

УДК 621.791.052

*В. А. Одегов, М. А. Мельчаков, Л. И. Еноктаева*

## РАСЧЕТ СВАРНОГО СОЕДИНЕНИЯ ВЕРХНЕГО ПОЯСА РИГЕЛЕЙ ГИБКОЙ И ЖЕСТКОЙ ОПОРЫ

Для демонтажа и дальнейшей перевозки по железной дороге козлового крана МККС-42К выполнен рез соединения ригелей с мостом. Для восстановления соединений верхнего пояса ригелей с мостом крана, произведен расчет сварных соединений, обеспечивающих прочность металлоконструкции. Прочностной расчет данных соединений вызвал ряд затруднений. В статье рассмотрен самый неблагоприятный вариант, тавровый сварочный шов, который выполнен без подготовки кромок, при этом его расчет на прочность выполняется по касательным напряжениям, а стыковой – по нормальным, сложение которых невозможно. Данное затруднение можно обойти, выполнив расчет сварного соединения труб верхнего пояса ригелей по допускаемым нагрузкам, действующим вдоль продольной оси ригеля.

*Ключевые слова:* сварочный шов, тавровый, угловой, козловой кран, реконструкция, соединения, допускаемые нагрузки, касательные и нормальные напряжения.

Ранее выполнен расчет по реконструкции металлической конструкции соединений ригелей с мостом козлового контейнерного крана типа МККС-42К [1, 2]. По результатам которого определены нагрузки в месте расщепления верхнего пояса ригелей гибкой и жесткой опоры используя метод сквозного сечения.

$$S_{1 \text{ гиб.опоры}} = -2765,3 \text{ кН};$$

$$S_{1 \text{ жест.опоры}} = -2903,3 \text{ кН}.$$

Полученный знак минус усилия  $S_1$  в трубах верхнего пояса ригелей, указывает на то, что в них возникает сжатие.

При этом  $S_{1 \text{ жест.опоры}}$  приходится на два верхнего пояса ригелей жесткой опоры (2903,3 кН), а  $S_{1 \text{ гиб.опоры}}$  – на один верхний пояс ригелей гибкой опоры. Соответственно, что наиболее нагруженным является верхний пояс ригелей гибкой опоры с усилием в ней  $S_{1 \text{ гиб.опоры}} = 2765,3$  кН, для которого и будем выполнять расчет сварного соединения, работающего на сжатие. Исходя из проведенных расчетов и по конструктивным соображениям рекомендуется (рис. 1):



а – соединение ригеля жесткой опоры  
с мостом крана



б – соединение ригеля гибкой опоры  
с мостом крана



в – соединение верхнего пояса ригелей с мостом крана

Рис. 1 – Крепление ригелей к мосту крана

1. Установка новых болтов во фланцевых соединениях креплений ригелей к мосту крана;
2. Провести расчет и обоснование возможности проведения стыкового сварочного шва с последующим усилением дополнительной трубы.

Общим исходным условием проектирования сварных соединений является условие равнопрочности шва и соединяемых элементов.

Соединение верхнего пояса ригелей с мостом крана выполнено посредством фланцевого крепления (тавровый сварочный шов) и стыкового сварочного шва в месте реза усиливающей (дополнительной) трубы (рис. 1).

Прочностной расчет данных соединений вызвал ряд затруднений. При самом неблагоприятном варианте выполнения таврового сварочного шва без подготовки кромок расчет выполняется по касательным напряжениям, а стыкового – по нормальным, сложение которых невозможно. Данное затруднение можно обойти, выполнив расчет сварного соединения труб верхнего пояса ригелей по допускаемым нагрузкам, где условие прочности запишется как:

$$S_1 \leq [S_{1 \text{ стык.шва}}] + [S_{1 \text{ тавр.шва}}],$$

где  $[S_{1 \text{ стык.шва}}]$  – допустимая нагрузка стыкового сварочного шва в месте реза усиливающей трубы, кН;

$[S_{1 \text{ тавр.шва}}]$  – допустимая нагрузка таврового сварочного шва в месте соединения с фланцем, кН.

