

УДК 69.059.032

КОНСТРУИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНЫХ ПОДКРАНОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

К. К. Нежданов, И. Н. Гарькин

Пензенский государственный университет архитектуры и строительства, г. Пенза, Россия

Приводится пример конструирования (создания) эффективной подкрановой конструкции обладающей повышенной выносливостью и долговечностью по сравнению с используемыми в промышленности сварными подкрановыми конструкциями (балками). Доказывается (с использованием данных полученных экспериментальным путем), что повышение технического ресурса подкрановых конструкций можно добиться путем исключения концентраторов напряжения из зоны воздействия динамических нагрузок, тем самым предотвращается появление усталостных трещин в подрельсовой зоне подкрановой балки. Даются характеристики различных видов подкрановых балок данные, о которых получены эмпирическим путем (при испытаниях в лабораториях на выносливость и анализе данных с производства). Материал статьи написан с использованием данных полученных в ходе выполнения НИР (заключенные между ФГБОУ ВО ПГУАС и ООО «Современные строительные решения») и используются в учебном процессе при чтении курса для магистрантов «Специальный курс по металлическим конструкциям».

Ключевые слова: подкрановые конструкции, строительные конструкции, выносливость, долговечность, эффективная подкрановая балка, технический ресурс, крановый рельс, усталостные трещины.

DESIGN OF EFFECTIVE CRANE STRUCTURES

К. К. Nezdánov, I. N. Garkín

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russia

An example is given of designing (creating) an effective crane structure with increased endurance and durability compared to welded crane structures (beams) used in industry. It is proved (using data obtained experimentally) that increasing the technical resource of crane structures can be achieved by eliminating stress concentrators from the zone of exposure to dynamic loads, thereby preventing the appearance of fatigue cracks in the under-rail zone of a crane beam. Characteristics of various types of crane girders are given, the data about which are obtained empirically (during tests in endurance laboratories and analysis of data from production). The material in the article was written using data obtained during the implementation of research (concluded between FSBEI HE PSUAS and LLC Modern Construction Solutions) and are used in the educational process when reading the course for undergraduates "Special course on metal structures".

Keywords: crane structures, building structures, endurance, durability, effective crane beam, technical resource, crane rail, fatigue cracks.

Актуальность разработок более долговечных и выносливых подкрановых конструкций подтверждается как теоретическими [1], так и эмпирическими исследованиями [2–4]. Для решения данной задачи были разработаны ряд профилей с улучшенными (по сравнению со стандартными) характеристиками. Рассмотрим одно из инженерных решений разработанных Пензенском государственном университете архитектуры и строительства.

На выносливость подрельсовой зоны стенки в высокой степени влияет ресурс соединения, и эффективные коэффициенты концентрации напряжений [5]. Они показывают, во сколько раз снижается выносливость соединения по отношению к стальному прокатному листу, не имеющего какой-либо обработки, то есть с прокатной коркой.

В 30-х годах прошлого века [6] изменилась технология изготовления стальных конструкций в т.ч. подкрановых балок. Клёпочные соединения повсеместно стали интенсивно заменяться сварными соединениями. К сожалению, и в конструкциях подверженных динамическим воздействиям. По мнению авторов, была допущена техническая ошибка – клёпанные соединения (как и прокатные подкрановые балки), обладают более высоким ресурсом, были заменены сварными соединениями, обладающими в несколько раз более низким ресурсом (за счет появления большого количества концентраторов напряжения).

Данный факт стал причиной возникновения проблем низкой работоспособности подрельсовой зоны подкрановых балок. Что и подтвердилось при проведении многочисленных циклических испытаний на выносливость в лабораториях как в Пензенского государственного университета архитектуры и строительства (ПГУАС), так и других ВУЗов (рис.1; НИУ МГСУ), и при анализе состояния подкрановых конструкций в действующих цехах [7].

