

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ В ЗОНЕ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ДЛЯ РАМЫ АВТОПОГРУЗЧИКА

Щербаков А.П.¹, д.т.н. Пушкарев А.Е.¹, к.т.н Манвелова Н.Е.²

¹Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет,
Санкт-Петербург, Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
им. проф. М.А. Бонч-Бруевича, Санкт-Петербург, Россия
aleksandr.pav@list.ru

В контексте всевозрастающего усложнения как самих конструкций строительных машин и механизмов, так и условий их эксплуатации актуализируются вопросы достижения надежности и долговечности основных сварных соединений, поскольку качество сварного соединения определяет работоспособность узла и машины в целом. В связи с этим обеспечение удовлетворительной свариваемости и получение более качественного сварного соединения – необходимые условия повышенной прочности для сварных конструкций, на которых монтируют рабочие органы строительных машин, а также механизмы и их сборочные единицы. В статье рассмотрены ключевые вопросы повышения надежности сварных конструкций строительных машин. Отдельное внимание уделено проблемам усиления опасных зон, а также восстановления таких зон в сварных конструкциях строительных машин. В качестве примера в статье рассмотрена рама автопогрузчика, оснащенного манипулятором с гидравлическим приводом. Особый акцент сделан на том, что при расчете расстояний между сварными швами необходимо учитывать его зависимость от режимов сварки и параметров рамных конструкций строительных машин. Оценка напряженно-деформированного состояния рамы выполнялась с помощью моделирования состояния конструкции в различных ситуациях. С использованием программ конечно-элементного анализа установлены возможности снижения локальных напряжений, превышающих предел прочности материала и вызывающих угрозу появления микротрещин, за счет приварки накладок короткими швами в шахматном порядке, а также нахождения оптимальных параметров сварных швов с учетом концентрации напряжений. Также в процессе исследования установлено, что наибольшее влияние на величину коэффициента концентрации напряжений оказывает радиус перехода от основного металла к металлу сварного шва. Увеличение радиуса перехода от 0,1 мм до 1,0 мм позволяет уменьшить величину коэффициента концентрации напряжений.

Ключевые слова: надежность сварных конструкций, строительные машины, шов, напряжение, накладки.

Введение

В настоящее время широкий круг машиностроительных конструкций, к числу которых относятся и строительные машины, можно классифицировать как сложные системы, проектирование которых требует от специалистов максимально полного учета специфики их работы в нормальных и экстремальных режимах [1]. Основные несущие конструкции (тяговые, толкающие и опорные рамы) строительных машин воспринимают статические и динамические нагрузки, в результате которых в процессе эксплуатации на определенных участках возникают трещины и другие повреждения.

Нахождение режимов эффективной работы конструкций, одним из основных элементов которых служат сварные соединения, невозможно без анализа напряженно-деформированного состояния их составляющих под действием механических и термических нагрузок. Как правило, на этапе проектирования оценка несущих конструкций включает расчеты на прочность наиболее нагруженных сварных узлов для анализа надежности и долговечности конструкции в целом. Однако сложная форма изделия и состояние нагрузки не всегда дают возможность аналитически определить максимальные напряжения в реальных конструктивных элементах строительных машин.

Проблемой усиления опасных зон путем установки специальных укрепляющих элементов, а также восстановления таких зон с возникнувшими трещинами, является опасность повреждения основного металла рамы за счет негативных процессов, которые могут иметь место при сварке [2]. К таким негативным процессам относят мощные тепловые поля от сварочной дуги, напряжения и деформации, возникающие при этом, и тому подобное. Мощные тепловые поля могут вызвать в зоне термического влияния перераспределение химических элементов и рекристаллизацию материала рамной конструкции [3].

Таким образом, указанные обстоятельства обуславливают актуальность, теоретическую и практическую значимость выбранной темы исследования.

Разработкой основных алгоритмов оценки прочности сварного соединения под воздействием различных технологических, конструктивных и эксплуатационных факторов занимались многие отечественные и зарубежные ученые. Также накоплено весомое научное наследие в области разработки систем автоматизированного проектирования, сфера применения которых охватывает практически весь жизненный цикл сварного изделия [4, 5].

Но, вместе с тем, не до конца решенными на сегодняшний день остаются вопросы обеспечения точности и корректности вычислений несущих рамных металлоконструкций машин с позиции достижения максимальной достоверности количественной оценки компонентного состава суммарных напряжений, что позволит обосновать направления повышения их надежности [6].

