

Оценка работоспособности металлоконструкций ГПМ при наличии усталостных трещин

© В.А. Подгорбунский, Н.А. Орехов, В.И. Сероштан

КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Калуга, 248000, Россия

Изложены теоретические предпосылки оценки напряженно-деформированного состояния элементов металлоконструкций грузоподъемных машин (ГПМ) при наличии повреждений в виде усталостных трещин. Приведены результаты аналитического исследования процесса оценки работоспособности поврежденных крановых металлоконструкций. На основе исследований предложена методика оценки работоспособности металлоконструкций ГПМ при обнаружении в них усталостных трещин. Обозначены мероприятия по продлению срока службы крановых металлоконструкций с усталостными трещинами, включающие ремонтные работы по усилению поврежденных участков заваркой трещин в вертикальных листах балок, в поясных листах и в листах крепления кронштейнов. Предложен метод проверочного расчета металлоконструкций ГПМ с учетом проведенных ремонтных работ.

Ключевые слова: металлоконструкции, ГПМ, проверочный расчет, усталостные трещины, оценка работоспособности.

При исследовании технического состояния мостовых кранов как характерных представителей ГПМ, отработавших более 10 лет на предприятиях Калужской области, было установлено, что в процессе эксплуатации в силу особенностей конструкции и действующих на них циклических нагрузок в металлоконструкциях возникают усталостные трещины. Характер их развития бывает весьма разнообразен. При некоторых условиях возникновение и развитие трещины происходит с большой скоростью, а значит, конструкция разрушается почти мгновенно. В других случаях трещина возникает, медленно увеличивается, а затем останавливается в своем развитии или развивается с определенной скоростью, зависящей от интенсивности эксплуатации крана [1].

Исследования показали, что основным местом появления трещин являются элементы с переменным поперечным сечением, где изменяется напряженное состояние металлоконструкции, особенно при действии динамических нагрузок. Рассмотрим некоторые вопросы механизма образования трещин и оценки работоспособности конструкции при их наличии [2–6].

Наиболее характерными являются случаи появления трещины, с которой металлоконструкция работает некоторое время до ее обнаружения при очередном профилактическом осмотре. При этом необходимо определить, остановилось ли развитие трещины или в кон-

струкции созданы некоторые стационарные условия для ее роста. Решение о возможности дальнейшей эксплуатации металлоконструкции нужно принимать на основе исследования кинетики усталостной трещины.

При наличии в листовых элементах металлоконструкции усталостной трещины в окрестности ее вершины (рис. 1, точка A) возникает область концентрации напряжений.

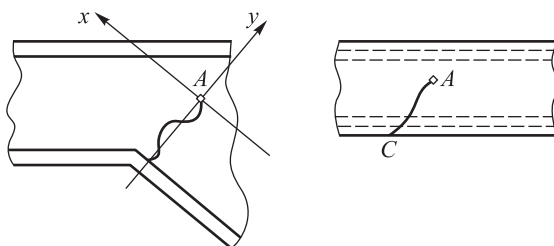


Рис. 1. Схема контура концентратора напряжений в вершине трещины

Пиковое напряжение $\sigma_{\text{п}}$ в острие вершины трещины автоматически ориентирует развитие трещин в перпендикулярном направлении. Пока напряжение $\sigma_{\text{п}}$ меньше предела стесненной текучести $\sigma_{\text{ТС}}$, его можно определить с помощью коэффициента концентрации напряжений K_{σ} . Если действующее напряжение, например, в точке A при отсутствии трещины равно $\sigma_{\text{д}}$, то

$$\sigma_{\text{п}} = K_{\sigma} \sigma_{\text{д}}. \quad (1)$$

При известных напряжениях $\sigma_{\text{д}}$ и $\sigma_{\text{п}}$ коэффициент концентрации напряжений определяется тангенсом угла α_{σ} между направлениями их действия (рис. 2):

$$K_{\sigma} = \sigma_{\text{п}} / \sigma_{\text{д}} = \text{tg } \alpha_{\sigma}. \quad (2)$$

Деформация в вершине трещины при работе элемента в упругой области

$$\varepsilon_{\text{п}} = \sigma_{\text{п}} / E. \quad (3)$$

где E — модуль упругости материала.

