

УДК: 621.22

## ОПТИМИЗАЦИЯ СВАРНЫХ КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ



### WELDED CALCULATION PROCEDURE FATIGUE COMPOUNDS

**Рагимова Махлуга Сурхаевна**

кандидат технических наук,  
Азербайджанский государственный  
университет нефти и промышленности  
Rahimova\_mahluqa@mail.ru

**Аннотация.** Рассматривается распространение волн напряжений в сварных соединениях с целью оценки концентрации напряжений в зоне сварного шва в зависимости от его геометрических и физических параметров. Если эти временные напряжения не превзойдут предела текучести материала, то к моменту полного остывания температурные напряжения исчезнут и остаточные напряжения не возникнут.

**Ключевые слова:** детали машин, напряжения, сварных соединения, гидротехнических сооружениях, усталость, коэффициент, прочность.

**Ragimova Makhluqa Surkhaevna**

Candidate of Technical Sciences,  
Azerbaijani state oil and industry university

**Annotation.** The propagation of stress waves in welded joints is considered in order to assess the concentration of stresses in the weld zone, depending on its geometric and physical parameters. If these temporary stresses do not exceed the yield strength of the material, then by the time of complete cooling the temperature stresses will disappear and residual stresses will not occur.

**Keywords:** machine parts, stresses, welded joints, hydraulic structures, fatigue, coefficient, strength.

## Введение

В статье рассматривается повышение качества сварных соединений деталей с большой разницей толщин на основе теоретических и экспериментальных исследований условий и процесса их соединения и разработки новых способов и технологических процессов сварки. Сварка, так же как и другие технологические процессы в машиностроении и строительстве (литье, обработка давлением, резание, термическая обработка), вызывает возникновение в деталях и частях сооружений остаточных напряжений [1–3]. Причиной этого являются неодинаковые линейные или объемные деформации соседних объемов металла.

Некоторые исследователи делят напряжения, возникающие при сварке, на остаточные напряжения, которые появляются в результате жесткого закрепления свариваемых элементов. С нашей точки зрения, такое деление не может считаться целесообразным, так как по существу различие между напряжениями и вообще остаточными напряжениями установить трудно.

Определение границ системы для балочных конструкций гидротехнических сооружений (рис. 1) является тривиальной задачей.

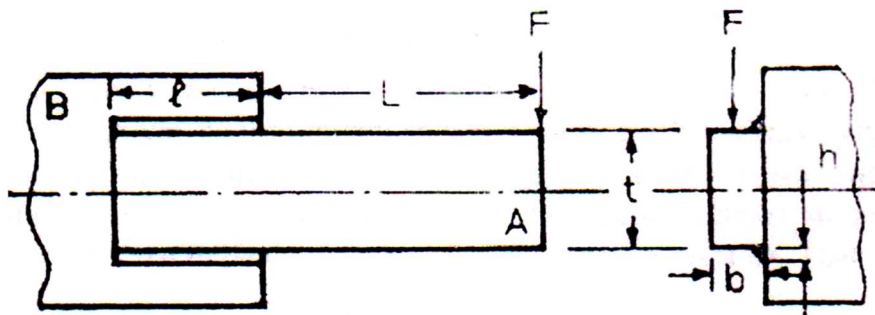


Рисунок 1 – Схема нагружения балочной конструкции

Система состоит из балки А и сварного шва, необходимого для прикрепления балки к опоре В. Независимыми, или управляемыми, переменными служат размеры  $h$ ,  $l$ ,

$t$  и  $b$ , которые показаны на рисунок 1. Для удобства записи представим введенные переменные как компоненты неизвестного вектора  $x$ :

$$X = [x_1, x_2, x_3, x_4]^T = [h, l, t, b]^T.$$

*Постановка задачи*

Характеристическим показателем качества проекта служат затраты на построение сварной группы. Основными стоимостными характеристиками такой группы являются; затраты на подготовительные работы, затраты на сварочные работы и стоимость материала, т.е.:

$$F(x) = c_0 + c_1 + c_2,$$

где  $F(x)$  – функция затрат;  $c_0$  – затраты на подготовительные работы;  $c_1$  – затраты на сварочные работы;  $c_2$  – стоимость материалов, равная:

$$c_2 = c_3 V_m + c_4 V_B,$$

где  $c_3$  – стоимость (объем сварного шва);  $c_4$  – стоимость (объем балки);  $V_m$  – объем сварного шва;  $V_B$  – объем балки.

