

УДК 624.014

**МЕТОД РАСЧЁТА НА ВЫНОСЛИВОСТЬ СВАРНОГО ШВА В
ПОДРЕЛЬСОВОЙ ЗОНЕ ПОДКРАНОВОЙ БАЛКИ**

Нежданов К.К.

д.т.н., профессор

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Пенза, Россия

Кузьмишкин А.А.,

к.т.н., доцент

Пензенский государственный технологический университет

Пенза, Россия

Гарькин И.Н.

доцент

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства

Пенза, Россия

Аннотация

Предлагаются метод расчёта на выносливость сварного шва в подрельсовой зоне подкрановых конструкций. Доказывается низкий ресурс сварных подкрановых балок. Указывается на опасность обрушения конструкции в случае разрушения сварного шва в подрельсовой зоне.

Ключевые слова: подкрановая балка, выносливость, строительные конструкции, металлические конструкции, сварной шов

**METHOD FOR CALCULATING THE STABILITY OF WELDING SEAMS IN
THE SUB-FRAMED ZONA OF THE COLLAR BEAM**

Nezdanov K.K.

doctor of technical sciences, professor

Penza State University of Architecture and Construction

Penza, Russia

Kuzmishkin A.A.,

Ph.D., associate professor

Penza State Technological University

Penza, Russia

Garkin I.N.

senior Lecturer

Penza State University of Architecture and Construction

Penza, Russia

Annotation

Method is proposed for calculating the endurance of a welded joint in the under-rail zone of crane structures. A low resource of welded crane beams is proved. It indicates the danger of collapse of the structure in the event of failure of the welded seam in the subrace zone.

Keywords: crane beam, endurance, building structures, metal structures, welded seam

При прокатывании колёс кранов подрельсовая зона сварного шва подкрановой балки подвергается циклическим воздействиям колёс мостовых кранов.

При интенсивной эксплуатации и тяжёлом режиме работы кранов *8К, 7К* накапливается 600...700 тысяч циклов в год прокатываний колёс кранов. Минимальный срок службы при такой интенсивной работе по нормам – 10 лет [1]. Циклические сдвиги приводят к преждевременному, через 2...3 года эксплуатации, появлению усталостных трещин в этой зоне [2].

Качественно выполненный поясной сварной шов имеет вогнутую поверхность с плавными переходами сплавления с основным металлом, а также К-образную разделку кромок. Проплавление обязательно на всю толщину стенки с минимальным количеством непроваров, подрезов, шлаковых включений, что ограничено нормами. Тем не менее, в настоящее время усталостные трещины в этой зоне неизбежно появляются и развиваются, и ресурс сварного соединения не гарантирует минимальный срок эксплуатации – 10 лет.

Опасные дефекты шва (непровары) нормы не допускают, так как приводят к снижению выносливости более чем в четыре раза. Работоспособность при

таких дефектах катастрофически падает [3]. Тем не менее, при обследовании действующих цехов непровары обнаруживаются. Усталостные трещины всегда зарождаются от дефектов – подрезов, шлаковых включений, концов сварных швов, нахлесточных соединений. Расчёт на выносливость подрельсовой зоны стенки балки произведём на воздействия катящихся по рельсам КР-120 колёс кранов.

Катящиеся по рельсам колёса кранов генерируют подвижные вертикальные силы P и горизонтальные силы T . По действующим нормам [4,5] определяем коэффициенты локальной цикличности, динамичности воздействий $\gamma_{f1}^{loc} > 1$ и повторяемости циклов $\gamma_{II} < 1$ (табл.1).

Проверим выносливость двутавровой сварной балки рассчитанной по прочности ранее. Сечение двутавровой сварной балки состоит из поясов: верхнего $75 \times 2,4 = 180 \text{ см}^2$, нижнего $59 \times 2,4 = 141,6 \text{ см}^2$ и стенки $180 \times 1,8 = 324 \text{ см}^2$, с суммарной площадью $A = 645,6 \text{ см}^2$. Применим рельс КР-120.

Характеристики сечения: высота сечения балки – $h = 184,8 \text{ см}$; главный момент инерции – $J_x = 3530845,9 \text{ см}^4$; расстояние от центра стенки до главной оси X балки – $y_c = 5,425 \text{ см}$.