Деформация в точке A при отсутствии трещины

$$\varepsilon_{\text{д}} = \sigma_{\text{д}} / E. \quad (4)$$

Из выражений (3) и (4) следует, что

$$\varepsilon_{\text{п}} / \varepsilon_{\text{д}} = K_{\varepsilon} = \text{tg } \alpha_{\sigma}, \quad (5)$$

где K_{ε} — коэффициент концентрации деформаций.

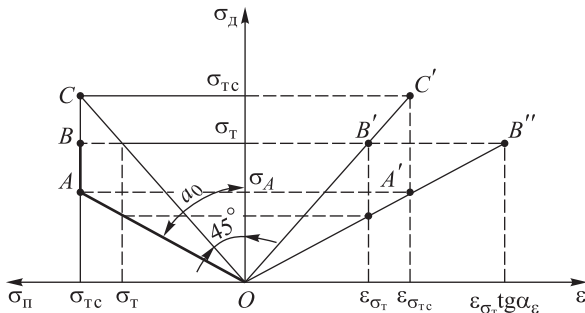


Рис. 2. График напряжение — деформация в вершине трещины

При работе элемента в упругой области $K_{\sigma} = K_{\varepsilon}$, а вершина трещины окружена упругодеформированным материалом. В области пластических деформаций условие равенства коэффициентов нарушается, при этом $K_{\sigma} < K_{\varepsilon}$. Если K_{ε} незначительно превышает K_{σ} , в вершине трещины возникает пластически деформированный участок, окруженный упругодеформированным материалом. Это так называемая стадия ранней упругопластической деформации, когда трещина еще не развивается. Наблюдается притупление ее вершины, которое можно считать как предельное равновесие в системе, при котором трещина не развивается. При достижении предельного значения коэффициента концентрации деформаций $K_{\varepsilon_{пр}}$ справедливо равенство $K_{\sigma} = K_{\varepsilon_{пр}}$. Оно является условием, при котором трещина в процессе эксплуатации элемента останавливается в своем развитии.

Для определения $K_{\varepsilon_{пр}}$ строят график в координатах $\sigma - \varepsilon$ (см. рис. 2) при условии равенства $\sigma_{п} = \sigma_{д}$. График представляет собой плоскость, в которой $\sigma_{д}$ изменяется вблизи вершины трещины и достигает значения $\sigma_{п}$. При нагружении элемента напряжение $\sigma_{п}$ изменяется по линии OA с углом наклона к оси $O\sigma_{д}$, равным α_{σ} . До достижения напряжением $\sigma_{п}$ значения $\sigma_{Тс}$ процесс идет по прямой OA , элемент работает в условиях упругих деформаций, которые при этом изменяются по прямой OA' (правая часть графика на рис. 2) и достигает значения $\varepsilon_{\sigma_{Тс}}$.

При достижении $\sigma_{п}$ значения $\sigma_{Тс}$ и при дальнейшем увеличении нагрузки в вершине трещины появляется локальная область пластической деформации. При этом деформация не изменяется и остается равной $\varepsilon_{\sigma_{Т}}$ до тех пор, пока напряжения в элементе в окрестностях за пределами области пластических деформаций не достигнут предела текучести $\sigma_{Т}$. В этом случае начнется общая пластическая деформация элемента. Таким образом, можно считать, что при наличии тре-

щины в элементе и известном значении коэффициента концентрации напряжений K_σ трещина не будет развиваться при условии, если напряжение в элементе по направлению развития трещин и за пределами области концентрации (точка A' на рис. 2) не превышает σ_A (по оси $O\sigma_d$), а деформация — $\varepsilon_{\sigma_{Tc}}$.