Стыковые соединения могут разрушаться по шву, в месте примыкания шва к деталям, в зоне термического влияния. Зоной термического влияния называется участок, где изменяются механические свойства металла.

Практикой установлено, что при качественном выполнении сварки, разрушение происходит преимущественно в зоне термического влияния. Расчеты сварных соединений встык при сжатии рассчитывают по формуле (условие прочности стыкового сварочного шва)

## Технические науки

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{S_{1 \text{ стык.шва}}}{A_{\text{ст.шва}}} \leq [\sigma'_{\text{сж}}], \text{ Н/мм}^2$$

где  $\sigma_{\text{сж}}$  – нормальные напряжения в сварочном шве,  $\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ ;

$[\sigma'_{\text{сж}}]$  – допустимое нормальное напряжение в стыковом шве при сжатии,  $\frac{\text{Н}}{\text{мм}^2}$ ;

$A_{\text{ст.шва}}$  – площадь поперечного сечения стыкового сварочного шва,  $\text{мм}^2$ , которая равна площади кольца (поперечного сечения трубы).

$$A_{\text{ст.шва}} = \delta_{\text{трубы}} \cdot d_{\text{ср.трубы}} \cdot \pi.$$

Верхний пояс ригелей гибкой опоры выполнен из двух труб  $219 \times 20 \text{ мм} - 09\Gamma 2\text{С} - \text{ТУ } 14-3-1128-2000$  для которых:

$$\text{предел прочности } \sigma_B = 470 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

$$\text{предел текучести } \sigma_T = 265 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2};$$

$$\text{относительное удлинение } \delta = 21\%.$$

Допускаемые напряжения сварных соединений задаются в долях от допускаемых напряжений на растяжение для основного металла, которые в свою очередь принимаются равными в долях от  $\sigma_T$  основного металла:

– углеродистые стали

$$[\sigma_P] = \frac{\sigma_T}{(1,35 \dots 1,6)};$$

– легированные стали

$$[\sigma_P] = \frac{\sigma_T}{(1,5 \dots 1,7)}.$$

Материал трубы сталь 09Г2С относится к низколегированным, тогда

$$[\sigma_P] = \frac{265}{1,5} = 176,7 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} (\text{МПа}).$$

При выполнении сварки электродами Э50А, которые регламентирует ТУ 14-3-1128-2000, соединений труб, работающих на растяжение

$$[\sigma'_{\text{сж}}] = [\sigma_P],$$

Тогда из условия прочности выполним проектный расчет по определению допустимого усилия  $[S_{1 \text{ стык.шва}}]$ , которое найдем из уравнения

$$[S_{1 \text{ стык.шва}}] = [\sigma'_{сж}] \cdot A_{\text{ст.шва}},$$

подставляя значения, получим

$$\begin{aligned} [S_{1 \text{ стык.шва}}] &= [\sigma_P] \cdot \delta_{\text{трубы}} \cdot d_{\text{ср.трубы}} \cdot \pi = \\ &= 176,7 \cdot 20 \cdot (219 - 20) \cdot 3,14 = 2208,3 \cdot 10^3 \text{ Н} = 2208,3 \text{ кН}. \end{aligned}$$

При соединении труб встык производится разделка торцов труб (ТУ 14-3-1128-2000), как для стыкуемых стержней в свариваемых конструкциях. Для компенсации динамических нагрузок и центрации рекомендуется в стыке помещать короткую трубчатую вставку или плоскую вставку (диск толщиной не менее 20 мм) (рис. 2).

Соединение основной трубы верхнего пояса ригелей с фланцем выполнено тавровым сварочным швом. Если тавровое соединение выполнено с подготовкой кромок и с проплавлением, то расчет ведут по формулам для сварных соединений встык, которые ранее были представлены.