Итак, с учетом обозначенного цель статьи заключается в определении возможностей повышения надежности сварных конструкций строительных машин на основании исследования изменений напряжений и деформаций деталей, изучения влияния формы и размеров накладок, а также оптимальных параметров сварных швов на усиление прочности конструкции.

Моделирование работы рамы автопогрузчика

В зависимости от условий эксплуатации и марки автомобилей имеют место различные схемы нагруженности их основных несущих частей. Например, рамы автомобилей, перевозящих грузы, центр тяжести которых нахо-

дится на значительной высоте, разрушаются преимущественно от действия крутильных моментов. Для других автомобилей основными факторами, вызывающими разрушение рамы, является действие поперечных сил или их сочетание с крутящим моментом.

В качестве примера для оценки прочности сварного соединения под воздействием различных технологических, конструктивных и эксплуатационных факторов рассмотрим раму автопогрузчика КаМАЗ, оснащенного манипулятором с гидравлическим приводом. Процесс перемещения груза в кузов или из него приводит к возникновению дополнительных нагрузок в определенной области рамы, требующих особого внимания. Игнорирование этих дополнительных нагрузок вызывает повреждение трещинами в зоне концентрации нагрузок [7, 8].

Для определения участков рамы, которые требуют более детального исследования, была разработана трехмерная модель конструкции (рамы) и установлены данные об эксплуатационных нагрузках машины. Оценка напряженно-деформированного состояния рамы выполнялась на ее 3-D модели, которая была разбита на пространственные твердотельные конечные элементы (КЭ) в виде тетраэдров с шестью степенями свободы в каждом узле. Поверхности КЭ моделировались полиномами на основе параболических функций. Элемент разбиения имеет размеры 30-50 мм с редуцированием в зонах концентраторов напряжений. Элементная модель включает 260 409 конечных элементов. В модели учтены крепления рессор и кузова, которые являются концентраторами напряжений, а также конструкция манипулятора (рис. 1).

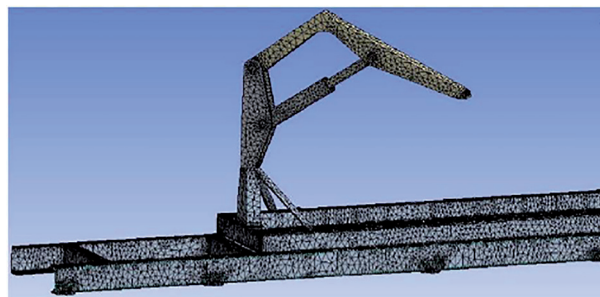


Рис. 1. Элементная модель рамы автомобиля с манипулятором

Для всех расчетных комбинаций нагрузок рама закрепляется в зонах рессорных опор, передняя стенка ограничивает перемещение

в продольном направлении, боковая в поперечном относительно продольной оси автомобиля. Схема закрепления рамы и нагрузок показана на рис. 2.

Теперь оценку напряженно-деформированного состояния рамы выполним с помощью моделирования состояния конструкции в различных ситуациях: в процессе подъема и поворота стрелы гидроманипулятора; при статических испытаниях автомобиля с массой груза (6,5 т) с дополнительной нагрузкой на полном вылете стрелы гидроманипулятора; с учетом ослабления конструкции лонжерона рамы из-за наличия трещины в зоне опоры гидроманипулятора; после заваривания трещины; после установки накладки.

Полученные результаты расчетов могут быть представлены графически и выводиться в виде массива данных для указанных точек в любом месте модели рамы.

Графический результат выводится в виде различной окраски поверхности модели рамы. Цвет указывает на определенный диапазон значений исследуемого параметра.

Фрагмент результата расчета с нанесением полей напряжений отображен на рис. 3.

С использованием *Simufact Welding* определим площади поверхностей с разной степенью напряженности (см. рис. 4).

Установлено, что площадь поверхностей с напряжениями, которые способны вызвать появление трещин, составляют 12 %.