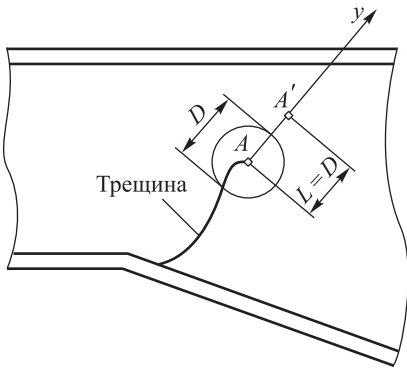


Рис. 3. Схема предполагаемого развития трещины (Ay — направление развития трещины)

Исходя из изложенного выше предлагается следующая методика определения работоспособности металлоконструкций мостового крана при наличии усталостных трещин.

1. При обнаружении трещины кран выводят из рабочей зоны и останавливают.

2. По всей длине трещины снимают слой краски до металлического блеска на ширину не менее 20 мм с каждой стороны. Около вершины трещины слой краски снимают в пределах размеров, указанных на рис. 4.

3. С помощью тензометрии или иными средствами определяют напряжение (см. рис. 4, датчики D_1 и D_2) на расстоянии не менее 70 мм от вершины. Датчики должны быть расположены перпендикулярно линии развития трещины. При возможности следует использовать датчики в виде розеток для определения направления главных напряжений.

4. В неблагоприятном положении тележки с грузом 1,25 от номинальной грузоподъемности крана определяют напряжения σ_n (датчик D_1) и σ_d (датчик D_2). Затем рассчитывают максимальный изгибающий момент в данном сечении.

Область концентрации напряжений вблизи вершины трещины приближенно определяется размером D (рис. 3). Для тонких листов (условие плоского напряженного состояния)

$$D > 0,16(k_\sigma/\sigma_T)^2,$$

для толстых листов (условие плоской деформации) [2, 4, 5]

$$D > 0,5(k_\sigma/\sigma_T)^2.$$

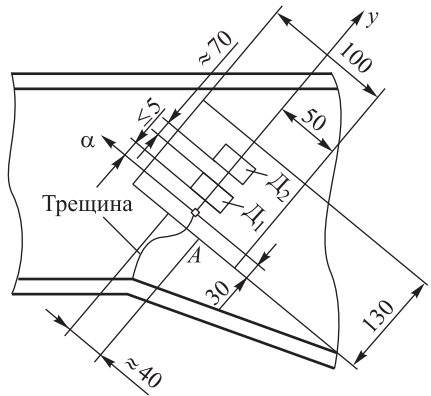


Рис. 4. Схема определения напряжений в окрестности трещины

5. Определяют расчетное напряжение $\sigma_{\text{д}}^{\text{рас}}$ в точке нахождения датчика D_2 в направлении, перпендикулярном направлению развития трещины.

6. В случае если замеренное $\sigma_{\text{д}}$ и расчетное $\sigma_{\text{д}}^{\text{рас}}$ напряжения различаются не более чем на 5 %, определяют коэффициент концентрации напряжений по формуле (2). Если значения $\sigma_{\text{д}}$ и $\sigma_{\text{д}}^{\text{рас}}$ различаются более чем на 5 %, следует установить причину расхождения и провести новые измерения.

7. Вычисляют приближенное значение коэффициента концентрации при условии $l_2 - l_1 \geq c$ по формуле

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \left(\frac{l_2 - l_1}{c} \right), \quad (6)$$

где σ_1, σ_2 — максимальные напряжения в сечениях 1-1 и 2-2; l_1, l_2 — высота сечения 2-2; c — расстояние между сечениями (рис. 5).

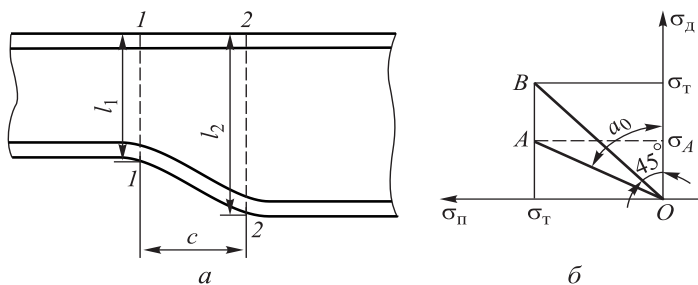


Рис. 5. Схема к определению коэффициента концентрации

8. По полученным данным для материала элемента крана строят график в координатах $\sigma_{\text{д}} - \sigma_{\text{п}}$. От оси $O\sigma_{\text{д}}$ откладывают угол α_{σ} из условия (3) (см. рис. 2). Если действующее напряжение $\sigma_{\text{д}}$ не превышает напряжения $\sigma_{\text{А}}$, то, следовательно, развитие трещины остановилось. При $\sigma_{\text{д}} > \sigma_{\text{А}}$ трещина будет развиваться.