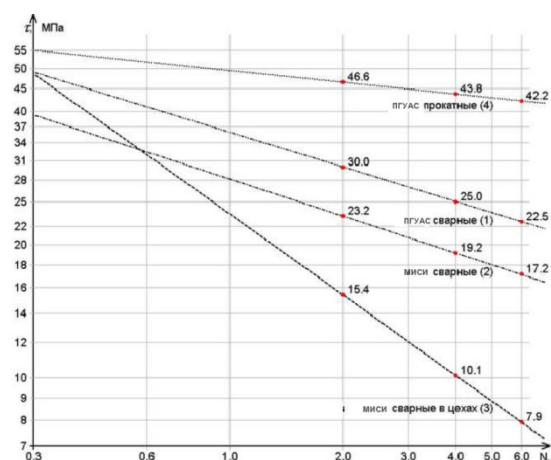


Рис. 1. Характеристики различных видов подкрановых балок: 1 – испытания сварных подкрановых балок в ПГУАС; 2 – испытания сварных подкрановых балок в НИУ МГСУ; 3 – данные о выносливости сварных подкрановых балок на реальных предприятиях; 4–1 – испытания прокатных подкрановых балок в ПГУАС

Работа подкрановых конструкции при циклических воздействиях в общем случае представляет собой асимметричный цикл (рис. 2.1.; 2.2); τ_m – среднее напряжение; $A_\tau = 0,5$ динамическая ам-

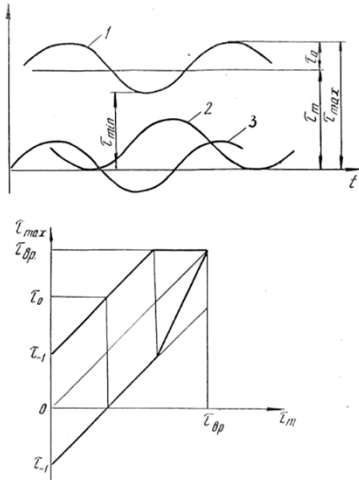


Рис. 2.1. Циклическое изменение напряжений сдвига

плитудная составляющая напряжений при симметричном цикле τ_{-1} . В асимметричном же цикле на среднее напряжение $\tau_m = 0,5 (\tau_{max} + \tau_{min})$, наложен симметричный цикл с амплитудой $\tau_a = 0,5 (\tau_{max} - \tau_{min})$. Экспериментально получены пределы выносливости: при $\tau_{A=0,5}^{loc} = 64,38 \text{ МПа}$, шести миллионах циклов прокатывания колёс кранов, и пределе выносливости при симметричном цикле сдвигающих колебаний $\pm \tau_{A=K}^{loc} = \pm 29,22 \text{ МПа}$, предполагается линейная связь между ними, получаем диаграмму пределов выносливости при колебаниях локальных касательных напряжений во всем диапазоне их изменения (рис.3; сдвиг происходит на фоне нормальных сжимающих напряжений).

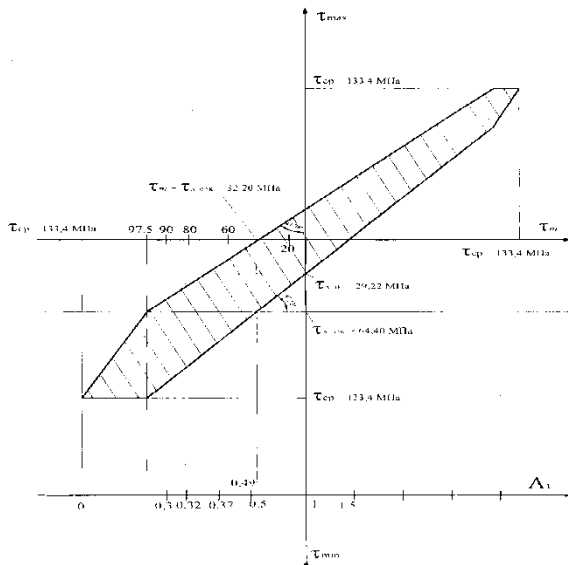


Рис. 3. Диаграмма пределов выносливости

Основываясь на приведенных эмпирических данных, имеем возможность повысить технический ресурс подкрановых балок за счет разработ-

ки более эффективных конструкций. Приведем классификацию методов повышения выносливости подкрановых конструкций (рис. 4).