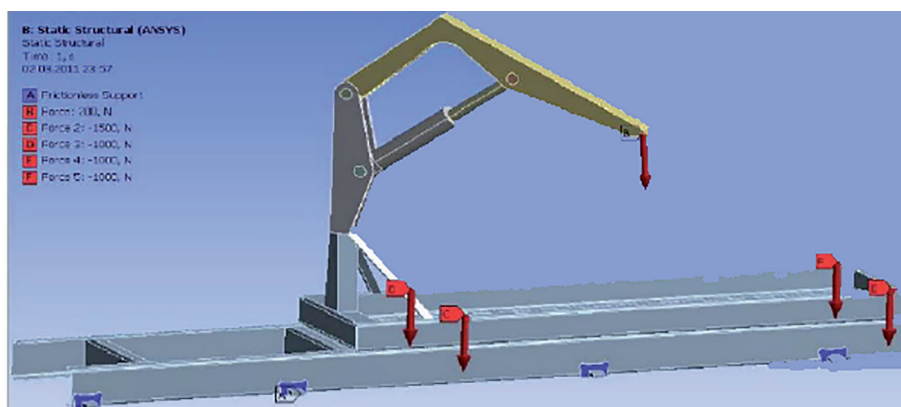


Рис. 2. Схема сил взаимодействия рамы с подвесками и прилагаемые нагрузки

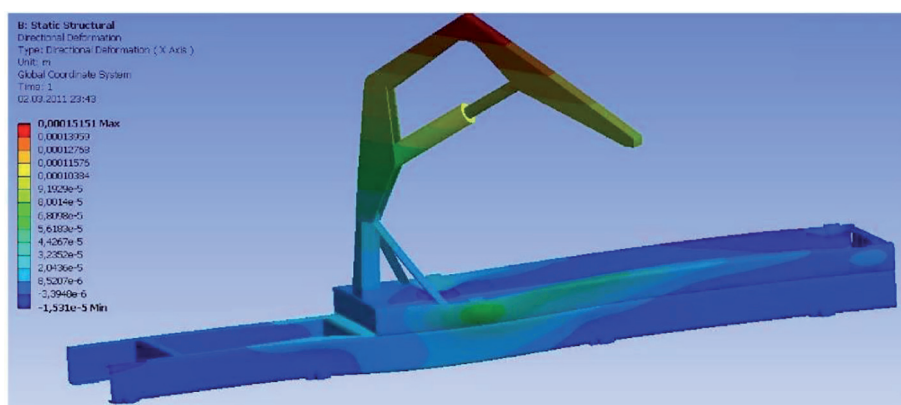


Рис. 3. Напряженно-деформированное состояние рамы с грузом 65 кН на кузове и 15 кН на полном вылете стрелы гидроманипулятора

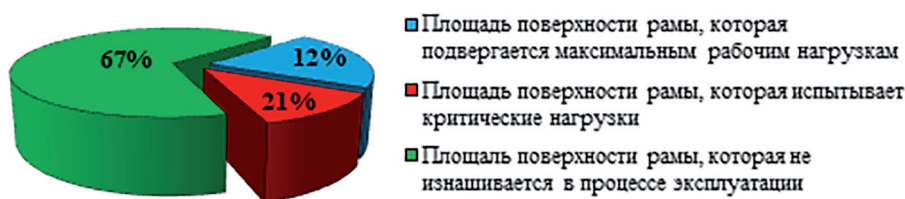


Рис. 4. Нагрузка рабочих поверхностей рамы исследуемого автомобиля

Также результаты эксперимента позволили установить, что концентрация напряжений обусловлена в первую очередь формой сварных швов и более всего проявляется в угловых сварных швах и крестообразных соединениях по сравнению со стыковыми соединениями.

С целью предотвращения появления этих трещин или их ремонта, по мнению автора, целесообразно использовать методы заваривания трещин, которые образовались, с последующим установлением специальных накладок для усиления с обеих сторон.

Монтаж накладок выполняется путем наложения параллельных швов (рис. 5).

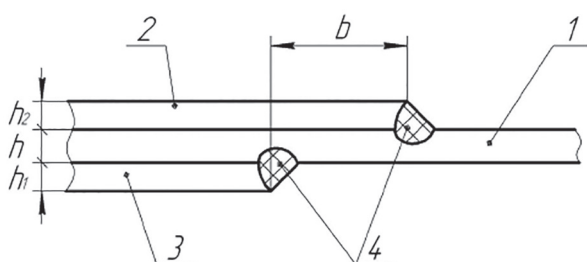


Рис. 5. Расположение сварных швов в месте усиления:

1 – металл рамы; 2,3 – металл элементов усиления; 4 – сварной шов

В процессе сварки происходит распространение теплоты по всему объему материала детали [9]. Это объясняется значительной продолжительностью действия и мощностью источника теплоты (сварочная дуга и ванна расплава).

