

*С.С. Ассауленко*, инженер, аспирант Донского государственного технического университета  
*Донской государственный технический университет, Ростов-на-Дону (Россия)*

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние; сварные угловые швы; 3D моделирование; метод конечных элементов; ремонт грузоподъемных кранов.

**Аннотация:** Проведен анализ напряженного состояния опорной платформы стрелового грузоподъемного крана. На основании результатов численного трехмерного моделирования напряженного состояния платформы проанализированы возможные способы ремонта конструкции и сделаны выводы о необходимости учета особенностей конструкции при размещении усиливающих элементов (ребер, косынок). Предложен способ ремонта, позволяющий добиться значительного снижения концентрации напряжений, как в районе сварного шва, так и около укрепляющих элементов.

## **ВВЕДЕНИЕ**

При ремонте поврежденных в процессе эксплуатации конструкций на отремонтированном участке часто устанавливают дополнительные ребра с целью разгрузить конструкцию в месте ремонта. Установка не предусмотренных проектом дополнительных деталей может существенно изменить распределение напряжений в конструкции в целом и вызвать появление новых участков концентрации напряжений. Это особенно важно для сварных конструкций с большим количеством листовых деталей с различным пространственным расположением, например, рамных конструкций. Выбор места расположения дополнительных ребер без должного обоснования может приводить к неблагоприятному перераспределению жесткости и, как следствие, к увеличению локальных напряжений на таких конструкциях. Существующие средства анализа напряженного состояния, использующие 3D модели, позволяющие обосновать принимаемые решения в отношении размещения и конструкции укрепляющих элементов. Проблема анализа напряженного состояния конструкции после ремонта особенно важна в тех случаях, когда условия эксплуатации предполагают действие переменных нагрузок.

Как правило, повреждения накапливаются в зонах изменения жесткости, так как именно в этих областях наблюдается не только концентрация напряжений, обусловленная сварными соединениями, но и неравномерное распределение номинальных напряжений [1].

Целью данной работы является обоснование различных вариантов ремонта рамы поворотной платформы крана Gottwald НМК 170 EG с позиции напряженного состояния металла в наиболее нагруженных точках.

## **МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ИЛИ РАСЧЕТОВ**

Поворотная платформа крана (Рис 1а) представляет собой коробчатую раму (1), подкрепленную ребрами жесткости (на схеме показаны пунктиром), и установленную на нее опорную обечайку поворотного устройства (2). На обечайку устанавливается поворотный механизм и стрела крана [2]. При повороте стрелы грузоподъемного крана обечайка воспринимает нагрузку через подшипник опорно-поворотного узла и передает ее раме платформы через сварное соединение в виде изгибающего момента. При этом в зоне перехода

от сварного соединения к основному металлу образуются зоны повышенной концентрации напряжений. В период эксплуатации стрела крана может занимать различные положения и создавать изгиб вдоль различных осей. На (рис. 1а) линиями I–I, II–II, III–III обозначены наиболее неблагоприятные направления стрелы.

В процессе эксплуатации кранов данного типа в порту г. Новороссийск произошло усталостное разрушение сварного шва, соединяющего платформу (1) с обечайкой поворотного устройства (2) [3].

Отремонтированные узлы укрепляли ребрами жесткости, в форме косынок, по всему периметру обечайки с внешней и внутренней стороны с шагом в 30°.

С целью обоснования вариантов ремонта конструкции был проведен конечно-элементный анализ напряженного состояния рамы поворотной платформы крана [4, 5], определены наиболее нагруженные точки и построены эпюры напряжений (рис. 1б). Значения напряжений показаны в условных единицах, для проведения анализа они были представлены в виде относительных величин, как отношение текущего значения напряжения на эпюре к максимальному значению в точке 2 (назовем его коэффициент  $\alpha$ ) при работе сварного соединения без укрепляющих ребер. Можно видеть, что в сварном соединении без подкрепления наиболее нагруженными точками являются 1 и 2, где коэффициент  $\alpha$  равен 1,00 и 0,91.

Анализ разрушения показывает, что именно в этих точках (1 и 2) произошло разрушение в период эксплуатации.