Расстояние от главной оси X до центра тяжести полки – $a_{\text{полки}} = 0,5 \cdot h_{\text{ст}} - y_c + 0,5 t_b = 0,5 \cdot 180 - 5,4245 + 0,5 \cdot 2,4 = 85,78 \text{ см}$;

статический момент верхнего пояса:

$$S_{X_{\text{полки}}} = A_{\text{полки}} \cdot a_{\text{полки}} = 180 \cdot 85,78 = 15440,4 \text{ см}^3.$$

Таблица 1 Коэффициенты, учитывающие локальную цикличность, динамичность γ_{f1}^{loc} и повторяемость γ_{II} воздействий колёс кранов

Режим работы	Захват груза	Коэффициенты	
		динамичности γ_{f1}^{loc}	повторяемости γ_{II}
8К	Жёсткий, клещами	1,6	0,7
8К	Гибкий	1,4	0,7
7К	Гибкий	1,3	0,6
6К...4К	Гибкий	1,1	0,5

Коэффициенты повторяемости γ_{Π} воздействий всегда меньше единицы и приближаются к ней с ужесточением режима работы кранов. Тогда сдвигающие напряжения в зоне шва:

$$\tau_{xy} = \frac{Q \cdot S_{X \text{ полки}}}{J_x \cdot t_{ст}} = \frac{27346,1 \cdot 15440,4}{3530845,9 \cdot 1,6} = 74,74 \text{ МПа} .$$

Собственные моменты инерции верхнего пояса равны:

$$\text{при изгибе } J_{x \Pi} = \frac{b \cdot t_n^3}{12} = \frac{75 \cdot 2,4^3}{12} = 86,4 \text{ см}^4 ;$$

при кручении $J_{кр \Pi} = \frac{1}{3} \left(\frac{b}{t_{\Pi}} - 0,63 \right) t_{\Pi}^4 = \frac{1}{3} \left(\frac{75}{2,4} - 0,63 \right) \cdot 2,4^4 = 338,6 \text{ см}^4$. Характеристики рельсов приведены в табл.2, а подвижные воздействия от колёс крана грузоподъёмностью 200/32т с режимом работы 7К (с гибким подвесом груза) в табл. 3

Таблица 2 Характеристики рельсов

Рельс	Площадь сечения $\text{см}^2 A_{\text{рел}}, \text{см}^2$	Высота, см	Моменты инерции, см^4			Масса, кг/м
			J_x	J_y	$J_{кр}$	
КР-70	67,3	12	1081,1	327,2	253	52,8
КР-80	81,1	13	1547,4	482,4	387	63,7
КР-100	113,3	15	2864,7	941	765	89
КР-120	150,4	17	4923,8	1694,8	1310	118,1
КР-140	195,5	19	7427,2	2483,4	2130	153,5

Проверим выносливость подрельсовой зоны сварного шва, соединяющего верхний пояс и стенку подкрановой балки. Для этого определим возникающие колебания локальных напряжений в стенке при воздействиях каждого из колёс ($P_{\text{экр}} = 3159 \text{ гН}$) крана передаваемых через рельс КР-120.

Таблица 3 Подвижные силы от каждого из колёс кранов, действующие циклически

Сила, гН	Нормативная P_H	Коэффициенты		$P_H \gamma_{II}$	Эквивалентная $P_{эвб} = P_H \gamma_{fl}^{loc} \gamma_{II}$
		динамичности γ_{fl}^{loc}	повторяемости γ_{II}		
Вертикальная P	4100	1,3	0,6	2460	3198
Горизонтальная $T = 0,1P$	410	1,3	0,6	246	319,8

Примечание: по эквивалентной силе $P_{эвб} = P_H \gamma_{fl}^{loc} \gamma_{II}$ $P_{эвб} T = 1,3 \cdot 0,6 \cdot 4100 = 3198$ гН определяем колебания локальных напряжений (табл.4), а по нормативной силе $P_H \gamma_{II} = 2460$ гН определяем по формуле Журавского сдвигающие напряжения, возникающие при срезе сечения балки около опоры.

В табл. 4 приведены вычисления колебания напряжений, возникающие в подрельсовой зоне стенки при качении колёс крана.