Форма и размеры изотерм асимметричны и существенно меняются в зависимости от суммарной толщины сечения, расстояния между сварными швами и времени, которое проходит между прохождением сварной дуги через точки пересечения произвольно построенной нормали и оси сварных швов [10]. Благодаря относительно небольшому расстоянию между сварными швами они подвергаются предварительному и сопутствующему подогреву, которые в практике считаются одними из самых действенных технологических средств, обеспечивающих убывание остаточных напряжений и снижающих вероятность появления холодных трещин [11, 12]. Их появление связано с наличием в конструкционных сталях этого класса таких легирующих элементов, как марганец, хром, молибден и др., снижающих температурный интервал γ - α преобразования.

Поэтому при сварке в металле зоны термического влияния возрастает вероятность образования закалочных структур и снижается сопротивляемость образованию холодных трещин.

В случае достижения значений внутренних напряжений в материале выше предела текучести заготовка начинает пластически деформироваться [13].

Основными геометрическими параметрами углового сварного шва, изменение которых влияет на распределение локальных напряжений являются: выпуклость или вогнутость сварного шва, асимметрия катетов, радиус перехода от основного металла к металлу шва, изменение величины катета.

Определение коэффициента концентрации напряжений (ККН) в сварных соединениях

Методы определения ККН для крестообразных соединений обусловлены в первую очередь их конструкцией. Поэтому в основе расчетного метода определения ККН используются те же зависимости, что и для тавровых соединений. При этом повышение концентрации напряжений, вызванное распределением силовых потоков через угловые швы, необходимо учитывать с помощью специально введенного коэффициента, величина которого непосредственно зависит от толщины свариваемых пластин, ширины зазора и катета шва.

Большинство работ, связанных с определением влияния величины ККН, действующих в сварных соединениях, основаны на использовании метода конечных элементов (МКЭ). Анализ данных, полученных в результате использования МКЭ, свидетельствует о том, что существующие аналитические зависимости могут быть использованы только для определения конструктивного ККН в соединениях, а ККН, связанный с микрогеометрическими параметрами шва, для каждого случая определяется отдельно.

Исследования, посвященные изучению ККН в стыковых, тавровых и крестовых соединениях, были выполнены также с применением метода конечных элементов, что позволило проанализировать большое количество числовых экспериментов.

Для случая осевого растяжения крестовых сварных соединений выведены следующие эмпирические зависимости:

$$\alpha_{\delta} = 1 + 0,494 \left\{ \frac{(\sin \theta)^{0,83}}{\left[\rho \left(\frac{1}{s} + \frac{0,96}{k} + \frac{0,076}{k \cdot \operatorname{tg} \theta} \right) \right]^{0,55}} + \frac{1}{\left[\rho \left(\frac{1}{s} + \frac{0,96}{k + \frac{s}{2}} + \frac{0,076}{H} \right) \right]^{0,55}} - \frac{1}{\left[\rho \left(\frac{1}{s} + \frac{0,96}{k} + \frac{0,076}{H} \right) \right]^{0,55}} \right\}$$

В формуле приняты условные обозначения в соответствии с ГОСТ 5264-80.

Для исследования локального напряженно-деформированного состояния и величины коэффициента концентрации напряжений разработаем плоскую модель поперечного сечения крестового сварного соединения. Исследуемый сварной образец имеет 2 плоскости симметрии, при этом нагрузка прикладывается симметрично с обеих сторон от любой плоскости симметрии, поэтому для уменьшения затрат времени на вычисления расчеты выполняли для 1/4 модели с назначением граничных условий симметрии относительно направлений OX и OY (рис. 6).

Расчетные модели сварных соединений создавались с использованием кубических элементов полного интегрирования второго порядка CPS8.

Распределенная нагрузка, приложенная к торцу модели, задана так, чтобы номинальные напряжения, действующие в местах, отдаленных от места концентрации напряжений, составили 1 Мпа. Таким образом, величина напряжений в месте концентрации будет характеризовать величину коэффициента концентрации напряжений.

В рамках исследования рассчитаем сварные соединения с размерами катетов углового шва 3 и 4 мм.

