

ПРЕДОТВРАЩЕНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ТРЕЩИН В УЗЛЕ СОЕДИНЕНИЯ РЕЛЬСА С ПОДКРАНОВОЙ БАЛКОЙ

Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н.

ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», Пенза, Россия (440028, Пенза, ул. Германа Титова, 28), e-mail: igor_garkin@mail.ru

Усталостные трещины возникают в стальных подкрановых балках вследствие циклических нагрузжений. Эксплуатация подкрановых балок с трещинами запрещена. В настоящей работе приводится разработка по предотвращению усталостных трещин в стальных подкрановых балках. На метод, приведённый в статье, получен патент РФ. Авторы активно занимаются внедрением разработки на ряде промышленных предприятий Поволжья. Результаты, полученные при подготовке статьи, активно используются в учебном процессе при чтении дисциплин «Металлические конструкции» и «Специальный курс по металлическим конструкциям» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства. Работа над повышением долговечности и эксплуатационных свойств подкрановых балок является крайне важной для безопасной эксплуатации зданий и сооружений тяжёлой промышленности.

Ключевые слова: выносливость, долговечность, подкрановые балки, усталостные трещины, динамические воздействия, крановый рельс.

PREVENTION OF FATIGUE CRACKS IN THE RAIL JUNCTION NODE CRANE BEAMS

Nezhdanov K.K., Kuzmishkin A.A., Garkin I.N.

"Penza State University of Architecture and Construction", Penza, Russia (440028, Penza, Germana Titova st., 28), e-mail: igor_garkin@mail.ru

Fatigue cracks occur in the steel crane beams due to cyclic loading. Operation crane girders cracked prohibited. In this paper we present a design to prevent fatigue cracks in steel crane beams. To the method described in the article, the patent of the Russian Federation. The authors are actively involved in the implementation of the development of a number of industrial enterprises of the Volga region. The results obtained in the preparation of this article, are widely used in the learning process when reading disciplines "Metal Constructions" and "Special Course on metal structures" Penza State University of Architecture and Construction. Work to improve the durability and performance properties of crane girders is critical to the safe operation of buildings and structures of heavy industry.

Keywords: stamina, durability, crane girders, fatigue cracks, dynamic effects, crane rail.

Основной причиной возникновения усталостных трещин в подрельсовой зоне подкрановых балок являются подвижные крутящие моменты, возникающие при качении колёс кранов по рельсам [7]. Локальные напряжения от кручения значительны и способствуют зарождению усталостных трещин в перегруженной подрельсовой зоне балки. Несмотря на ряд разработок и предложений по снижению воздействий негативных воздействий на подкрановые конструкции [1,2]. Одним из самых действенных способов исключения возможности появления усталостных трещин в подрельсовой зоне является использование новых профилей для подкрановых балок [3,5,6].

Трубчатые замкнутые профили обладают амортизирующими свойствами и в сотни раз большими моментами инерции при кручении и изгибе по сравнению с равноценными по площади сечения профилями из листов. Однако верхние пояса балок из цилиндрических

труб требуют специальных арочных рельсов, производство которых, к сожалению, не налажено [5]. Поэтому актуальна разработка новых технических решений с использованием выпускаемых в настоящее время рельсовых профилей.

Предотвращение усталостных трещин в узле соединения рельса с двутавровой подкрановой балкой, содержащей горизонтальные пояса, соединённые стенкой и опорные рёбра, а также автоматизация изготовления её на поточной линии реализована следующим образом.

На поточной линии пиротехническим способом прошивают сквозные соосные отверстия в паре замкнутых коробчатых профилей, стенке подкрановой балки и двуглавой подрельсовой подкладке, снабжённой боковыми главами для направляющих роликов мостовых кранов.

Автоматизировано дробеструйным способом очищают соприкасающиеся поверхности соединяемых элементов. Производят предварительную сборку блока из пары коробчатых профилей с зазором между ними, равным толщине стенки подкрановой балки и двуглавой подрельсовой подкладки, фиксируют элементы друг относительно друга, устанавливая болты в каждое 10...15 отверстие.

Фиксируют соединяемые элементы друг относительно друга и автоматизировано развёртывают свободные соосные отверстия на проектный диаметр. Пропускают сквозь эти отверстия легированные шпильки, и на поточной линии автоматизировано гайковёртами гарантировано затягивают их, и неподвижно соединяют в единый коробчатый блок двуглавую подрельсовую подкладку и пару коробчатых профилей.

Вдвигают в щель между парой коробчатых профилей стенку подкрановой балки с отверстиями до упора в двуглавую подрельсовую подкладку, совмещают отверстия в стенке и в паре коробчатых профилей, фиксируют положение стенки, автоматизировано развёртывают свободные отверстия на проектный диаметр. Пропускают сквозь соосные отверстия легированные шпильки, на поточной линии автоматизировано, гарантировано затягивают их гайковёртами и неподвижно соединяют в единый коробчатый блок со стенкой.