9. Если для рассматриваемого элемента условие $\sigma_{\text{д}} \leq \sigma_{\text{А}}$ соблюдается, необходимо выполнить следующие этапы ремонта металлоконструкции:

а) в вершине трещины просверлить лист сверлом диаметром 15...20 мм и развернуть отверстие до образования чистой гладкой поверхности (можно шлифовать);

б) разделать кромки трещины и трещину заварить от начала до отверстия (отверстие не заваривать);

в) сварной шов зачистить заподлицо;

г) зачищенное место покрасить лаком, место обвести красной краской;

д) провести техническое переосвидетельствование крана, наблюдая в течение испытаний за заваренной трещиной;

е) после успешных испытаний организовать наблюдение за местом бывшей трещины, проводить осмотры не реже одного раза в месяц в течение первого года, затем один раз в полгода.

10. Если условие $\sigma_d > \sigma_A$ соблюдается, но $\sigma_d < \sigma_T$, то требуется снова провести исследования балки в месте появления трещины.

Как правило, трещины возникают в местах, где при рабочем нагружении крана «волны» деформации встречаются на своем пути препятствия в виде изменений профиля сечений или площади поперечного сечения, неравномерного распределения напряжений в близких сечениях, отклонений волны деформаций от прямолинейного пути.

В существующих конструкциях для остановки процесса развития трещины требуется проведение работ по частичному устранению причин и факторов, вызывающих это развитие.

Как правило, это усиление конструкции, которое прежде всего снижает действующие напряжения до условия $\sigma_d \leq \sigma_A$. В этом случае можно использовать несколько типовых технологий, например усилить место перехода одного сечения балки в другое, приварив ребро жесткости (рис. 6) [7–9].

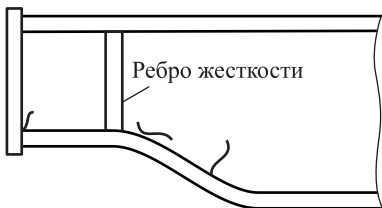


Рис. 6. Типовые виды трещин в вертикальных листах балок

При ремонте убирают ребра жесткости, вершины трещин засверливают, трещины разделяют и заваривают. После этого зачищают сварные швы, вертикальные листы усиливают накладками (рис. 7). Усиливают накладкой и поясной лист (рис. 8). Накладки на вертикальные листы, как правило, должны быть на полную высоту балки. После приварки накладок восстанавливают ребра жесткости.

При ремонте вершины трещин засверливают, трещины после разделки заваривают и зачищают заподлицо. На месте трещины приваривают накладку из листа, толщина которой должна быть меньше примерно на $1/5$ толщины поясного листа (рис. 9). По возможности длина накладки должна быть не менее $(2...3)l$. Накладки приваривают, как правило, с двух сторон балки симметрично.

При ремонте узла соединения (рис. 10, а) вершины трещин засверливают, трещины после разделки заваривают. На место трещин приваривают накладки на вертикальный лист к нижнему поясному листу, а также на лист усиления (рис. 11, а). При ремонте узла (рис. 10, б) косынки убирают, вершины трещин засверливают, трещины после разделки заваривают. На верхний лист балки приваривают накладку, а затем косынку большего размера (рис. 11, б).