Влияние номинальных размеров катета шва определяется для величин, рекомендованных ГОСТ 14771-76: 3 мм (минимальный размер

катета углового шва для сталей с границей текучести до 400 МПа) и 4 мм (максимальный размер катета не должен превышать 1,2 толщины более тонкого элемента)

Для исследования влияния геометрии шва в зоне перехода от металла шва к основному металлу, целесообразно использовать обобщенные данные изменения радиусов переходов в разных сварных соединениях, выполненных дуговой сваркой в активных газах. Согласно этим данным, размеры радиусов перехода могут быть в диапазоне от 0,1 до 1,0 мм. Соотношение катетов сварного шва 1: 1 и 1: 1,2.

Моделирование напряженно-деформированного состояния сварного узла выполнялось для стали 09Г2С и проволоки Св-08Г2С (см. табл. 1, 2)

Таблица 1

Химический состав стали 09Г2С

Содержание элементов, мас. %	09Г2С
C	0,12
Mn	0,5...0,8
Si	1,3...1,7
B	–
Nb	–
Cr	≤ 0,3
Ni	≤ 0,3
W	1,1
Ti	–
Cu	≤ 0,3
V	–
N	–
P	0,030
S	0,035

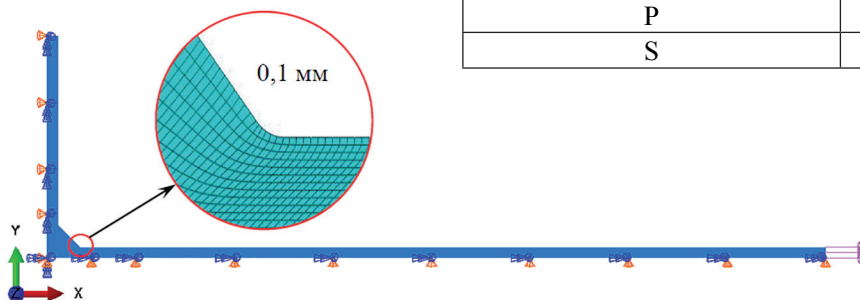


Рис. 6. Конечно-элементная модель сварного узла с граничными условиями симметрии

Таблица 2

Химический состав наплавленного металла

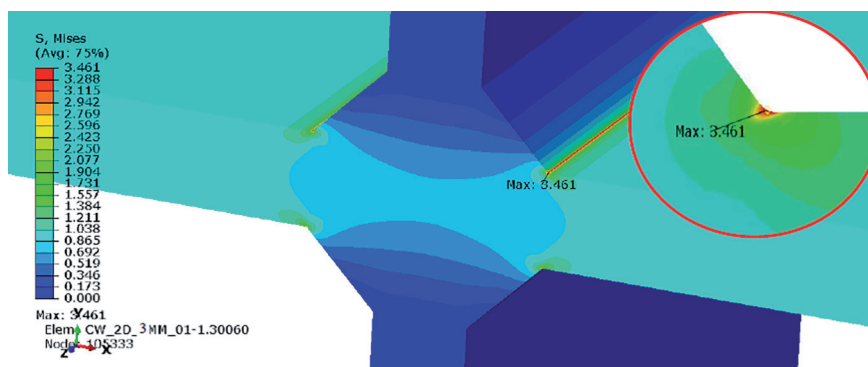
Содержание элементов, мас. %	Св-08Г2С
C	0,07
Mn	1,3
Si	0,7
Cr	0,007
Ni	0,006
Mo	0,007
Cu	0,22
Ti	–
P	0,012
S	0,013

Теперь построим графики распределения эквивалентных напряжений для определения концентрации напряжений и расстояния, в рамках которых геометрическая форма шва не влияет на распределение локальных напряжений.

Характер воздействия номинальных размеров катета шва определим для величин 3 мм (минимальный размер катета углового шва для сталей с пределом текучести до 400 МПа) и 4 мм (максимальный размер катета не должен

превышать 1,2 толщины более тонкого элемента – $1,2 \text{ мм} = 4,8 \text{ мм}$). Влияние размера катета в крестовом сварном соединении при значениях 3 и 4 мм на характер распределения локальных напряжений продемонстрировано на рис. 7, 8.