Присоединяют к стенке нижний пояс и опорные рёбра также из коробчатых профилей. Отправляют готовую подкрановую балку к месту монтажа, оснащают её на монтажной площадке тормозными балками, используя для креплений выступающие из коробчатых профилей легированные шпильки, монтируют на двуглавые подрельсовые подкладки рельсы, и готовые подкрановые конструкции монтируют на колонны.

Подкрановая балка содержит верхний горизонтальный пояс из пары замкнутых коробчатых профилей 1, неподвижно соединённых со стенкой 2 из листа. Стенка 2

возвышается над поверхностью коробчатых профилей 1 на 0,1...0,125 собственной толщины и соединена с ними. Опорные рёбра 3 с фланцами по концам выполнены из коробчатым профилей и наклонены под углом 90...45° к продольной оси балки. Стенка 2 неподвижно соединена с нижним поясом 4. Для опорного ребра на нижнем поясе 4 предусмотрены упоры 5. Коробчатые профили 1 соединены со стенкой 2 горизонтальными шпильками 6 из легированной стали. Вертикальные легированные шпильки 7 из такой же стали неподвижно прикрепляют к профилям 1 двуглавую подрельсовую подкладку 8. На монтажной площадке к готовой подкрановой балке симметрично относительно стенки 2 присоединяют тормозные балки 9. Для соединения используют выступающие концы шпилек 6. Тормозные балки фиксируются в горизонтальном положении связями (не показано), поддерживающими их снизу.

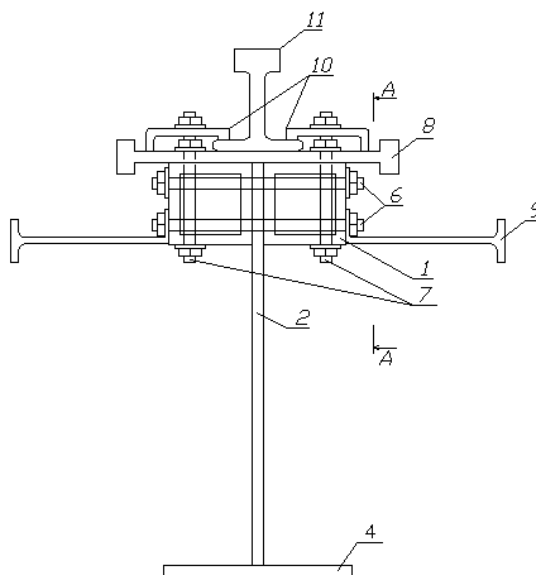


Рис. 1. Подкрановая балка из коробчатых профилей

Посредством П-образных клемм 10 крановый рельс 11 плотно прижимается подошвой к подрельсовой подкладке 8. Крепление осуществлено посредством выступающих вверх концов шпилек 7. Гарантированная затяжка гаек на шпильках обеспечивает работу рельса 11 и двуглавой подрельсовой подкладки 8 как единого трёхглавого рельса.

Разработанный способ исключения возможности появления усталостных трещин в двуглавой подкрановой балке качественно меняет их работу (рис.1).

Существенные преимущества балки с верхним поясом из коробчатых профилей следующие:

1. В опасной подрельсовой зоне стенки применены соединения с высоким ресурсом: легированные шпильки с гарантированным натягом. Эти соединения обеспечивают монолитность соединения коробчатых поясов, подрельсовой подкладки, рельса и стенки в единое целое.

2. Пояса у балки выполнены из прокатных коробчатых профилей. Благодаря коробчатым профилям моменты инерции верхнего пояса на кручение и при изгибе повысились в сотни раз. За счёт этого ликвидирована техническая ошибка, допущенная при переходе от клёпанных к сварным балкам. Благодаря таким техническим усовершенствованиям исключена возможность появления трещин в зоне соединения пояса со стенкой. Новые подкрановые балки гарантируют выносливость при 6 и более миллионах циклов прокатывания колёс кранов.

3. Стенка легко воспринимает колебания локальных сдвигающих напряжений. Подвижные крутящие моменты значительно уменьшены, так как эксцентриситеты сил P и T близки к нулю. Поэтому усталостные трещины не могут возникнуть в подрельсовом узле балки. Выносливость новых подкрановых балок, по отношению к выносливости качественных сварных балок, повысилась так значительно, что подкрановая балка стала работать в зоне так называемой «неограниченной долговечности».