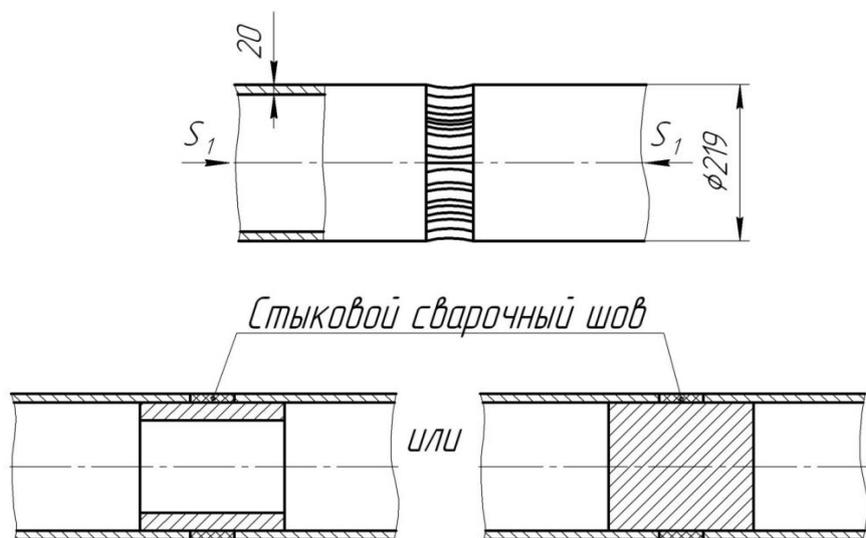


Рис. 2 – Стыковое соединение трубы верхнего пояса ригелей

Если соединение выполнено без подготовки кромок, то его рассчитывают как соединение в нахлестку по касательным напряжениям  $\tau$ . Для нашего случая

рассмотрим самый неблагоприятный вариант таврового соединения – соединение выполнено без подготовки кромок, для которого условие прочности запишется как

$$\tau = \frac{S_{1 \text{ тавр.шва}}}{A_{\text{тавр.шва}}} \leq [\tau] \frac{H}{\text{мм}^2},$$

где  $\tau$  – касательное напряжения в сварочном шве,  $\frac{H}{\text{мм}^2}$ ;

$[\tau]$  – допускаемое касательное напряжение на срез в нахлесточном шве,  $\frac{H}{\text{мм}^2}$ ;

$A_{\text{тавр.шва}}$  – площадь поперечного сечения таврового сварочного шва по месту разрушения,  $\text{мм}^2$ .

$$A_{\text{тавр.шва}} = 0,7 \cdot K \cdot (\pi \cdot (d_{\text{трубы}} + K)),$$

где  $K$  – катет шва, принимаем  $K=18$  мм при толщине трубы 20 мм;

Подставляя значения получим

$$\tau = \frac{S_{1 \text{ тавр.шва}}}{0,7 \cdot K \cdot (\pi \cdot (d_{\text{трубы}} + K))} \leq [\tau] \frac{H}{\text{мм}^2}.$$

Верхний пояс ригелей выполнен из труб 219 × 20 мм – 09Г2С – ТУ 14-3-1128-2000 для которой:

$$\text{предел прочности } \sigma_B = 470 \frac{H}{\text{мм}^2};$$

$$\text{предел текучести } \sigma_T = 265 \frac{H}{\text{мм}^2};$$

$$\text{относительное удлинение } \delta = 21\%.$$

Допускаемые напряжения сварных соединений задаются в долях от допускаемых напряжений на растяжение для основного металла, которые в свою очередь принимаются равными в долях от  $\sigma_T$  основного металла:

– углеродистые стали

$$[\sigma_P] = \frac{\sigma_T}{(1,35 \dots 1,6)};$$

– легированные стали

## Технические науки

$$[\sigma_P] = \frac{\sigma_T}{(1,5 \dots 1,7)}$$

Материал трубы сталь 09Г2С относится к низколегированным, тогда

$$[\sigma_P] = \frac{265}{1,5} = 176,7 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} (\text{МПа}).$$

