

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ УГОЛЬНОГО ПЕРЕГРУЖАТЕЛЯ

Борисов М.Г.

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,
Санкт-Петербург*

Ключевые слова: сопротивление усталости, предел выносливости, метод конечных элементов, сварные соединения.

Аннотация. Разработана методика и выполнена обработка результатов усталостных испытаний сварных образцов с фланговыми швами. Напряженное состояние рассчитано МКЭ. Расчеты показали, что нормативное значение предела выносливости по конструктивным напряжениям, для узлов с фланговыми швами может быть установлено на уровне $\Delta\sigma R = 70$ МПа. Это на 10% выше значений, рекомендуемых в литературе.

RESEARCH OF FATIGUE DURABILITY OF THE METAL STRUCTURE OF THE COAL LOADER

Borisov M.G.

Peter the Great Saint-Petersburg Polytechnic University, Saint-Petersburg

Keywords: resistance to fatigue, endurance limit, method of finite elements, welded joints.

Abstract. A methodology has been developed and the results of fatigue tests of welded samples with flank seams have been processed. The stress state is calculated by the FEM. Calculations have shown that the normative value of the endurance limit for structural stresses for nodes with flank seams can be set at the level of $\Delta\sigma R = 70$ MPa. This is 10% higher than the values recommended in the literature.

Введение

Грейферные угольные перегружатели – это высокопроизводительные машины массой более двух тысяч тонн, которые обеспечивают подачу угля на теплоэлектростанциях и металлургических заводах, погрузку на корабли и перемещения на складах. Они работают в непрерывном весьма тяжелом режиме. Поэтому элементы металлической конструкции часто подвергаются усталостному повреждению. Ремонт металлических конструкций с усталостными трещинами приводит к существенному материальному ущербу, остановке работы машины и нарушению технологического процесса. В связи с этим, необходимо совершенствование методов прогнозирования усталостной долговечности сварных конструкций.

Цель работы

Необходимо адаптировать методику расчета на сопротивление усталости к проектированию с применением метода конечных элементов (МКЭ). Проблема заключается в том, что нормативные методики ориентированы на аналитический расчет действующих напряжений [1, 2]. Этот расчет дает только номинальные напряжения. В отличие от этого численный анализ позволяет получить более

детальную картину напряженного состояния рассматриваемого узла, соединения, с учётом концентрации напряжений. Изменение технологии вычисления действующих напряжений требует корректировки методики назначения пределов выносливости. Данная работа направлена на обоснование расчетного предела выносливости для узлов с фланговыми сварными швами.

Для обоснования расчетных значений пределов выносливости используются результаты усталостных испытаний сварных образцов, выполненные в ФГАОУ ВО «СПбПУ».

Обработка экспериментальных данных

Для обоснования значений пределов выносливости в конструктивных напряжениях выполнен анализ моделей, которые были построены и рассчитаны в среде Femap NX Nastran [3,4]. Геометрические параметры моделей были взяты из усталостных испытаний сварных образцов, выполненных в Политехническом университете. Размеры конечных элементов принимались такими, чтобы получить значения конструктивных напряжений.

В ходе работы были смоделированы 19 вариантов сварных образцов, которые можно разделить на три группы:

- присоединение обрезанной трубы к косынке;
- присоединение окупленной трубе к косынке;
- присоединение уголков к косынке.

Геометрические параметры образцов:

- диаметр труб $D_{mp} = 54 \dots 60$ мм;
- толщина труб $t_{mp} = 3,5 \dots 6$ мм;
- толщина косынок $t_{кос} = 7 \dots 12$ мм;
- уголки 50x50x(5÷6).

На рисунках 1-2 представлены примеры моделей, относящихся к группе 1 и группе 3 соответственно.