Из геометрических соотношений следует, что:

$$V_m = 2 \left( \frac{1}{2} h^2 t \right) = h^2 t; \tag{1}$$

$$V_B = t \cdot b(L + l).$$

Имеем:

$$c_2 = c_3 h^2 t + c_4 t b [L + l],$$

Следовательно, функция затрат принимает следующий вид:

$$F(x) = h^2 t + c_3 h^2 t + c_4 t b (L + b) \tag{2}$$

или если выразить  $F(x)$  через переменные  $x$  получим:

$$F(x) = h^2 l + c_3 h^2 l + c_4 t b (L + b). \tag{3}$$

*Решение задачи*

Заметим, что все комбинации значений  $x_1, x_2, x_3$  и  $x_4$  могут оказаться допустимыми, если балка выдерживает заданную нагрузку. Необходимо построить несколько функциональных соотношений между управляемыми переменными, позволяющих сузить область их допустимых значений. Эти соотношения, записанные в форме неравенств, представляют модель системы. Сначала приведем эти неравенства, а затем интерполируем их.

Имеем:

$$g_1(x) = \tau_d - \tau(x) \geq 0, \tag{4}$$

$$g_2(x) = \sigma_d - \sigma(x) \geq 0, \tag{5}$$

$$g_3(x) = x_4 - x_1 \geq 0, \tag{6}$$

$$g_4(x) = x_2 \geq 0, \tag{7}$$

$$g_5(x) = x_3 \geq 0, \tag{8}$$

$$g_6(x) = P_c(x) - F \geq 0, \tag{9}$$

$$g_7(x) = x_1 - 0,125 \geq 0, \tag{10}$$

$$g_8(x) = 0,25 - \delta(x) \geq 0. \quad (11)$$

где  $\tau_d$  – расчетное напряжение в сварном шве при сдвиге;  $\tau(x)$  – максимальное напряжение в сварном шве при сдвиге, функция  $x$ ;  $\sigma_d$  – расчетное нормальное напряжение для материала балки;  $\sigma(x)$  – максимальное нормальное напряжение в балке, функция  $x$ ;  $P_c(x)$  – критическая нагрузка на балку, функция  $x$ ;  $\delta(x)$  – величина прогиба конца балки, функция  $x$ .

Для того чтобы завершить построение модели, необходимо ввести в рассмотренные несколько формул из теории сопротивления материалов.

Напряжение в сварном шве  $\tau(x)$ . В соответствии с работой [1–3] напряжение в сварном шве можно разложить на две составляющие  $\tau'$  и  $\tau''$ :

$$\tau' = \frac{F}{x_1 x_2 \sqrt{2}} \text{ и } \tau'' = \frac{MR}{J}.$$

При этом:

$$M = F \left[ L + \left( \frac{x_2}{2} \right) \right];$$

$$R = \left\{ \frac{x_2^2}{4} + \left[ \frac{x_3 + x_1}{2} \right]^2 \right\}^2;$$

$$J = 2 \left\{ 0,707 x_1 x_2 \left[ \frac{x_2^2}{12} + \left( \frac{x_3 + x_1}{2} \right)^2 \right] \right\}.$$

где  $\tau'$  – первичное напряжение в плоскости поперечного сечения сварного шва;  $\tau''$  – вторичное напряжение при кручении;  $M$  – момент силы  $F$  относительно центра тяжести сварной группы;  $J$  – полярный момент инерции сварной группы.

Напряжение  $\tau$  в сварном шве вычисляется в соответствии с формулой:

$$\tau(x) = [(\tau')^2 + 2\tau'\tau'' \cos\theta + (\tau'')^2]^{1/2},$$

где  $\cos\theta = \frac{x_2}{2R}$ .