Рассмотрим одно из решений задачи по повышению ресурса подкрановых конструкций в 2,5...3 раза в цехах с интенсивной эксплуатацией и режимом работы мостовых кранов 8А, 7А (цеха с мартеновскими печами, площадки отгрузки готовых изделий и т.д.).

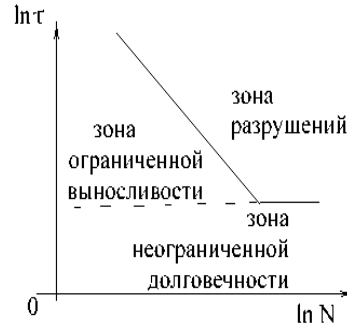


Рис. 2.2. Линия регрессии Веллера

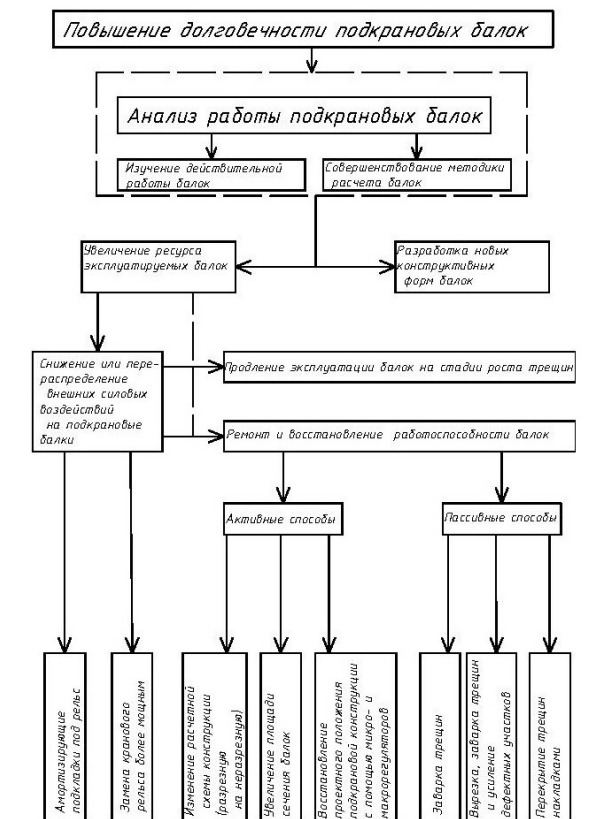


Рис. 4. Классификационная схема путей повышения долговечности подкрановых балок

Решение задачи повышения ресурса сводится к следующему алгоритму по созданию эффективной подкрановой конструкции подкрановая балка (рис. 5), с которым можно подробно ознакомиться в работе [8]. Суть его заключается в создании под-

крановой конструкции с повышенным моментом инерции (за счет геометрической формы подкрановой балки) и исключения концентраторов напряжения.

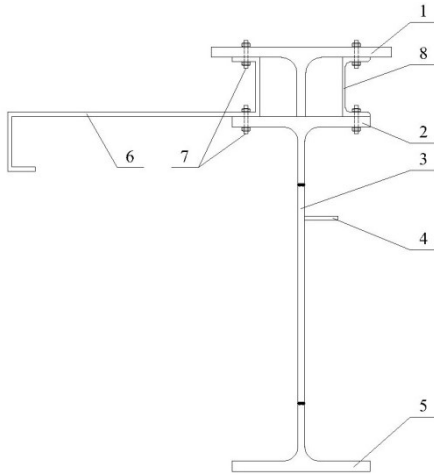


Рис. 5. Подкрановая балка с повышенным техническим ресурсом 1 – тавр, 2 – стенка, 3 – продольное ребро, 4 – нижний пояс (из тавра), 5 – полка двутавра, 6 – тормозная балка, 7 – легированная шпилька, 8 – швеллер