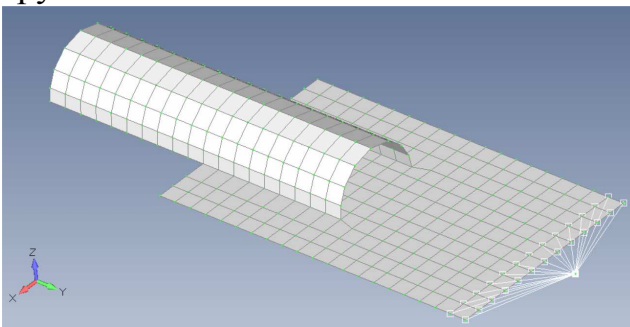


Рис. 1. Присоединение обрезанной трубы к косынке

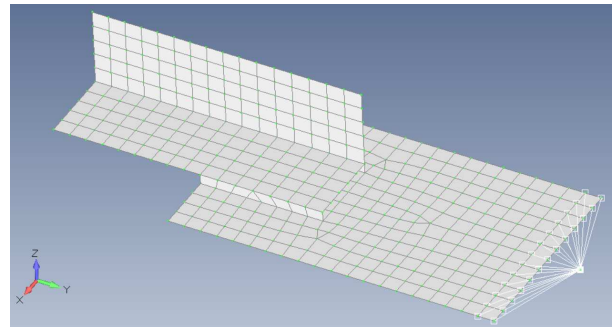


Рис. 2. Присоединение уголка к косынке

Для уменьшения времени работы строились не целиком модели образцов сварных соединений, а их части с учётом плоскостей симметрии. Данное допущение компенсировалось добавлением соответствующих граничных условий – закреплений узлов по плоскостям отсечения.

Результаты анализа экспериментальных данных

По итогам расчётов все результаты были сведены в таблицу 1.

Табл. 1. Результаты расчетов

№	t , мм	$\Delta\sigma_{-1k}$	$\sigma_{НОМ}$	Plate Top Major Prn Stress	Plate Bot Major Prn Stress	Mean Major Prn Stress	α_σ	$\Delta\sigma_R$	$\Delta\sigma_{Rn}$
A-244	6	81,6	26,5	58,7	21,2	39,95	1,51	123,2	91,2
A-256	6	78	12,37	17,3	19,2	18,25	1,47	114,7	84,9
A-260	6	74	13,92	19,5	21,6	20,55	1,48	109,5	81,0
A-258	6	88	19,5	41,9	15,1	28,5	1,46	128,5	95,1
A-320	4	74	35,2	61,2	63,2	62,2	1,77	131	87,6
A-322*	4	95	42	98,5	92,3	95,4	2,27	215,7	144,2
A-130*	3,5	114	20,7	36,4	37	36,7	1,77	201,8	130,5
A-153	3,5	94	24,8	46,2	47,5	46,85	1,89	177,7	114,9
A-246	6	81,6	15,9	20,6	22,8	21,7	1,36	111	82,1
A-345	4	101	24,5	36,9	38,8	37,85	1,54	155,5	104,0
A-346	4	81,6	24,5	36,9	38,8	37,85	1,54	125,7	84,1
A-347*	4	132	24,5	36,9	38,8	37,85	1,54	203,3	136,0
У-1	5	70	14,6	31,9	32,1	32	2,19	153,3	108,4
У-2-1	6	75	12,3	24,9	13,1	19	1,54	115,5	85,5
У-2-2	6	78	12,3	24,9	24,5	24,7	2	156	115,5
У-3	6	102	12,3	12,9	13,3	13,1	1,07	109,1	80,7
У-4	6	82	12,3	24,2	25,2	24,7	2	164	121,4
У-5	6	78	12,3	21,8	20,9	21,35	1,74	135,7	100,4

Символом «*» отмечена особая группа, которая не включается в исследование, так как сварные соединения такого типа не используются на практике и были выполнены с исследовательскими целями.

Из программы были получены эквивалентные напряжения по Мизесу и первые главные напряжения, что позволяет рассчитать коэффициент концентрации напряжений α_σ

$$\alpha_\sigma = \frac{\text{MeanMajorPrnStress}}{\sigma_{НОМ}}. \quad (1)$$

От коэффициента концентрации напряжений перейдем к пределу выносливости по конструктивным напряжениям:

$$\Delta\sigma_R = \Delta\sigma_{-1k} \cdot \alpha_\sigma, \quad (2)$$

где $\Delta\sigma_{-1k}$ – размах конструктивных напряжений.

Так же предел выносливости для сварных узлов в состоянии после сварки при расчёте по основному элементу определяется следующим образом [1]:

$$\Delta\sigma_R = \Delta\sigma_{Rn} \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^{0,25}, \quad (3)$$

где $\Delta\sigma_{Rn}$ – нормативный предел выносливости по размаху нормальных напряжений, определенный на базе N_R ; $t_0 = 20$ мм – толщина базового образца; t – толщина исследуемого образца.

Тогда

$$\Delta\sigma_{Rn} = \frac{\Delta\sigma_R}{\left(\frac{t_0}{t}\right)^{0,25}}. \quad (4)$$

Были построены графики пределов выносливости (рис. 3) и нормативных пределов выносливости (рис. 4) для трёх групп. Рассчитаны среднее выборочное значение, среднеквадратическое отклонение и нижняя граница разброса (5) для групп, приведенных к нормативным пределам выносливости.

