

УДК 539.3

Д.Г. Зеленцов, Ю.А. Храпач, Н.А. Солодкая

## УЧЕТ КОНЦЕНТРАТОРОВ КОРРОЗИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СЖАТЫХ СТЕРЖНЕЙ

**Постановка проблемы.** Часто в строительных и промышленных конструкциях используются стержневые элементы, составленные из профилей различных типов и размеров. Между тем, практически все виды соединений могут быть концентраторами коррозии, в том числе способствовать переходу сплошной коррозии в локальную. К числу наиболее технологичных и распространенных типов соединений можно отнести сварные соединения.

В связи с этим исследование долговечности стержневых конструкций, имеющих сварные соединения, является актуальной задачей.

**Анализ последних исследований.** В [1] приводится краткий анализ влияния формы сечения стержневых элементов на их долговечность. К сожалению, там практически не исследовано влияние на долговечность способа соединения элементов и концентраторов коррозии, вызванных тем или иным соединением.

**Формулировка целей.** Целью работы является исследование долговечности сжатых стержней, имеющих сварные соединения. Стержни подвержены коррозионному воздействию, математическая модель, которого имеет вид:

$$\frac{d\delta}{dt} = v_0(1 + k\sigma) \quad (1)$$

Здесь  $\delta$  и  $\sigma$  – глубина коррозии и напряжение в элементе;

$v_0$  – скорость коррозии при отсутствии напряжений;

$k$  – коэффициент, учитывающий влияние напряжений на скорость коррозии;

$t$  – время;

Основная часть. Особенности коррозии сварных соединений достаточно подробно описаны в [2, 3]. Из большого количества факторов, влияющих на скорость коррозии сварных швов, следует особо выделить неравномерность электродного потенциала на поверхности металла вблизи шва. Следуя [4], выделяют три зоны,

отличающиеся значением электродного потенциала на поверхности металла: основной металл; зона термического влияния и сварной шов. Именно из-за того, что величина потенциала в зоне термического влияния и шва значительно выше, чем в зоне основного металла, сварные швы являются концентраторами коррозии. Пренебрегая возможностью возникновения локальных очагов коррозии, рассмотрим задачу долговечности сжатого сварного стержня с учетом концентрации коррозии в зоне сварного шва. Будем считать, что глубина сварного одинакова по всей длине стержня, и долговечность стержня определяется ограничением по устойчивости. В этом случае возможны два состояния стержня: когда его составные элементы связаны посредством сварки и представляют единое целое, и когда связь между ними теряется вследствие коррозии сварного шва. В последнем случае каждый составной элемент работает независимо от других.

Ограничимся случаем электрохимической коррозии. Как показано еще М. Фарадеем, на скорость электрохимического растворения металла в электролите существенно влияет величина анодного тока  $I$ . Между этим параметром и величиной электродного потенциала  $\varphi$  существует взаимосвязь, определяемая формулой Тафеля [5]:

$$\varphi = a + b \lg i; i = \frac{I}{F} \quad (2)$$

где  $a$  и  $b$  – константы, постоянные для всех точек корродирующей поверхности;  $i$  – плотность тока растворения;  $F$  – площадь контакта поверхности с агрессивной средой.

Считая значение величины  $F$  постоянным, и учитывая, что глубина коррозионного поражения прямо пропорциональна плотности тока растворения  $i$ , определим значение коэффициента концентрации коррозии. Пусть  $v_0^*, \varphi^*$  – значение скорости коррозии и величина электродного потенциала в зоне термического влияния или сварного шва. Определяя из (2) значение плотности тока  $i$ , получим:

$$\zeta = \frac{v_0^*}{v_0} = 10^{\frac{|\varphi^* - \varphi|}{b}} \quad (3)$$

Как следует из этой формулы, величина коэффициента концентрации коррозии зависит от разности потенциалов на поверхности корродирующего металла вблизи сварного шва. Данные

для расчета коэффициентов концентрации приводятся, например, в [6]. Так, например, для углеродистых сталей, распределение электродного потенциала вблизи шва, выполненного с помощью газовой сварки проволокой из стали марки 17Г2С1, имеет следующий вид:  $\varphi_m = -500$  мВ;  $\varphi_{змс} = -550$  мВ;  $\varphi_{сш} = -540$  мВ; значение коэффициента  $b = 80$  мВ. Данные получены для агрессивной среды – 3 % раствора NaCl. Значение коэффициента концентрации в этом случае  $\zeta \approx 3,16$ .