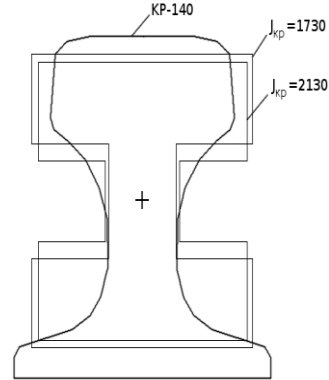


Рис. 6. Сопоставление контуров двутаврового рельса и KP-140 одинаковой площади

Ещё одним способом снижения локальных напряжений на подкрановую балку является использование крановых рельсов с улучшенными (по сравнению со стандартными) моментами инерции при кручении. Предлагается к использованию толстостенные двутавровые рельсы (квадратного сечения) [9]. Как видно из таблицы 1, при одинаковой материалоемкости можно добиться повышения момента инерции при кручении в 3 раза.

Помимо рельсов квадратного сечения, предлагается к использованию ряд специально разработанных рельсов, а именно: арочные рельсы (рис. 7) и трапецидальные рельсы (рис. 8). Данные типы рельсов обладают естественным амортизирующим эффектом, что помогает гасить волны локальных напряжений передающихся от колес крана к подкрановой балке [10].

Таблица 1

Увеличение моментов инерции кручения рельсов $J_{кр}$, при увеличении толщины t толстостенного рельса

Толщина, t , см	Габариты, $h=b$, см	Момент инерции кручения $J_{кр}$, $см^4$	Проценты, %
5	16,369 двутавр	1729,83	100
6	14,863 двутавр	2554,58	147,58
6,5	14,36 двутавр	3040,51	175,77
6,992	13,983 (квадрат со щелью)	3569,91	206,37
6,993	13,983 (щели нет, квадрат)	5375,4 (экстремум)	310,75

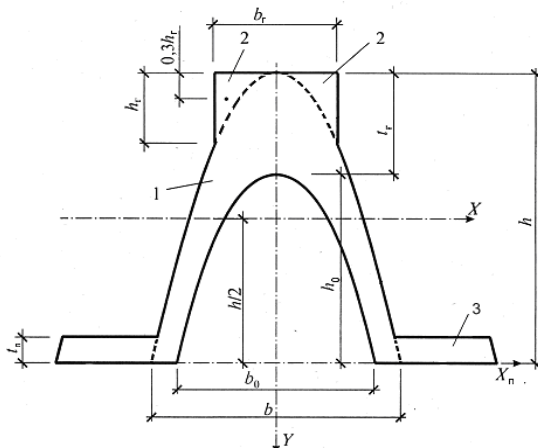


Рис. 7. Поперечное сечение арочного рельса.

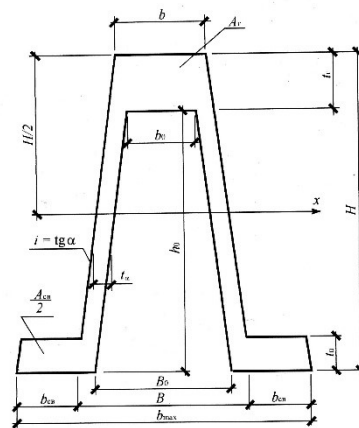


Рис. 8. Арочный трапецидальный рельс

Выводы:

1. Предложенная подкрановая конструкция имеет эксплуатационный ресурс в 4...6 раз выше чем используемые в промышленности стандартные подкрановые балки (сварные двутаврового сечения); показанный эффект достигается путем применения легированных шпилек и болтов с гарантированным натягом тарировочным ключом, что является предпосылкой для ликвидации концентрации напряжения (в т.ч. у опорного ребра).
2. Болтовые соединения является наиболее технологичными с точки зрения автоматизации сборки, что способствует повышению скорости создания подкрановых конструкций.
3. Появление усталостных трещин в зоне продольного поясного шва и ребра исключено.

4. Предлагается использовать высокоэффективные крановые рельсы (арочные, трапециевидальные и квадратного сечения), что существенно повышает технический ресурс подкрановых конструкций.

5. Использование приведенных разработок позволяют эксплуатировать подкрановые конструкции в зоне так называемой «неограниченной выносливости» [11].