4. Устойчивость стенки повышается, так как её свободная высота уменьшена за счёт коробчатых профилей. Опорные рёбра на балке выполнены также из коробчатых профилей.

Разработанный способ позволяет обеспечить автоматизацию изготовления подкрановых балок и снизить трудоёмкость изготовления.

Пример конкретной реализации

Долговечную подкрановую балку выполняем с применением следующих профилей: прямоугольные трубы, листовая сталь. Площади сечений профилей примем на основании распределения площадей обычной подкрановой балки.

Принимаем верхний пояс. Прямоугольная труба 160x160x8 2шт

$$A = 48,64 \text{ см}^2$$

$$J = 1878,1 \text{ см}^4$$

Листовая сталь 40x1 $A = 40 \text{ см}^2$

Принимаем нижний пояс

Листовая сталь 40x1 $A = 105 \text{ см}^2$

Стенка: Листовая сталь 172x1,4 $A = 240,8 \text{ см}^2$

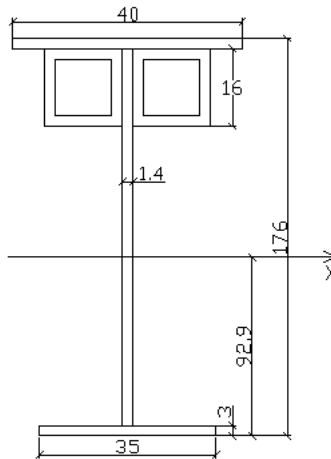


Рис. 2. Поперечное сечение долговечной подкрановой балки

Суммарная площадь балки:

$$\sum A = A_{в.л} + A_{н.л} + A_{ст} = 48,64 \cdot 2 + 40 + 105 + 240,8 = 483 \text{ см}^2.$$

Вычисляем ординату центра тяжести всего сечения относительно нижней грани сечения:

$$y_{ц.т} = \frac{\sum S}{\sum A} = \frac{105 \cdot 1,5 + 240,8 \cdot 89 + 48,64 \cdot 2 \cdot 167 + 40 \cdot 175,5}{483} = 92,9 \text{ см}.$$

Момент инерции всего сечения относительно вспомогательной оси:

$$J^{вс}_x = \left(\frac{35 \cdot 3^3}{12} + \frac{1,4 \cdot 172^3}{12} + 1878,1 \cdot 2 + \frac{40 \cdot 13^3}{12} \right) + 105 \cdot 1,5^2 + 240,8 \cdot 89^2 + 48,64 \cdot 2 \cdot 167^2 + 40 \cdot 175,5^2 = 6450155,52 \text{ см}^4$$

Главный момент инерции:

$$J_x = J^{вс}_x - \sum A \cdot y_{ц.т}^2 = 6450155,52 - 483 \cdot 92,9^2 = 2281667,49 \text{ см}^4.$$

Момент сопротивления нижней грани относительно центра тяжести сечения:

$$W_H = \frac{J_x}{h/2 + y_{см}} = \frac{2281667,49}{176/2 + 4,9} = 24560,47 \text{ см}^3.$$

Напряжения на нижней грани балки:

$$\sigma_H = \frac{M}{W_{xH}} = \frac{49210,7 \cdot 100}{24560,47} = 200,37 \text{ МПа} < \gamma R_y = 0,9 \cdot 230 = 207 \text{ МПа}$$

Прочность достаточна.

Момент сопротивления верхней грани относительно центра тяжести сечения:

$$W_B = \frac{J_x}{h/2 - y_{см}} = \frac{2281667,49}{176/2 - 4,9} = 27456,9 \text{ см}^3.$$

Напряжения на верхней грани балки:

$$\sigma_H = \frac{M}{W_{xв}} = \frac{49210,7 \cdot 100}{27456,9} = 179,2 \text{ МПа} < \gamma R_y = 0,9 \cdot 230 = 207 \text{ МПа}$$

Прочность обеспечена. Полученное значение используем при проверке балки на косоу изгиб.

Расчет тормозной балки

Для обеспечения высокой выносливости соединения тормозного листа с подкрановой балкой тормозной лист расположим между рельсом верхним поясом и осуществим соединение фрикционными шпильками, предназначенными и для рельсовых креплений.

Тормозная балка состоит из верхнего пояса подкрановой и внешнего пояса, выполненного из листа, и прямоугольной трубы 250x125x8.

