЛЬНОСВАРНОГО СТЫКА

Под управлением сварочными деформациями мы понимаем возможность за счет различных технологических приемов менять величину и направление общих и местных деформации изгиба и укорочения. В данной статье рассмотрим некоторые приемы управления сварочными деформациями общего изгиба балки.

Возможность управления сварочными деформациями общего изгиба балок вытекает из качественного анализа формулы для оценки кривизны нейтральной оси балки при выполнении продольных или поперечных сварных швов, расположенных с эксцентриситетом по отношению к нейтральной оси:

$$C = \mu q_{п} \frac{z}{J} = -3{,}53 \cdot 10^{-6} \cdot q_{п} \cdot \frac{z}{j}, \quad 1/\text{см},$$

где: $q_{п}$ — погонная энергия сварки; z — расстояние от оси шва до нейтральной оси поперечного сечения элемента; J — момент инерции поперечного сечения элемента.

На основе этой формулы можно разработать множество технологических приемов и применять их по отдельности или в разном сочетании для любого конкретного случая.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ШПРЕНГЕЛЯ

Приведенная формула подсказывает простейшее решение для уменьшения деформаций общего изгиба в балке с классическим цельносварным стыком при автоматической сварке вертикальных стыковых соединений стенки, а именно — формирование поперечного сечения в зоне монтажного стыка, обладающего моментом инерции и способного сопротивляться деформации путем установки на верхнем поясе шпренгелей (рис. 5). За счет подбора размеров шпренгеля регулирует-

Рис. 5. Установка шпренгелей в стыке главной балки высотой 6 м. Ворошиловский мост через р. Дон в Ростове-на-Дону

ся высота расположения нейтральной оси в стыке. В результате при сварке вертикального стыкового соединения стенки ниже нейтральной оси меняется направление деформации на противоположное, что компенсирует деформацию при сварке на участке выше нейтральной оси.

Установка шпренгеля не исключает необходимости создания предварительного перелома продольного профиля в стыке, поскольку в шпренгеле при сварке накапливается потенциальная энергия деформации сжатия, высвобождаемая при демонтаже шпренгеля. Но величина предварительного перелома в этом случае в два раза ниже, чем без шпренгеля. Следовательно, и отклонение высотных отметок продольного профиля при классической последовательности сварки соединений в стыке укладывается в допустимые значения ± 15 мм.

ПОРЯДОК СВАРКИ ЭЛЕМЕНТОВ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ В СТЫКЕ

Установка шпренгелей требует дополнительного расхода материалов, и потому целесообразно поискать другие способы формирования сечения с необходимой величиной момента инерции. Поскольку наибольшая величина деформации общего изгиба накапливается при сварке второго вертикального стыкового соединения стенки, то, заварив до сварки этого шва все соединения верхнего пояса, мы получим тот же эффект, что и при установке шпренгеля. Но в силу разного сечения верхнего и нижнего пояса нейтральная ось сечения будет смещена в сторону одного из поясов. В коробчатых сечениях с продольными ребрами положение нейтральной оси можно регулировать за счет оформления стыков продольных ребер верхнего или нижнего пояса. А если это недостаточно или невозможно, то уравновесить поперечное сечение можно за счет наложения на пояса дополнительного металла.

Например, так сделано при сварке монтажных соединений пролетного строения временного моста через р. Северский Донец на автодороге М-4, в поперечном сечении которого восемь главных балок Т-образного сечения с различной толщиной стенки и размерами нижнего пояса (рис. 6). Для каждого типоразмера главной балки были подобраны выравнивающие накладные элементы на верхний или нижний пояс и предусмотрена особая очередность ручной дуговой сварки второго вертикального стыкового шва стенки по одну или другую сторону от нейтральной оси. В результате геодезического контроля высотных отметок в 16 опорных сечениях главных балок только в одном узле отклонение высотной отметки составило 4 мм, в остальных 15 узлах было 0–2 мм.

Аналогичные решения были применены при сварке стыков арки моста через р. Кубань в Краснодаре, где для каждого стыка по длине арки подбирали выравнивающие накладные элементы, что позволило унифицировать расположение и очередность механизированной сварки участков стыкового шва в стенке для всех стыков. Отклонения высотных отметок в продольном профиле арки не превысили установленное в регламенте по сварке допускаемое отклонение ± 5 мм.

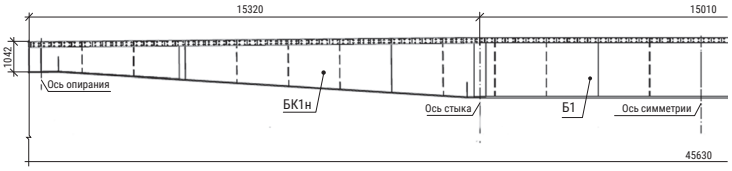

Рис. 6. Пролетное строение временного моста через р. Северский Донец на автодороге М-4 в Каменске-Шахтинском

Очередность сварки участков второго вертикального стыкового соединения стенки также вытекает из приведенной выше формулы. Участки, центр тяжести которых расположен наиболее близко к нейтральной оси, должны быть заварены в первую очередь. Это создает укорочение блока в продольном направлении, но минимизирует деформации общего изгиба балки.