Напряжение при изгибе балки  $\sigma(x)$ . Максимальное напряжение при изгибе равно:

$$\sigma(x) = \frac{6FL}{x_4 x_3^2}.$$

Критическая нагрузка на балку  $P_c(x)$ . С ростом отношения  $\frac{t}{b} = \frac{x_3}{x_4}$  наблюдается

тенденция к потере устойчивости балки. Те комбинации значений  $x_3$  и  $x_4$ , при которых возможна потеря устойчивости, необходимо исключить из числа допустимых.

В работе [3, 4] показано, что для балок, близких к прямоугольным, критическая нагрузка приближенно описывается следующим выражением:

$$P_c(x) = \frac{4,013 \sqrt{El\alpha}}{L^2} \left[ 1 - \frac{x_3}{2L} \sqrt{\frac{El}{\alpha}} \right],$$

где  $E$  – модуль Юнга;  $I$  – радиус инерции;  $G$  – модуль сдвига.

Прогиб балки  $\delta(x)$ . Для вычисления величины прогиба балка представляется как консоль с длиной вылета  $L$ . Тогда:

$$\delta(x) = \left( \frac{4FL^3}{E x_3^3 x_4} \right).$$

Параметры  $\tau_d$  и  $\sigma_d$  в формулах (4) и (5) для определения  $g_1$  и  $g_2$  зависят от материала конструкции.

### Выводы

Оптимизационная задача проектирования включает функцию затрат и сложную систему неравенств, которая получается путем подстановки приведенных выше формул в

$$g_{03} = C_3 t b l \text{ и } \vartheta(\delta) = \left( \frac{C_{01}}{\delta_1} \right)^{\delta_1} \left( \frac{C_{01}}{\delta_2} \right)^{\delta_2} \left( \frac{C_{11}}{\delta_3} \right)^{\delta_3} \left( \frac{C_{21}}{\delta_4} \right)^{\delta_4} \delta_3^{\delta_3} \delta_4^{\delta_4}.$$

При этом все функции оказываются выраженными через четыре независимые переменные.

### Литература

1. Kərimov Z.H. Maşın hissələri və yükqaldırıcı nəqliəici maşınlar. – Bakı : «Maarif», 1985. – S. 416.
2. Вишняков Я.Д., Пискарев В.Д. Управление остаточными напряжениями в металлах и сплавах. – М. : Metallurgy, 1989. – 254 с.
3. Винокуров В.А., Григорьянц А.Г. Теория сварочных деформаций и напряжений. – М. : Машиностроение, 1984. – 284 с.
4. Партон В.З., Перлин П.И. Методы математической теории упругости. – М. : Наука. 1981. – 688 с.
5. Кудрявцев И.В., Наумченков Н.Е. Усталость сварных конструкций. – М. : Машиностроение, 1976. – 270 с.
6. Николаев Г.А., Куркин С.А., Винокуров В.А. Расчет, проектирование и изготовление сварных конструкций. – М. : Машиностроение, 1971. – 316 с.

### References

1. Kərimov Z.H. Maşın hissələri və yükqaldırıcı nəqliəici maşınlar. – Bakı : «Maarif», 1985. – S. 416.
2. Vishnyakov Ya.D., Piskarev V.D. Management of residual stresses in metals and alloys. – M. : Metallurgy, 1989. – 254 p.
3. Vinokurov V.A., Grigoryants A.G. Theory of the welding deformations and stresses. – M. : Ma-engineering, 1984. – 284 p.
4. Parton V.Z., Perlin P.I. Methods of Mathematical Theory of Elasticity. – M. : Science, 1981. – 688 p.
5. Kudriavtsev I.V., Naumchenkov N.E. Fatigue of Welded Structures. – M. : Mechanical Engineering, 1976. – 270 p.
6. Nikolaev G.A., Kurkin S.A., Vinokurov V.A. Calculation, design and manufacture of welded structures. – M. : Mashinostroenie, 1971. – 316 p.