Таблица 4 Циклы колебаний локальных сдвигающих напряжений (МПа) в подрельсовой зоне поясного шва, от многократных прокатываний колёс крана, при $P_{эвб} = 3198$ гН, рельс КР-120

Эффективная длина волны локальных напряжений (см) $l_{ef} = 3,253 \sqrt{\frac{\sum J_x}{t_{ст}}} = 3,253 \sqrt{\frac{4923,8 + 86,4}{1,8}} = 45,7 \text{ см}$	45,7
Циклические крутящие моменты $M_{кр} = \pm (P_{эвб} e + Th_p)$ $M_{кр} = \pm (3198 \cdot 2 + 319,8 \cdot 17) = 11832,6 \text{ гНсм}$	$\pm 11832,6$
Локальные колебания напряжений при движении колёс кранов МПа	
Минимум напряжений при отсутствии воздействий колёс	0
Циклы экстремумов сжимающих напряжений, эксцентриситет нет $e = 0$	
$\sigma_y^{loc} = \frac{P_{эвб}}{l_{ef} t_{ст}} = \frac{-3198}{45,7 \cdot 1,8} = -38,9 \text{ МПа}$	-38,9
Циклы колебаний напряжений от крутящих моментов $\pm M_{кр}$ (гНсм)	
$\sigma_{y \text{ кр}} = \frac{\pm 2 M_{кр} \cdot t_{ст}}{\sum J_{\text{кр рельс}} + J_{\text{кр пояс}}} = \frac{\pm 2 \cdot 11832,6 \cdot 1,8}{1031,1 + 338,6} = \pm 25,8$	25,8
Экстремумы отнулевых циклов колебаний сжимающих напряжений	

$\sum \sigma_y^{\text{loc}} = \sigma_y^{\text{loc}} + \sigma_{y\text{кр}}^{\text{loc}} = -38,9 - 25,8 = -64,7 \text{ МПа}$	-64,7
Амплитуды колебаний симметричных циклов сдвигающих напряжений	
$\sum \tau_{axy}^{\text{loc}} = \pm(0,3 \cdot \sigma_y^{\text{loc}} + 0,25 \cdot \sigma_{y\text{кр}}^{\text{loc}}) = \pm(19,4 + 6,46) = \pm 25,86$	$\pm 25,86$
Экстремумы отнулёвых циклов колебаний сдвигающих напряжений	
$\tau_{2\text{max}} = 0,5 \sum \sigma_y = 0,5 \cdot 64,7 = 32,35 \text{ МПа}$	32,35
Амплитуды отнулёвых циклов колебаний сдвигающих напряжений	
$\tau_a = 0,5 \tau_{2\text{max}} = 0,5 \cdot 32,35 = 16,18$	16,18
$\tau_{xy} = \frac{Q \cdot S_{X\text{полки}}}{J_X \cdot t_{\text{ст}}} = \frac{27346,1 \cdot 15440,4}{3530845,9 \cdot 1,6} = 74,74 \text{ МПа}$	