Полученные графические модели показывают, что увеличение величины катета от 3 до 4 мм, при $r = 0,1 \text{ мм}$, приводит к увеличению концентрации напряжений у корня шва на 4,6 % с 3,5 до 3,6 соответственно. В условиях роста радиуса перехода до $r = 0,5 \text{ мм}$ разница между коэффициентами концентрации напряжений для катетов 3 и 4 мм составляет 1 %, а при $r = 1,0 \text{ мм}$ – 0,5 %. Увеличение радиуса перехода от 0,1 мм до 0,5 мм и 1,0 мм, для двух размеров катетов приводит к тому, что коэффициент концентрации напряжений в крестовом сварном соединении уменьшается на 34 % и 46 % соответственно. Локальное увеличение напряжений наблюдается вблизи линии перехода от основного металла к металлу шва и на расстоянии 1,5 ... 1,8 мм от линии сплавления. Величина выпуклости и вогнутости углового шва составляет 30 % от размера катета (1,2 мм для $k = 4 \text{ мм}$), что соответствует

Рис. 7. Распределение эквивалентных напряжений для $K = 3 \text{ мм}$ и $r = 0,1 \text{ мм}$ Рис. 8. Распределение эквивалентных напряжений для $K = 4 \text{ мм}$ и $r = 0,1 \text{ мм}$

максимальному их значению в соответствии с ГОСТ.

Увеличение усиления углового шва (выпуклости) до максимального значения 30 % от величины катета $k = 4$ мм приводит к снижению напряжений в шве за счет увеличения площади наплавленного металла. Однако при этом величина коэффициента концентрации напряжений в местах перехода от основного металла к металлу шва увеличивается до величин 1,9, 2,4 и 4,3 для радиусов перехода 1,0 мм, 0,5 мм и 0,1 мм соответственно, что на 2 %, 4,7 % и 20 % больше по сравнению с катетом без усиления. При увеличении радиуса перехода величина коэффициента концентрации напряжений уменьшается в 1,8 и 2,3 раз. Локальная концентрация напряжений наблюдается на расстоянии до 1,8 мм от линии сплавления.

В то же время вогнутость углового шва до максимального значения 30 % от размера катета приводит к значительному снижению локальных напряжений. Максимальное значение коэффициента концентрации напряжений составляет 1,8 при $r = 0,1$ мм и уменьшается до величин 1,7 при $r = 0,5$ мм и 1,5 при $r = 1,0$ мм.

Асимметрия углового шва почти не уменьшает концентрацию напряжений. Так, в зоне сплавления величина коэффициента концентрации напряжений составляет 3,4, 2,3 и 1,8 для радиусов перехода 0,1 мм, 0,5 мм и 1,0 мм соответственно.

Влияние асимметрии имеет место только при малых радиусах перехода $r \leq 0,5$ мм и составляет от $\sim 5\%$ до 2,4 %. При $r > 0,5$ мм уменьшение концентрации не превышает 1 %. Увеличение радиуса от 0,1 мм до 0,5 мм ведет к уменьшению напряжений на 34,6 %, а увеличение радиуса до 1,0 мм - на 46,4 %. Концентрация напряжений имеет место на расстоянии до 1,6 мм от линии сплавления.

Величины коэффициентов концентрации напряжений, рассчитанные для различных комбинаций конструктивных факторов сварных швов крестового сварного соединения, представлены в табл. 3.

Конструктивный фактор определяется типом сварной конструкции и сопровождающими ее параметрами (форма и пространственное расположение свариваемых элементов, масса, толщина, жесткость).

Заключение

Таким образом, установлено, что при расчете расстояний между сварными швами необходимо учитывать его зависимость от режимов сварки и параметров рамных конструкций. Повышение надежности сварных конструкций строительных машин предусматривает приварку накладок короткими швами. Также установлено, что наибольшее влияние на величину коэффициента концентрации напряжений оказывает радиус перехода от основного металла к металлу сварного шва. Увеличение радиуса перехода от 0,1 мм до 1,0 мм позволяет уменьшить величину коэффициента концентрации напряжений.

Асимметрия катетов сварного шва при соотношении величин катетов $K1:K2 = 1:1,2$ приводит к уменьшению величины ККН на 5 %, 2,4 % и 0,9 % по сравнению с равнокатетным швом для радиусов перехода 0,1; 0,5; 1,0 мм соответственно.

Использование разработанных конечно-элементных моделей позволяет исследовать кинетику напряжений, деформаций и перемещений сварного крестового соединения, прогнозировать уровень остаточных напряжений с учетом жесткости сварного узла.