Было предложено несколько вариантов усиления конструкции. Схемы представлены на рис. 2. Первый вариант (рис. 2а) укрепляющие ребра располагались равномерно вдоль всего шва через 30°. Второй вариант (рис. 2б) укрепляющие ребра располагались в четырех местах над ребрами жесткости рамы (показаны пунктирными линиями). В третьем варианте (рис. 2в) усиление производилось внутри обечайки кольцом, снаружи при помощи расположения секторов в зонах над ребрами жесткости рамы.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

На основании моделирования напряженного состояния с использованием 3D моделирования и метода конечных элементов были проведены расчеты напряженного состояния рамы для трех вариантов укрепления сварного шва. Результаты представлены в таблице 1, где точки 1, 2 и 3 соответствуют обозначениям на рис. 1б.

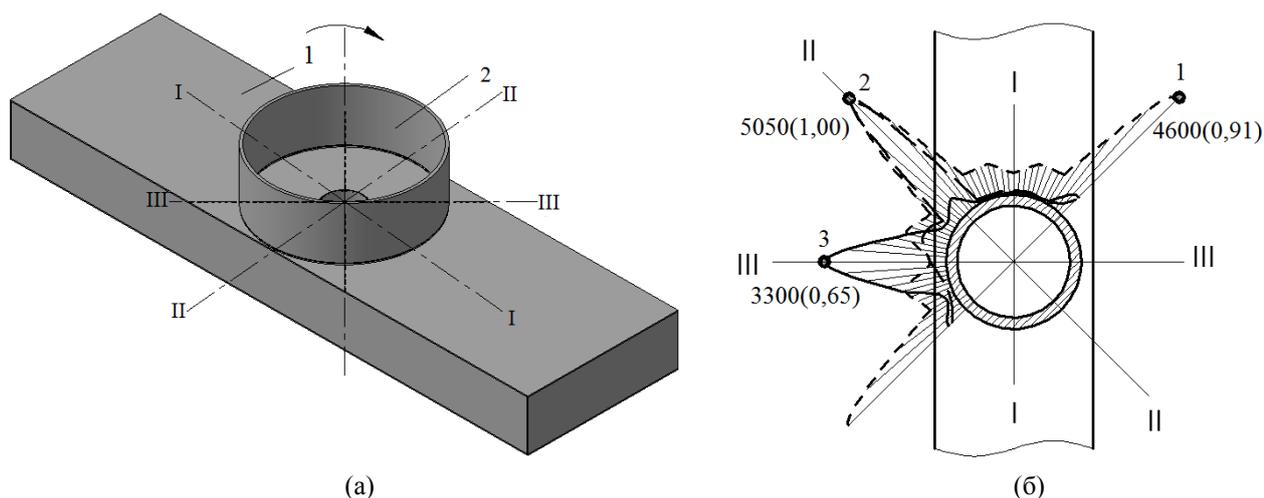


Рис. 1. Схема поворотной платформы крана (а) и эпюры напряжений (б) в сварном шве, соединяющем раму платформы 1 и обечайку опорного кольца 2

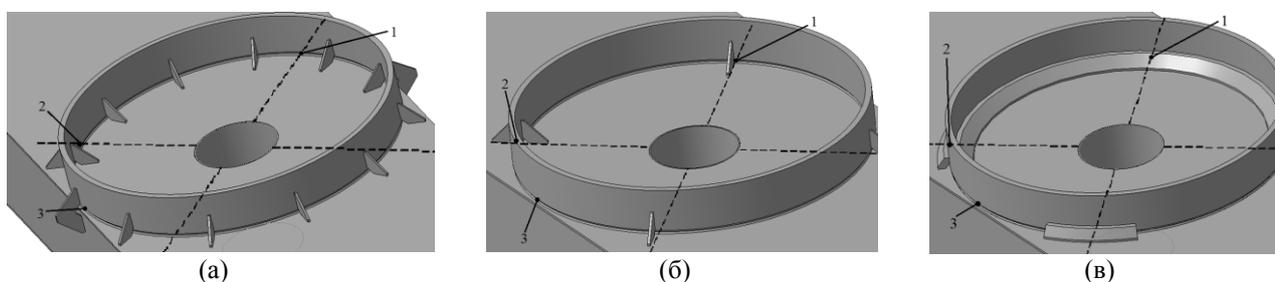


Рис. 2. Варианты размещения дополнительных элементов (ребер жесткости) с указанием точек максимальной концентрации

Таблица 1. Относительные значения напряжений в точках с наибольшей концентрацией

Номер точки (рис.1б)	Максимальное значение относительных напряжений ( $\alpha$ )			
	Без укрепления (базовый вариант)	Вариант 1 (рис. 2а)	Вариант 2 (рис. 2б)	Вариант 3 (рис. 2в)
1	0,91	0,93	0,40(0,69)	0,17(0,29)
2	1,00	0,94	0,45	0,19(0,37)
3	0,65	0,43	0,64	0,41