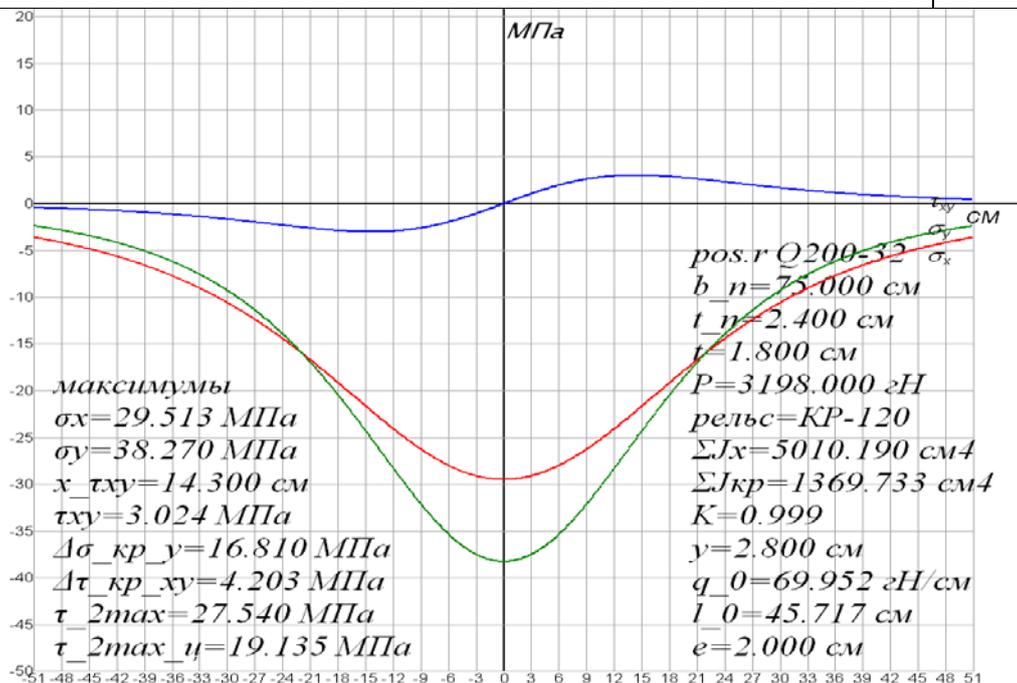


Рис. 1. Циклы колебаний локальных сдвигающих напряжений в подрельсовой зоне поясного шва

Определяем Q_{max} (рис.2) от нормативного воздействия одного крана с учётом коэффициента повторяемости γ_n : $Q_{\text{max}} = 10728,3 \text{ гН}$.

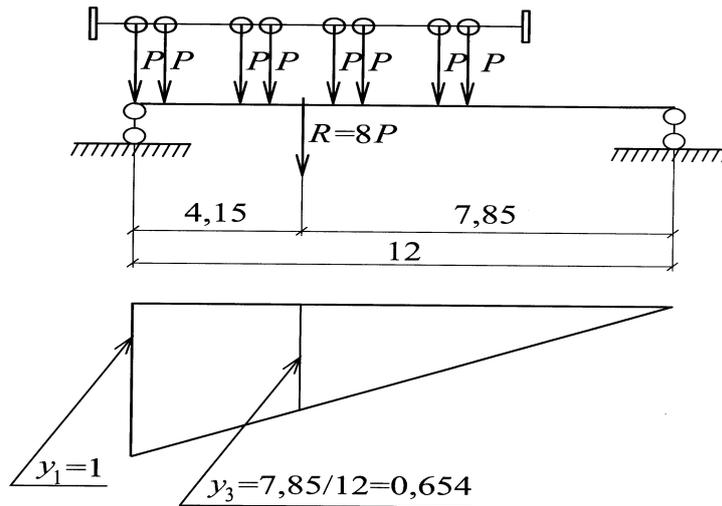


Рис. 2. Q_{\max} от нормативного воздействия одного крана $P_H \gamma_{II} = 2460$ гН с учётом коэффициента повторяемости

Экспериментальные и теоретические исследования показали, что выносливость верхней повреждаемой зоны балок следует проверять по площадкам, ориентированным следующим образом: площадка параллельна верхнему поясному шву и пересекает стенку под углом 45° ; параллельна поясному шву и перпендикулярной стенке балки (рис. 3.).

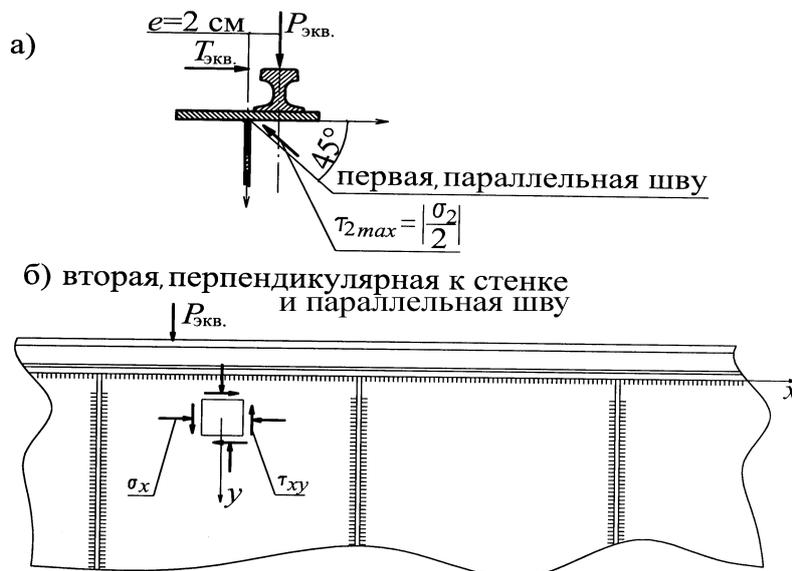


Рис. 3. Опасные площадки, по которым локальные напряжения, действующие динамически, могут достигать опасной величины