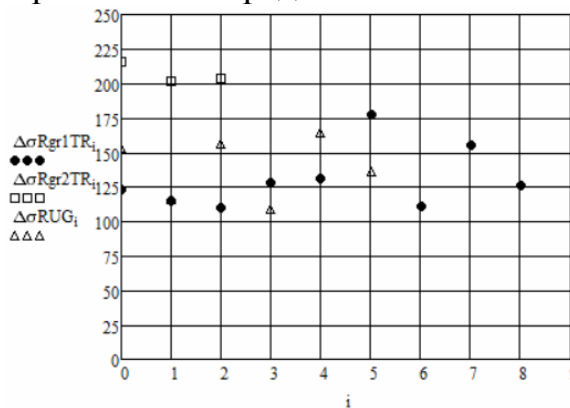


Рис. 3. График пределов выносливости:

$\Delta\sigma_{Rgr1TR}$ – пределы выносливости полученные по моделям с обрезанной трубой;

$\Delta\sigma_{Rgr2TR}$ – пределы выносливости полученные по моделям с окуполенной трубой;

$\Delta\sigma_{RUG}$ – пределы выносливости полученные по моделям с уголками

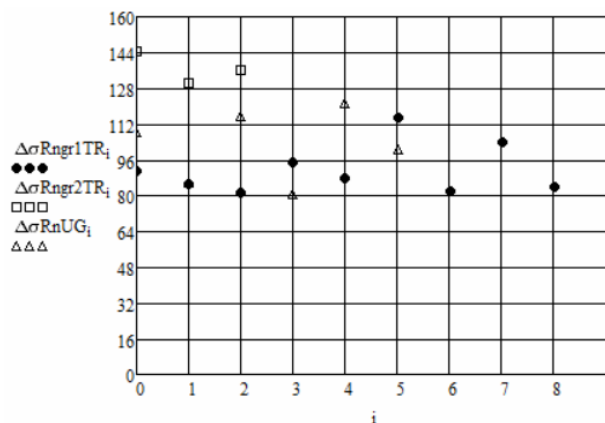


Рис. 4. График нормативных пределов выносливости[^]

$\Delta\sigma_{Rngr1TR}$ – нормативные пределы выносливости полученные по моделям с обрезанной трубой; $\Delta\sigma_{Rngr2TR}$ – нормативные пределы выносливости полученные по моделям с окуполенной трубой; $\Delta\sigma_{RnUG}$ – нормативные пределы выносливости полученные по моделям с уголками

Среднее выборочное значение $m\sigma = 91,7$ МПа .

Среднеквадратическое отклонение $s\sigma = 10,7$ МПа .

Нижняя граница разброса:

$$\sigma_{gr} = m\sigma - 2 \cdot s\sigma = 70,3 \text{ МПа} . \quad (5)$$

В работах [5,6] для расчета сварных узлов с фланговыми швами рекомендуется использовать пределы выносливости по конструктивным напряжениям $\Delta\sigma_R = 63 \text{ МПа}$. Это значение меньше нижней границы разброса пределов выносливости, полученных расчетно-экспериментальным методом. Таким образом, рекомендуемое значение дает излишний запас. Обработка результатов испытаний показала, что, нормативное значение предела выносливости можно установить на уровне $\Delta\sigma_R = 70 \text{ МПа}$.

Заключение

Обработка результатов усталостных испытаний сварных образцов показала, что нормативное значение предела выносливости по конструктивным напряжениям, для узлов с фланговыми швами может быть установлено на уровне $\Delta\sigma_R = 70 \text{ МПа}$. Это на 10% выше значений, рекомендуемых в литературе.

Список литературы

1. ГОСТ 33169-2022. Краны грузоподъемные. Металлические конструкции. Подтверждение несущей способности.
2. Прочность сварных соединений при переменных нагрузках. АН УССР, ИЭС им. Е.О. Патона / Под ред. В.И. Труфякова. – Киев: Наукова думка, 1990. – 256 с.
3. Шимкович Д.Г. Расчет конструкций в MSC.visualNastran for Windows. – М.: ДМК Пресс, 2004. –704 с.
4. Рычков С.П. Моделирование конструкций в среде Femap with NX Nastran. – М.: ДМК Пресс, 2013. –784 с.
5. Соколов С.А., Паутова Т.А. Нормирование пределов выносливости сварных узлов для проектирования с применением МКЭ // Вестник машиностроения. – 2023. – №2. – С. 24-30. – DOI: 10.36652/0042-4633-2023-102-2-142-149.
6. Соколов С.А. Критерии работоспособности металлических конструкций. Проектирование с применением МКЭ. – СПб.: Страта, 2023. – 202 с.

Сведения об авторе:

Борисов Максим Германович – студент.