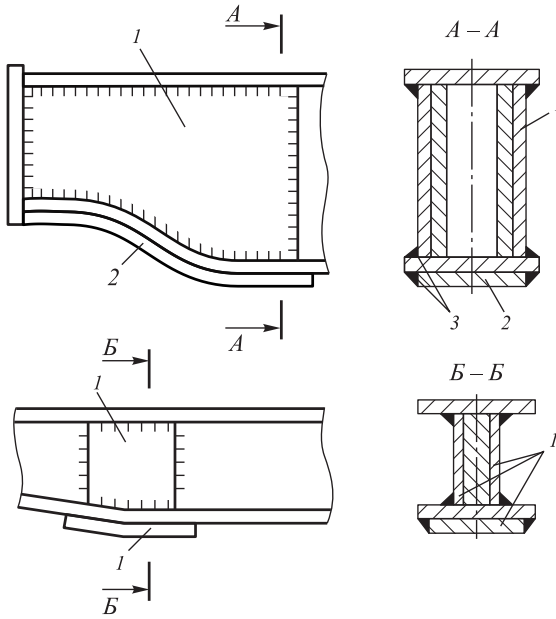


Рис. 7. Типовые схемы ремонта трещин:

1 — накладка; 2 — лист накладной; 3 — сварные швы

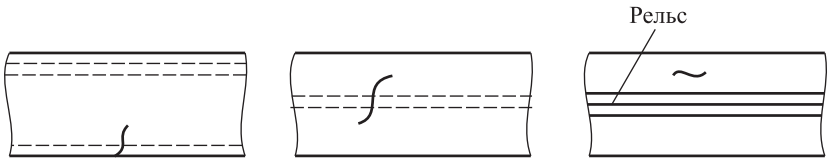


Рис. 8. Типовые виды трещин в поясных листах

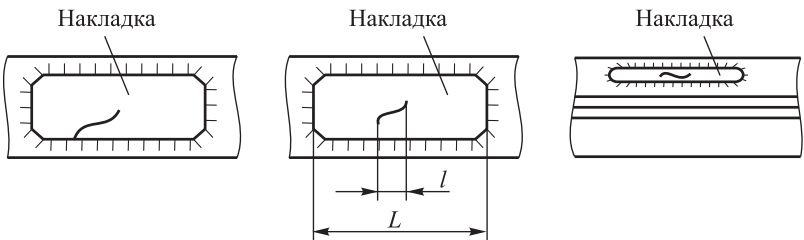


Рис. 9. Формы накладок на поясные листы металлоконструкции

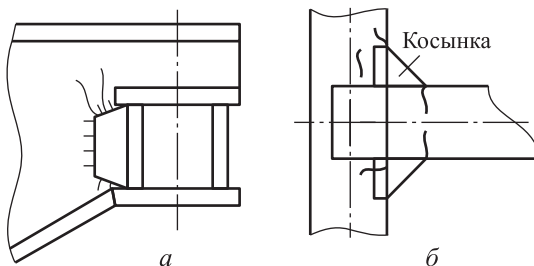


Рис. 10. Типовые виды трещин в местах соединения двух балок моста

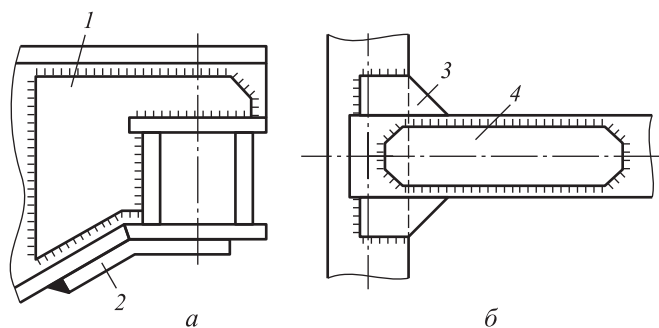


Рис. 11. Схемы усиления:

1 — накладка; 2 — лист усиления; 3 — косынка; 4 — лист накладной

При ремонте узла с трещинами в местах крепления кронштейнов вершины трещин засверливают, трещины после разделки заваривают. Место крепления кронштейна усиливается благодаря накладке на вертикальный лист балки и ребер жесткости (рис. 12).