Пределы выносливости по сдвигающим напряжениям около опор подкрановых балок. Нижняя линия диаграммы выносливости

$$\tau_{\text{Пред.вын.}}^{\text{loc}} = \tau_{A=1K}^{\text{loc}} + |\tau_m| \cdot \text{tg} \psi_H.$$

Она наклонена к горизонтали под углом ψ_H . Угол наклона ψ_H нижней линии диаграммы выносливости легко найден из уравнения

$$\text{tg} \psi_H = \frac{\tau_{A=0,5K}^{\text{loc}} - \tau_{A=1K}^{\text{loc}}}{0,5 \cdot \tau_{A=0,5K}^{\text{loc}}} \Rightarrow \text{tg} \psi_H = 2 \cdot \left(1 - \frac{\tau_{A=1K}^{\text{loc}}}{\tau_{A=0,5K}^{\text{loc}}} \right) = 2 \cdot \left(1 - \frac{22,5}{46,9} \right) = 1,04.$$

Тангенс угла наклона ψ_H зависит от отношения пределов выносливости при симметричных $A_\tau = 1$ циклах колебаний $\pm \tau_{A=1K}^{\text{loc}} = \pm 22,5$ МПа и отнулевых $A_\tau = 0,5$ циклах $\tau_{A=0,5}^{\text{loc}} = 46,9$ МПа, полученных статистической обработкой. Это отношение равно 1,04. Для сварных балок угол наклона $\psi_H = 46,12^\circ$.

Получена новая линия пределов выносливости по сдвигающим напряжениям:

$$\tau_{\text{Пред.вын.}}^{\text{loc}} = \tau_{A=1K}^{\text{loc}} + |\tau_m| \cdot \text{tg} \psi_H \Rightarrow \tau_{\text{Пред.вын.}}^{\text{loc}} = \tau_{A=1K}^{\text{loc}} + 1,04 \tau_{xy}$$

Тогда при средних напряжениях циклов 74,74 МПа

Предел выносливости около опоры

$$\tau_{\text{Пред.вын.}}^{\text{loc}} = 22,5 + 1,04 \cdot 74,74 = 100,2 \text{ МПа.}$$

Действующие напряжения $74,74 + 16,18 = 80,92 < 100,2$. Выносливость около опоры обеспечена.

Таблица 5 Значения пределов выносливости R_V в зависимости от амплитудного коэффициента $A_\tau = \tau_a^{\text{loc}} / \tau_{\text{экстр}}^{\text{loc}}$, (где $\tau_{\text{экстр}}^{\text{loc}} = \tau_m + \tau_a^{\text{loc}}$)

$\pm \tau_a^{\text{loc}}$	22,5	23,3	23,46	23,7	24,1	24,9	25,7	26,6	26,7
A_τ	1	0,54	0,5	0,44	0,38	0,29	0,24	0,21	0,21
$ \tau_m $	0	20	23,46	30	40	60	80	100	103,3
$ \tau_{\text{экстр}} $	22,5	43,3	46,92	53,7	64,1	84,9	105,7	126,6	130
R_V	22,5	43,3	46,92	53,7	64,1	84,9	105,7	126,6	130

Библиографический список:

1. Туманов В.А. Повышение выносливости стальных подкрановых балок // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 1. – С. 75-82.
2. Нежданов К.К., Гарькин И.Н. Подкрановая балка с повышенным техническим ресурсом эксплуатации // Региональная архитектура и строительство. – 2017. – №3. – С.119-123
3. Нежданов К.К., Гарькин И.Н. Испытание неразрезных подкрановых балок на выносливость // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – №2. – С.81-86
4. Клюев С.В., Клюев А.В. Пределы идентификации природных и инженерных конструкций // Фундаментальные исследования. – 2007. – №12–2. – С.68–70
5. Гарькин И.Н. Экспериментальное определение выносливости составных неразрезных подкрановых балок // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2017– №2. – 28-34
6. Гарькина И.А. Многоцелевые системы: формализация целей, оптимизация // Вестник ПГУАС: строительство, наука и образование. – 2017. – № 1 (4). – С. 92-95.