При этом в арсенале технолога имеются приемы манипуляции сварочной дугой, индивидуальные для каждого участка, уменьшающие величину поперечной деформации при сварке стыкового шва. А уменьшив деформацию поперечной усадки шва, мы уменьшаем и ее накопление по длине шва, тем самым снижая величину изгибающего момента в балке под действием сварочных деформаций.

КОМПЛЕКСНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ ПРИЕМОВ УПРАВЛЕНИЯ СВАРОЧНЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ

Наибольшее количество технологических приемов компенсации и управления сварочными деформациями было применено при монтажной сварке пролетного строения и пилонов вантового пешеходного моста через р. Москву в Нагатинском затоне в г. Москве (АО «Проектирование мостов и тоннелей», ГИП С. М. Лютый, строительная организация — «Мостоотряд-6», филиал АО «Дороги и мосты»), см. рис. 7. Конструкция пролетного строения коробчатого сечения с ортотропной плитой прохожей части и нижней ребристой плитой отличалась большой шириной верхнего пояса 12 м и нижнего 6,3 м при высоте в береговых пролетах 800 мм и в русловых пролетах 1600 мм. Стыки продольных ребер верхнего пояса — 26 штук, нижнего пояса — 13 штук и на стенках.

Рис. 7. Пешеходный вантовый мост через р. Москву в Нагатинском затоне в г. Москве

Сборка пролетного строения выполнялась предварительно укрупненными блоками на полное поперечное сечение. Для каждого поперечного стыка были рассчитаны величины предварительного перелома продольного профиля, разработаны пять типов шпренгелей и схема их индивидуальной установки в стыке над каждой стенкой в отдельности, а также для каждого стыка разработана схема последовательности сварки каждого элемента поперечного сечения (рис. 8). Главным принципом сварки монтажных соединений во всех поперечных стыках, вызвавшим удивление многих специалистов, была первоочередная сварка монтажных соединений листа настила верхней ортотропной плиты и всех ее продольных ребер. Лишь после этого выполняли сварку соединений горизонтального листа нижней ребристой плиты и ее продольных ребер.

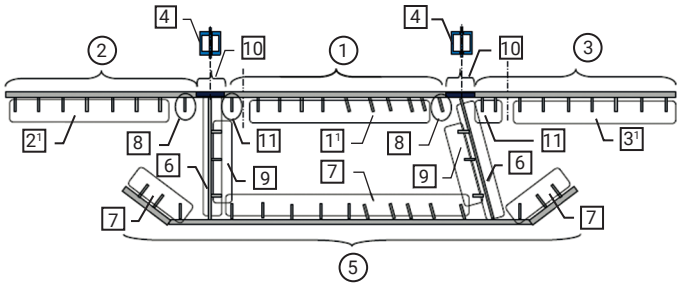

Рис. 8. Пример очередности сварки элементов поперечного сечения в одном из стыков пролетного строения

Вставки в стенки устанавливали в последнюю очередь через проемы в листе настила верхней ортотропной плиты (рис. 9), которые заваривали после завершения всех сварочных и отделочных работ внутри коробчатой балки.

Рис. 9. Заварка проемов в листе настила верхней ортотропной плиты над вставкой в стенки коробчатой балки

По данным геодезического контроля, во всех стыках отклонения высотных отметок продольного профиля не выходили за пределы расширенного для этого пролетного строения допускаемого диапазона ± 15 мм.

Рис. 10. Очередность сварки монтажных соединений пилонов

Нетрадиционное технологическое решение было применено для сварки монтажных соединений пилонов. Все сварочные и отделочные работы внутри коробчатого сечения пилонов выполнены через не заваренный проем в одной из стенок (рис. 10). Последняя стенка была заварена односторонними швами.

Технологическое отверстие в стенке пилона потребовалось лишь для того, чтобы на заваренной в последнюю очередь стенке выполнить сварку угловых швов роспусков. Для реализации такой технологии были изменены и согласованы с проектной организацией типы всех сварных швов в данном узле.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ограниченных рамках статьи рассмотрены лишь отдельные вопросы, касающиеся конструкции и технологии устройства монтажных соединений металлоконструкций стальных мостов.

В этой области технологического проектирования необходимо отказаться от предписывающих стандартов и провести переработку СП 46.13330 для того, чтобы уйти от устаревших стандартов уже несуществующей ГК «Трансстрой». Возможет и другой вариант решения нормативных задач, а именно разработка Стандартов организации ведущих мостостроительных компаний АО «Дороги и мосты», АО «Мостострой-11» (а может, и объединяющего их холдинга ГК «Нацпроектстрой»). Один из таких стандартов в 2021 году был разработан по заказу АО «Дороги и мосты» по неразрушающему контролю соединений стальных конструкций мостов.

Уже сейчас необходимо задуматься о мерах по предотвращению деградации технологической документации на объекты, разрабатываемые в ИП или во вновь создаваемых малых предприятиях. К сожалению, ситуация в этой области очень напоминает ситуацию 90-х годов в области проектирования, изготовления и строительства мостов. С той лишь разницей, что тогда существовали только два научных института, работающих в этой области и написавшие все стандарты ГК «Трансстрой».

В настоящее время научные отраслевые институты, которые и создавали с 50-х годов индустрию сварки в мостостроении, потеряли свою ведущую роль в результате реорганизаций и ухода на пенсию специалистов. Ведущие специалисты сейчас рассеяны по проектным институтам и научно-производственным центрам. Но было бы полезным для отрасли собрать из них авторский коллектив для изменения идеологии создания нормативных документов.