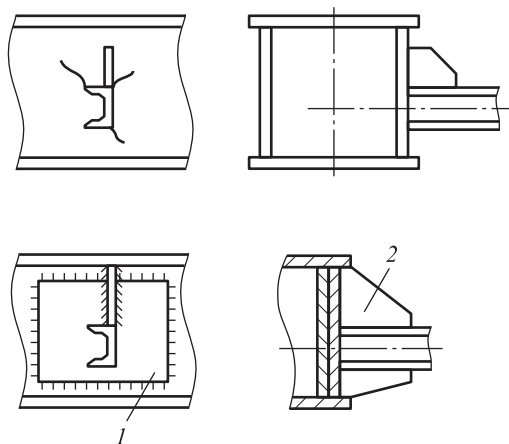


Рис. 12. Схемы усиления крепления кронштейнов:

1 — лист накладной; 2 — ребро жесткости

Отремонтированные элементы металлоконструкций подвергают диагностированию. Одним из эффективных методов диагностирования устаревших грузоподъемных машин является проверочный расчет реальных металлоконструкций в действительном техническом состоянии. На практике фактическая загруженность мостовых кранов часто не соответствует паспортному режиму работы. В результате длительной эксплуатации металлоконструкции подвергаются воздействию окружающей среды, претерпевают различного рода ремонты и реконструкции. Поэтому проверочные расчеты металлоконструкций необходимо вести по уточненным действительным эксплуатационным нагрузкам с учетом реальных воздействий окружающей среды и эксплуатационных факторов. Уточнение фактически действующих

нагрузок возможно путем установления действительных режимов работы конкретной машины в конкретных условиях. Режим работы ГПМ обуславливается в основном режимом работы механизма главного подъема, по которому и рассчитывают металлоконструкцию.

Расчет следует вести по методу предельных состояний. Предельным считается состояние, при котором эксплуатация крана практически невозможна или технически нецелесообразна. Различают три группы предельных состояний:

1) по потере несущей способности и непригодности к эксплуатации от однократного воздействия максимальных нагрузок в результате нарушения прочности или устойчивости металлоконструкции или ее элементов;

2) по потере несущей способности или непригодности к нормальной эксплуатации при многократных воздействиях различных нагрузок, что вызывается разрушениями от усталости, износа или нагрева элементов металлоконструкции;

3) по непригодности к нормальной эксплуатации вследствие недопустимых упругих деформаций и колебаний.

Для предотвращения наступления предельного состояния проводят соответствующие расчеты в зависимости от его группы:

на прочность и устойчивость против однократной максимальной нагрузки в рабочем или нерабочем состояниях по первой группе со следующим условием прочности:

$$\sigma_{\max} \leq R_v \gamma'_c, \quad (7)$$

где σ_{\max} — максимальное напряжение от расчетной нагрузки; R_v — расчетное сопротивление; γ'_c — коэффициент условий работы;

на выносливость, износ или нагрев по второй группе со следующим условием:

$$a R_v \gamma_v \leq R_u / \gamma_u, \quad (8)$$

где a , γ_v , R_v — коэффициенты при расчете сопротивления элементов конструкции растяжению, сжатию, изгибу по пределу текучести; γ_u , R_u — коэффициент надежности и расчетное сопротивление элементов конструкции растяжению, сжатию, изгибу по временному сопротивлению;

на упругие деформации или колебания по третьей группе с условием

$$f_{\text{ст}} \leq f_{\text{пред}}, \quad (9)$$

где $f_{\text{ст}}$, $f_{\text{пред}}$ — статический и предельный прогибы элементов конструкции.

Достоверность проверочного расчета во многом определяется адекватностью коэффициента условий работы γ'_c , который учитывает степень влияния отказа на металлоконструкцию (γ_{c1}), возможность повреждения элементов в процессе эксплуатации или монтажа крана (γ_{c2}) и возможные отклонения от условий действительной работы металлоконструкции или ее элементов (γ_{c3}), т. е.