Перспективы дальнейших исследований заключаются в разработке конечно-элементной модели сварного соединения, которая будет учитывать жесткость сварного узла, геоме-

Таблица 3

Размер коэффициентов концентрации напряжений для конструктивных факторов

Конструктивный фактор К (величины катетов), мм		Коэффициенты концентрации напряжений			Уменьшение, %
		Радиус перехода r , мм			
		0,1	0,5	1,0	
K1 = K2	3	3,5	2,2	1,8	46,5
	4	3,6	2,3	1,8	48,6
K1:K2	4:4,8	3,4	2,3	1,8	46,4
Выпуклость 0,3·K1	4	4,3	2,4	1,9	56,3
Вогнутость 0,3·K1	4	1,8	1,7	1,5	14,2

трию конструкции, изменение теплофизических и механических свойств основного металла и сварочных материалов, параметры сварки, технологическую последовательность сварки угловых швов.

Литература

1. Мухаметшина Р.М. Климатическая надежность дорожно-строительных машин // *Механизация строительства*. 2016. Т. 77. № 8. С. 40–43.
2. Лоза А.В., Чигарев В.В., Серенко А.Н. Повышение эксплуатационной стойкости чаши шлаковоза при создании лито-сварной конструкции // *Сварочное производство*. 2017. № 6. С. 48–52.
3. Федосеева Е.М. Свойства и структурообразование в сварных швах при сварке стали X65 по разным технологиям // *Металлург*. 2016. № 1. С. 65–70.
4. Федоров С.К. Упрочняющее электромеханическое восстановление посадочных поверхностей валов под подшипники качения // *Международный технико-экономический журнал*. 2018. № 2. С. 72–77.
5. Гордиенко В.Е., Абросимова А.А., Трунова Е.В., Корнеева Е.А., Щербаков А.П., Горшков В.Н. Влияние структурных параметров конструкционных сталей на результаты оценки напряженно-деформированного состояния сварных металлоконструкций // *Вестник гражданских инженеров*. 2016. № 6 (59). С. 194–199.
6. Гордиенко В.Е., Абросимова А.А., Трунова Е.В., Щербаков А.П. К выбору конструкционных сталей для изготовления сварных металлических конструкций строительных машин // *Вестник гражданских инженеров*. 2017. № 6 (65). С. 233–238.
7. Гордиенко В.Е., Абросимова А.А., Щербаков А.П., Трунова Е.В. К вопросу проведения коррозионных испытаний конструкционных сталей с различной исходной микроструктурой // *Вестник гражданских инженеров*. 2018. № 6 (71). С. 142–148.
8. Mousavizade S.M.; Pouranvari M. Projection friction stir spot welding: a pathway to produce strong keyhole-free welds, *Science and technology of welding & joining*, 2019, Vol. 24, No. 3, pp. 256–262.
9. Xiong, Xuhai, Nishino, Shintaro Effect of chemical etching of resistance wire surface on the strength and failure mechanism of the resistance-welded joint of polyetherimide composites, *Journal of applied polymer science*, 2019, Vol. 136, pp. 78–92.
10. Priymak, Elena; Atamashkin, Artem; Stepanchukova, Anna Effect of Post-Weld Heat Treatment

on The Mechanical Properties and Mechanism of Fracture of Joint Welds Made by Thompson Friction Welding, *Materials today: proceedings*, 2019, Vol. 11, pp 295–299.

11. Huang, Yongxian, Miled, A. Joint formation mechanism of high depth-to-width ratio friction stir welding, *Journal of materials science & technology*, 2019, Vol. 35, pp 1261–1269.
12. Shen, Z., Karpat, Fatih Interfacial bonding mechanism in Al/coated steel dissimilar refill friction stir spot welds, *Journal of materials science & technology*, 2019, Vol. 35, pp 1027–1038.
13. Tao, Wang, Yong Mao Influence mechanism of welding time and energy director to the thermoplastic composite joints by ultrasonic welding, *Journal of manufacturing processes*, 2019, Vol. 37, pp. 196–202.