6. Приведенные конструкции используются при выполнении курсовых проектов по дисциплинам «Металлические конструкции» и «Специальный курс металлических конструкций»; при написании дипломных работ студентами магистратуры и специалитета по направлениям «Строительство» и «Строительство уникальных зданий и сооружений».

Список литературы

1. Гарькин И.Н. Теоретические исследования составных неразрезных подкрановых балок // Региональная архитектура и строительство. – 2018. – № 2 (35). – С. 100-104.
2. Гарькин И. Н. Подкрановые конструкции на предприятиях Пензенской области: состояние, перспективы // Инженерно-строительный вестник Прикаспия.–2017. –№ 3 (21). – С. 20–24.
3. Сабуров В.Ф. Использование моделей упругого основания для анализа распределения локальных напряжений в стенке стальных составных балок // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Строительство и архитектура. –2014. –№ 4. Т. 14. –С. 15-20
4. Гарькин И.Н., Гарькина И.А. Экспертиза промышленной безопасности: обследование зданий с крановыми нагрузками // Современные наукоемкие технологии. – № 5. – 2018 – С. 41-45.
5. Нежданов К.К., Гарькин И.Н. Исследование напряженного состояния неразрезной подкрановой балки // Региональная архитектура и строительство.– 2019 – №2.– С.142-149.
6. Нежданов К.К., Лаштанкин А.С., Гарькин И.Н Сборные подкрановые балки из прокатных профилей // Строительная механика и расчёт сооружений.–2013–№3 –С.69-75.
7. Лесовик Р.В., Ключев С.В., Ключев А.В. Оптимальное проектирование стержневых металлических конструкций // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2008. – № 3.– С. 6-9.
8. Нежданов К.К., Нежданов А.К., Курткеев Д.Х. Способ повышения ресурса подкрановой балки// Патент РФ 2527597 от 10.09.2014.
9. Нежданов К.К., Нежданов А.К., Гарькин И.Н. Экстремальное повышение моментов инерции рельсов при кручении // Строительная механика и расчет сооружений. –2011. – № 6 (239). – С. 30-31.
10. Нежданов К.К., Гарькин И.Н. Перспективные разработки в области конструирования подкрановых конструкций // Образование и наука в современном мире. Инновации. – 2018 –№2(15).–С.204-213
11. Туманов В.А. Повышение выносливости стальных подкрановых балок // Региональная архитектура и строительство. – 2012. –№ 1. – С. 75-82.

© К. К. Нежданов, И. Н. Гарькин

Ссылка для цитирования:

К. К. Нежданов, И. Н. Гарькин Конструирование эффективных подкрановых конструкций // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2020. № 1 (31). С. 5–8.

УДК 624.078.465

ОПТИМАЛЬНОЕ УСИЛИЕ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ БОЛТОВ ВО ФЛАНЦЕВОМ СТЫКЕ

Н. Л. Тишков, А. Н. Степаненко, А. В. Белов

Тихоокеанский государственный университет, г. Хабаровск, Россия

В статье предложен прием определения величины предварительного напряжения болтов во фланцевых соединениях, необходимой для обеспечения нормальных условий его работы на всех стадиях. Работа предварительно напряженных болтов под действием внешней растягивающей нагрузки имеет некоторые особенности, внешняя растягивавшая нагрузка распределяется на две части, одна из этих частей уменьшает обжатие пакета фланцев, другая, догружает болт, увеличивая в нем усилие предварительного натяжения на эту величину. На основании анализа работы одноболтовых моделей фланцевых соединений с использованием ПК ЛИРА-САПР выполнен численный эксперимент, позволяющий определить величину усилия, на которую происходит догрузка болтов внешней нагрузкой. Построена и проанализирована номограмма усилий и деформаций в предварительно напряженном болте и пакете из фланцев фланцевого стыка. Определена предельная величина дополнительного усилия которое этот болт может воспринять в ходе эксплуатации и оптимальное усилие предварительного напряжения болтов во фланцевом стыке растянутого и изгибаемого элементов.

Ключевые слова: фланцевое соединение, болты, предварительное напряжение, оптимальное усилие, дополнительное усилие.