При выполнении сварки электродами Э50А, которые регламентирует ТУ 14-3-1128-2000, работе сварочного шва на срез

$$[\tau'] = 0,65 \cdot [\sigma_P] = 0,65 \cdot 176,7 = 114,9 \frac{\text{Н}}{\text{мм}^2} (\text{МПа}),$$

тогда из условия прочности выполним проектный расчет по определению допускаемого усилия  $[S_{1 \text{ тавр.шва}}]$ , которое найдем из уравнения

$$[S_{1 \text{ тавр.шва}}] = [\tau'] \cdot A_{\text{тавр.шва}},$$

подставляя значения, получим

$$\begin{aligned} [S_{1 \text{ тавр.шва}}] &= [\tau'] \cdot 0,7 \cdot K \cdot (\pi \cdot (d_{\text{трубы}} + K)) = \\ &= 114,9 \cdot 0,7 \cdot 18 \cdot (3,14 \cdot (219 + 18)) = 1017,5 \cdot 10^3 \text{Н} = 1017,5 \text{кН}. \end{aligned}$$

Определим суммарное допускаемое усилие в стыковом и тавровом швах

$$[S_{1\Sigma}] = [S_{1 \text{ стык.шва}}] + [S_{1 \text{ тавр.шва}}] = 2208,3 + 1017,5 = 3225,8 \text{кН},$$

подставляя числовые значения в условие прочности по допускаемым нагрузкам соединения труб верхнего пояса ригелей, получим

$$S_{1 \text{ гиб.опоры}} = 2765,3 \text{кН} < [S_{1 \text{ стык.шва}}] + [S_{1 \text{ тавр.шва}}] = [S_{1\Sigma}] = 3225,8 \text{кН},$$

недогруз составляет

$$\Delta = \frac{3225,8 - 2765,3}{3225,8} \cdot 100\% = 14,3\%$$

$$S_{1 \text{ жест.опоры}} = 2903,3 \text{кН} < [S_{1 \text{ стык.шва}}] + [S_{1 \text{ тавр.шва}}] = [S_{1\Sigma}] = 3225,8 \text{кН}$$

недогруз составляет

$$\Delta = \frac{3225,8 - 2903,3}{2903,3} \cdot 100\% = 11,1\%$$

Условие прочности сварных соединений труб верхнего пояса ригелей (стыкового и таврового сварочных швов) гибкой и жесткой опор обеспечено.

**Список литературы**

1. Реконструкция металлической конструкции козлового контейнерного крана типа МККС-42К (Расчет сварного соединения нижнего пояса ригелей гибкой и жесткой опоры) / В. А. Одегов // Общество, наука, инновации (НПК – 2015): сб. материалов всерос. ежегод. науч.-практ. конф., 13 – 24 апреля 2015 г. Киров, 2015. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). С. 685–692.

2. Реконструкция металлической конструкции соединения ригелей с мостом козлового контейнерного крана типа МККС-42К / В. А. Одегов, М. А. Мельчаков, Л. И. Еноктаева // Общество, наука, инновации (НПК – 2015): сб. материалов всерос. ежегод. науч.-практ. конф., 13 – 24 апреля 2015 г. Киров, 2015. 1 электрон. опт. диск (CD-ROM).

**ОДЕГОВ Владислав Анатольевич** – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и основ конструирования, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: vladodegov@mail.ru

**МЕЛЬЧАКОВ Михаил Александрович** – кандидат технических наук, доцент кафедры материаловедения и основ конструирования, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: melchakov-m@yandex.ru

**ЕНОКТАЕВА Любовь Ивановна** – старший преподаватель материаловедения и основ конструирования, Вятский государственный университет. 610000, г. Киров, ул. Московская, 36.

E-mail: enoktaeva@vyatsu.ru