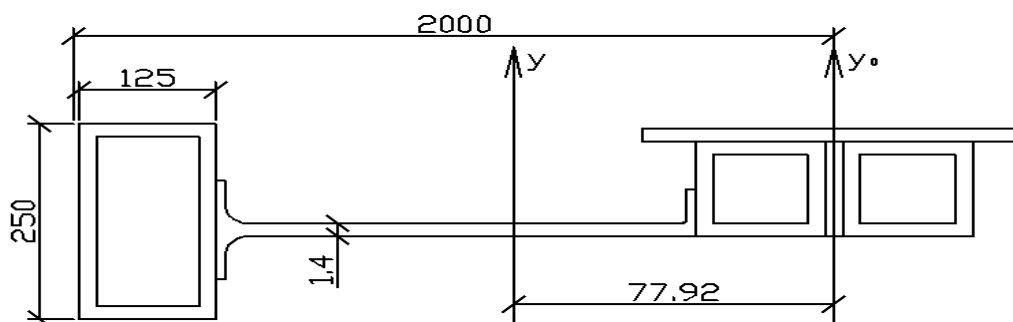


Рис. 3. Конструкция тормозной балки

Определим центр тяжести балки относительно оси подкрановой балки:

$$X_{ц.м} = \frac{\sum S}{\sum A} = \frac{57,7 \cdot 193,8 + 1,4 \cdot 170,8 \cdot 102,1}{57,7 + 1,4 \cdot 170,8 + 159,68} = \frac{35572,5}{456,5} = 77,92 \text{ см.}$$

Второстепенный момент инерции:

$$\begin{aligned} J_y^{6m} &= \sum J_{соб} + A_{вн} \cdot a_{вн}^2 + A_m \cdot a_m^2 = \\ &= 1438 + \frac{1,4 \cdot 170,8^3}{12} + 2 \cdot 1878,1 + \frac{16 \cdot 1,4^3}{12} + \frac{1 \cdot 40^3}{12} + 57,7 \cdot 193,8^2 + 1,4 \cdot 170,8 \cdot 102,1^2 + \\ &+ 2 \cdot (48,64 \cdot 8,7^2) = 5259014,7 \text{ см}^4 \end{aligned}$$

Главный момент инерции:

$$J_y = J_y^{6m} - \sum A \cdot X_{ц.м}^2 = 5259014,7 - 456,5 \cdot 77,92^2 = 2487362,9 \text{ см}^4.$$

Момент сопротивления у правой грани:

$$W_{y.нр} = \frac{J_y}{X_{ц.м} + b/2} = \frac{2487362,9}{77,92 + 16,7} = 26287,9 \text{ см}^3.$$

Проверка прочности подкрановой балки при косоу изгибе:

$$\sigma = \frac{M}{W_B} + \frac{M_T}{W_{нр}} < R_y,$$

Где $M_T = 0,1 \cdot M = 0,1 \cdot 49210,7 = 4921,07 \text{ кН} \cdot \text{м}$

$$\sigma = \frac{49210,7 \cdot 100}{27456,9} + \frac{4921,07 \cdot 100}{26287,9} = 197,9 \text{ МПа} < 0,9 \cdot R_y = 0,9 \cdot 230 = 207 \text{ МПа}$$

Прочность обеспечена.

Список литературы

1. Данилов А.М., Гарькин И.А., Гарькин И.Н. Защита от удара и сопровождающей вибрации: экспоненциально-тригонометрическая аппроксимация функций // Региональная архитектура и строительства. – 2012. – № 3. – С.85-89.
2. Данилов А.М., Гарькин И.А., Гарькин И.Н. Управление объектами на подвижном основании: оптимизация конструктивной и структурной схем // Региональная архитектура и строительства. – 2014. – № 3. – С. 102-108.
3. Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н. Применение двухстенчатых подкрановых балок с амортизирующим эффектом // Региональная архитектура и строительство. – 2013. – № 3. – С. 91-94.
4. Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н. Применение толстостенных двутавровых крановых рельсов // Региональная архитектура и строительство. – 2012. – № 3. – С. 79-84.
5. Нежданов К.К., Кузьмишкин А.А., Гарькин И.Н., Курткезов Д.Х. Быстро сооружаемая подкрановая балка с высоким техническим ресурсом эксплуатации // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3; URL: <http://www.science-education.ru/117-13115> (дата обращения: 16.05.2014).
6. Нежданов К.К., Лаштанкин А.С., Гарькин И.Н. Сборные подкрановые балки из прокатных профилей // Строительная механика и расчёт сооружений. – Москва: ЦНИСК им. Курчеренко, 2013. – № 2. – С.69-75.
7. Нежданов К.К., Нежданов А.К., Зайцев А.Д. Способ исключения возможности появления усталостных трещин в узле соединения рельса с двутавровой подкрановой балкой // Патент РФ №2463240 от 05.10.2009 г.

Рецензенты:

Ласьков Н.Н., д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Строительные конструкции» ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза;

Бакушев С.В., д.т.н., профессор каф. «Механика», ФГБОУ ВПО «Пензенский государственный университет архитектуры и строительства», г. Пенза.