\* Примечание: в скобках показаны значения  $\alpha$  для тех случаев, когда зона с максимальными напряжениями перемещалась из области шва в область сочленения ребра жесткости с обечайкой

Анализ результатов расчета показал, что расстановка косынок с интервалом  $30^\circ$  (вариант 1) не дает должного эффекта и незначительно снижает напряжения в зонах концентрации (в точке 1 даже наблюдается незначительное повышение напряжений). Расстановка подкрепляющих косынок в зонах ребер жесткости рамы (вариант 2) позволяет лучшим образом снизить значения напряжений в зоне концентрации, что говорит более целесообразном применении этого способа относительно предыдущего (вариант 2). Однако наилучшие показатели по снижению концентрации напряжений в конструкции были достигнуты при помощи комбинированного усиления при помощи кольца и секторов, расположенных над ребрами жесткости рамы (вариант 3). Это обусловлено наилучшим распределением силового потока при данном варианте усиления.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Традиционная методика укрепления косынками при постановке их равномерно по всей длине стыка не всегда дает результат ввиду особенностей конструкции. В данном случае подобный тип усиления не значительно изменил напряженное состояние конструкции, так как в точках с максимальными значениями напряжений не было подкрепляющего ребра. Если проанализировать распределение напряжений для всех деталей конструкции и установить косынки в нужных местах, можно не только добиться снижения напряжений, но и сократить трудоемкость ремонтных работ.

Однако вариант 3 благодаря лучшему распределению силового потока позволяет эффективнее снизить концентрацию напряжений в конструкции.

Возможность 3D моделирования позволяет наиболее точно подобрать методику усиления конструкции.

#### ВЫВОДЫ:

1. При ремонте конструкций со сложной конфигурацией, например, рамных конструкций, необходимо обосновано подходить к выбору способа усиления конструкции и учитывать особенности жесткости и податливости, иначе это может либо не привести к желаемому эффекту, либо ухудшить ситуацию, образовав еще большие зоны концентрации напряжений.

2. В зонах расположения ребер жесткости рамы находятся зоны локального повышения напряжений, которое происходит из-за неравномерного распределения податливости соединяемых элементов вдоль шва. Именно на этих участках рекомендуется устанавливать упрочняющие элементы при ремонте поврежденной конструкции.

3. При ремонте сварного узла следует установить подкрепляющие элементы, обеспечивающие плавное распределение силового потока в месте расположения ребер жесткости платформы.

Работа выполнена по заказу ООО ИКЦ «Мысль» НГТУ согласно договору № 89-12Н от 27.01.2012 г.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ремонт конструкций и восстановление деталей сваркой и наплавкой: учеб. пособие / В.Ф. Лукьянов, Ю.Г. Людмирский, Н.Г. Дюргеров. – Ростов н/Д: Издательский центр ДГТУ, 2011. – 220 с.
2. Справочник по кранам 2 т. Т.1 / В.И. Брауде [и др.] – Л.: Машиностроение, 1988. – 536с.
3. Заключение № РНС – 33-0138 - ГПМ – 12 технической экспертизы по вопросам о причинах и характере разрушения портового мобильного крана НМК 170 ЕГ, зав. № 12818900, рег. № 511023, инв. № 93
4. Чигарев А.В., Ansys для инженеров: справочное Пособие / Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. – Санкт-Петербург: Изд. Дом «Питер», 2004 г. – 512с.
5. Лукьянов В.Ф. Анализ причин разрушения металлических конструкций опорного узла стрелового крана / В.Ф. Лукьянов, С.С. Ассауленко – Ростов-на-Дону: Вестник ДГТУ 2014 г.

#### OPTIMIZE THE PLACEMENT OF STIFFENING RIBS FOR REPAIR OF A PLATFORM LIFTING CRANES

© 2014

*S.S. Assaulenko*, engineer post-graduate student of Don State Technical University  
Don State Technical University, Rostov-on-Don (Russia)

*Keywords:* stress-strain state; welded corner joints; 3D modeling; finite element method; repair of jib cranes.

*Annotation:* The analysis of the stress state of the support platform jib crane. Based on the results of numerical simulation of 3D model stress state platform analyzed the possible ways to repair the construction and finding the structural peculiarities of placing the reinforcing elements (ribs, scarfs). A method of repair that allows to achieve a significant reduction of stress concentrations in the area of the weld, and strengthening elements around.