References

1. Mukhametshina R.M. Climatic reliability of road-building machines. *Mehanizatsiya stroitelstva*. 2016.V. 77. No. 8. pp. 40–43 (in Russ.).
2. Loza A.V., Chigarev V.V., Serenko A.N. Improving the operational stability of the slag carrier bowl when creating a cast welded structure. *Svarochnoe proizvodstvo*. 2017. No. 6. pp. 48–52 (in Russ.).
3. Fedoseeva EM Properties and structure formation in welds during welding of X65 steel according to different technologies. *Metallurg*. 2016. No. 1. pp. 65–70 (in Russ.).
4. Fedorov S.K. Strengthening the electromechanical restoration of shaft seating surfaces for high-quality bearings. *Mezhdunarodnyj tehniko-ekonomicheskij zhurnal*. 2018. No2. pp. 72–77 (in Russ.).
5. Gordienko V.E., Abrosimova A.A., Trunova E.V., Korneeva E.A., Scherbakov A.P., Gorshkov V.N. The influence of structural parameters of structural steels on the results of the assessment of the stress-strain state of welded metal structures. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2016. No. 6 (59). P. 194–199 (in Russ.).
6. Gordienko V.E., Abrosimova A.A., Trunova E.V., Scherbakov A.P. To the selection of structural steels for the manufacture of welded metal structures of building machines. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2017. No. 6 (65). P. 233–238 (in Russ.).
7. Gordienko V.E., Abrosimova A.A., Scherbakov A.P., Trunova E.V. On the issue of corrosion testing of structural steels with different initial microstructures. *Vestnik grazhdanskikh inzhenerov*. 2018. No 6 (71). P. 142–148.
8. Mousavizade S. M.; Pouranvari M. Projection friction stir spot welding: a pathway to produce strong keyhole-

- free welds, *Science and technology of welding & joining*. 2019, Vol. 24, No. 3, pp 256–262.
9. Xiong, Xuhai, Nishino, Shintaro Effect of chemical etching of resistance wire surface on the strength and failure mechanism of the resistance-welded joint of polyetherimide composites, *Journal of applied polymer science*, 2019, Vol. 136, pp. 78–92.
 10. Priymak, Elena; Atamashkin, Artem; Stepanchukova, Anna Effect of Post-Weld Heat Treatment on The Mechanical Properties and Mechanism of Fracture of Joint Welds Made by Thompson Friction Welding, *Materials today: proceedings*, 2019, Vol. 11, pp. 295–299.
 11. Huang, Yongxian, Miled, A. Joint formation mechanism of high depth-to-width ratio friction stir welding, *Journal of materials science & technology*, 2019, Vol. 35, pp. 1261–1269.
 12. Shen, Z., Karpat, Fatih Interfacial bonding mechanism in Al/coated steel dissimilar refill friction stir spot welds, *Journal of materials science & technology*, 2019, Vol. 35, pp. 1027–1038.
 13. Tao, Wang, Yong Mao. Influence mechanism of welding time and energy director to the thermoplastic composite joints by ultrasonic welding, *Journal of manufacturing processes*, 2019, Vol. 37, pp. 196–202.

ASSESSMENT OF THE STRESS-STRAIN STATE IN THE WELD ZONE FOR THE FORKLIFT TRUCK FRAME

A.P. Shcherbakov¹, DSc in Engineering **A.E. Pushkarev¹**, PhD in Engineering **N.E. Manvelova²**

¹Saint-Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering, Saint-Petersburg, Russia

²Bonch-Bruевич Saint Petersburg State University of Telecommunications, Saint-Petersburg, Russia
aleksandr.pav@list.ru

In the context of an ever-increasing complication of both the construction of building machines and mechanisms and the conditions of their operation, the issues of achieving reliability and durability of the main welded joints are actualized, since the quality of the welded joint determines the operability of the assembly and the machine as a whole. In this regard, ensuring satisfactory weldability and obtaining a better welded joint are necessary conditions of increased strength for welded structures on which the working bodies of construction machinery, as well as mechanisms and their assembly units are mounted. The article addresses the key issues of improving the reliability of welded structures of building machines. Special attention is paid to the problems of strengthening hazardous areas, as well as the restoration of such zones in the welded structures of construction machinery. As an example, the article considers the frame of a forklift truck equipped with a hydraulic manipulator. Particular emphasis is placed on the fact that when calculating the distances between welds, it is necessary to take into account its dependence on the welding conditions and the parameters of the frame structures of construction machines. The stress-strain state of the frame was evaluated by modeling the state of the structure in various situations. Using finite element analysis programs, it was found that it is possible to reduce local stresses that exceed the tensile strength of the material and cause the risk of microcracks due to the welding of overlays with short seams in a checkerboard pattern, as well as finding the optimal parameters of the welds taking into account the stress concentration. It was also established during the study that the greatest influence on the value by stress concentration factors is exerted by the radius of the transition from the base metal to the weld metal. An increase in the transition radius from 0.1 mm to 1.0 mm makes it possible to reduce the value of the stress concentration coefficient.

Keywords: reliability of welded structures, construction machinery, seam, tension, overlays.