$$\gamma'_c = \gamma_{c1} \gamma_{c2} \gamma_{c3}. \quad (10)$$

Если отказ связан с нарушениями функционирования или ограничениями работоспособности конструкции с предупредительным признаком, то $\gamma_{c1} = 1$. При таком же отказе без предупредительного признака для конструкции в целом $\gamma_{c1} = 1$, для отдельных элементов $\gamma_{c1} = 0,85$, для крановых путей $\gamma_{c1} = 1$. Для элементов, отказ которых вызывает угрозу жизни человека или тяжелые технологические последствия и происходит с предупредительным признаком (вязкое разрушение) $\gamma_{c1} = 0,9$, а без предупредительного признака (хрупкое разрушение) $\gamma_{c1} = 0,6$. Если число перебазировок крана $n \leq 2$, то для вертикальных стенок и поясов металлоконструкций $\gamma_{c2} = 1$, для элементов ферм $\gamma_{c2} = 0,9$, а при $n > 2$ принимают соответственно $\gamma_{c2} = 0,9$ и $0,8$.

Значения коэффициента неполноты расчета γ_{c3} ГПМ принимают по таблице.

Значения коэффициента неполноты расчета γ_{c3}

Тип металлоконструкции	Главные балки или фермы	Концевые балки	Вспомогательные фермы
Коробчатые без вспомогательной фермы	0,8	0,5	—
Коробчатые со вспомогательной фермой	1,2	0,5	0,45
Одностенчатые с двутавровой главной балкой	1,1	0,5	0,55
Решетчатые с фасонными фермами	1,1	0,5	0,55

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Сероштан В.И., Огарь Ю.С., Головин А.И., Глазун А.И., Селиванов М.И. Рахаев В.В. *Диагностирование грузоподъемных машин*. Москва, Машиностроение, 1992, 192 с.
- [2] Вершинский А.В. *Технологичность и несущая способность крановых металлоконструкций*. Москва, Машиностроение, 1984, 167 с.

- [3] Ионов В.Н., Селиванов В.В. *Динамика разрушения деформируемого тела*. Москва, Машиностроение, 1987, 272 с.
- [4] Пустовой В.Н. *Диагностирование металлоконструкций портовых перегрузок машин*. Москва, Транспорт, 1987, 176 с.
- [5] Соколов С.А., Карзов Г.П. *Прочность и долговечность металлических конструкций ГПМ*. Ленинград, ЛПИ, 1989, 88 с.
- [6] Брауде В.И., Гохберг М.М., Звягин И.Е. *Справочник по кранам*. В 2 т. Т. 1: *Характеристики материалов и нагрузок. Основы расчета кранов, их приводов и металлоконструкций*. Москва, Машиностроение, 1988, 556 с.
- [7] Концевой Е.М., Розенштейн Б.М. *Ремонт крановых металлоконструкций*. Москва, Машиностроение, 1979, 206 с.
- [8] Короткий А.А., Хальфин М.Н., Иванов Б.Ф., Логвинов А.С. *Справочное пособие по ремонту металлоконструкций грузоподъемных кранов*. Новочеркасск, НГТУ, 1994, 180 с.
- [9] Яхнин Р.Н. *Ремонт металлоконструкций мостовых кранов*. Москва, Металлургия, 1990, 96 с.

Статья поступила в редакцию 19.06.2014

Ссылку на эту статью просим оформлять следующим образом:

Подгорбунский В.А., Орехов Н.А., Сероштан В.И. Оценка работоспособности металлоконструкций ГПМ при наличии усталостных трещин. *Инженерный журнал: наука и инновации*, 2014, вып. 4. URL: <http://engjournal.ru/catalog/machin/hidden/1292.html>

Подгорбунский Василий Александрович родился в 1994 г. Студент кафедры «Детали машин и подъемно-транспортное оборудование» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: напряженно-деформированное состояние металлоконструкций ГПМ. e-mail: vasily.podgorbunsky@yandex.ru

Орехов Николай Андреевич родился в 1935 г., окончил Краматорский индустриальный институт в 1963 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры «Экономика и организация производства» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: напряженно-деформированное состояние металлоконструкций ГПМ. e-mail: n.orehow@yandex.ru

Сероштан Владимир Иванович родился 1933 г., окончил Харьковский политехнический институт в 1956 г. Канд. техн. наук, доцент кафедры «Детали машин и подъемно-транспортное оборудование» КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана. Область научных интересов: диагностирование грузоподъемных машин. e-mail: swi77@yandex.ru

Evaluation of hoisting machines performance in the presence of fatigue cracks

© V.A. Podgorbunskiy, N.A. Orehov, V.I. Seroshtan

Kaluga Branch of Bauman Moscow State Technical University, Kaluga 248000, Russia

The article deals with theoretical contributions of assessing stress-strain state of metal elements of hoisting machines (PMG) in the presence of such damages as fatigue cracks. We assessed the operability of the damaged crane fabricated metals and presented the results of this analytical research analysis. The findings of the research provide us with a technique of assessing hoisting machine operability when detecting fatigue cracks in their fabricated metals. The research has focused on actions for extending the service life of the crane fabricated metals having fatigue cracks, including repair work for strengthening the damaged parts of hoisting machines by filling-in cracks in vertical plates of beams, in cord plates and in plates of fastening ally arms. We offer a checking calculation method for fabricated metals, taking into account repair work done.

Keywords: framed metals, hoisting machines, checking calculations, fatigue cracks, performance assessment.

REFERENCES

- [1] Seroshtan V.I. Ogar' Yu.S., Golovin A.I., Glazun A.I., Selivanov M.I., Rakhaev V.V. *Diagnostirovanie gruzopod'emnykh mashin* [Diagnostics of hoists]. V.I. Seroshtan, Yu.S. Ogar', eds. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1992, 192 p.
- [2] Vershinsky A.V. *Tekhnologichnost' i nesushchaya sposobnost' kranovykh metallokonstruktsiy* [Manufacturability and bearing capacity of crane fabricated metals]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1984, 167 p.
- [3] Ionov V.N., Selivanov V.V. *Dinamika razrusheniya deformiruemogo tela* [Destruction dynamics of a deformable body]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1987, 272 p.
- [4] Pustovoi V.N. *Diagnostirovanie metallokonstruktsiy portovykh peregruzok mashin* [Diagnostics of framed metals of port machines]. Moscow, Transport Publ., 1987, 176 p.
- [5] Sokolov S.A., Karzov G.P. *Prochnost' i dolgovechnost' metallicheskiykh konstruktsiy GPM* [The strength and durability of framed metals of hoist]. Leninograd, LPI Publ., 1989, 88 p.
- [6] Braude V.I., Gokhberg M.M., Zvyagin I.E. *Spravochnik po kranam. Kharakteristiki materialov i nagruzok. Osnovy rascheta kranov, ikh privodov i metallokonstruktsiy* [Handbook of cranes. Characteristics of materials and loads. Basis of calculation of cranes, their drives and framed metals]. In 2 vol. Vol. 1. M.M. Gokhberg, ed. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988, 556 p.
- [7] Kontsevoi E.M., Rozenshtein B.M. *Remont kranovykh metallokonstruktsiy* [Repair of crane framed metals]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979, 206 p.
- [8] Korotkiy A.A., Khal'fin M.N., Ivanov B.F., Logvinov A.S. *Spravochnoe posobie po remontu metallokonstruktsiy gruzopod'emnykh kranov* [Handbook to repair framed metals of hoisting cranes]. Novocherkassk, NGTU, 1994, 180 p.
- [9] Yakhnin R.N. *Remont metallokonstruktsiy mostovykh kranov* [Repair of metal bridge cranes]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1990, 96 p.

Podgorbunskiy V.A. (b. 1994) is a student of the Machine Parts and Material Handling Equipment Department at Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University. Scientific interests include stress-strain state of framed metals of hoisting machines. e-mail: vasily.podgorbunsky@yandex.ru

Orehov N.A. (b. 1935) graduated from Kramatorsk Industrial Institute in 1963. Ph.D., Assoc. Professor of the Economics and Organization of Production Department at Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University. Scientific interests include stress-strain state of framed metals of hoisting machines. e-mail: n.orehow@yandex.ru

Seroshtan V.I. (b. 1933) graduated from Kharkov Polytechnic Institute in 1956. Ph.D., Assoc. Professor of the Machine Parts and Material Handling Equipment Department at Kaluga branch of Bauman Moscow State Technical University. Scientific interests include diagnostics of hoisting machines. e-mail: swi77@yandex.ru