В качестве примера рассмотрим задачу долговечности сжатого стержня, собранного посредством сварки из двух уголкового профиля № 16 (ГОСТ 8510-86). При решении задачи будем считать, что площадь наплавленного металла в сечении пренебрежимо мала по сравнению с площадью основного металла.

Рассмотрим два временных интервала:  $t \in [0; \tilde{t}]$  и  $t \in (\tilde{t}; t^*]$ . В течение первого интервала сварка обеспечивает связь между отдельными фрагментами сечения. Возможное деформирование стержня возможно в плоскости минимального момента инерции относительно оси  $X_0$  (рис.1а). Положение этой оси определится по формуле

$$y_0(t) = \frac{S_x(t)}{F(t)} \quad (4)$$

где  $S_x$  – статический момент инерции сечения относительно оси  $X$ ,  $F$  – площадь поперечного сечения стержня.

$$S_x = (T - 2\delta_1)[(B - 2\delta_1)^2 - (D - 2\delta_1)^2] + \frac{1}{2}(D - 2\delta_1)^2(H - 2\delta_1) \quad (5)$$

$$F = (H - 2\delta_1)(D - 2\delta_1) + 2(T - 2\delta_1)(B - D) \quad (6)$$

где  $B$ ,  $H$ ,  $D$ ,  $T$  – геометрические размеры поперечного сечения стержневого элемента.

Момент времени  $\tilde{t}$  соответствует полному разрушению сварного соединения. По истечению этого времени связь между фрагментами сечения теряется, и возможное деформирование каждого из фрагментов осуществляется в плоскости своего минимального момента инерции – относительно осей  $u_1v_1$  и  $u_2v_2$  (рис. 1б). Таким образом, функция, определяющая зависимость критического напряжения потери устойчивости от времени в окрестности точки  $\tilde{t}$  будет иметь точку разрыва первого рода.

На рисунке 2 показаны эти зависимости для стержней длиной  $L=550$  см (кривые 1), 500 см (кривые 2) и 450 см (кривые 3). Нижняя кривая соответствует росту текущих напряжений в сечении стержня. Так как величина нагрузки полагалась неизменной, нижняя кривая одинакова для всех трех стержней. Результаты получены для сжимающей нагрузки  $Q=10000$  кг и следующих параметров коррозионного износа:  $v_0=0,1$  см/год;  $k=0,003$  МПа<sup>-1</sup>. Значение коэффициента концентрации коррозии, согласно данным о распределении величины электродного потенциала в области сварного шва принималось равным  $\zeta=2,5$ .

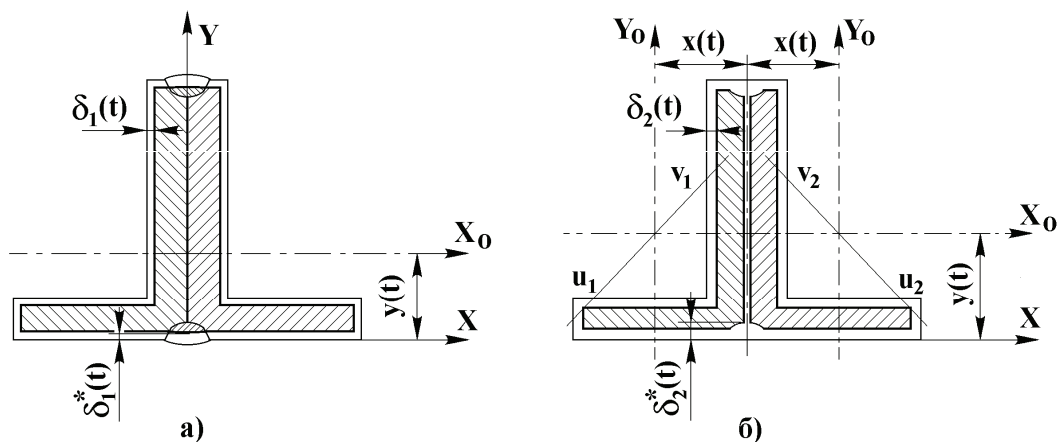


Рисунок 1 – Возможные случаи потери устойчивости сварного профиля

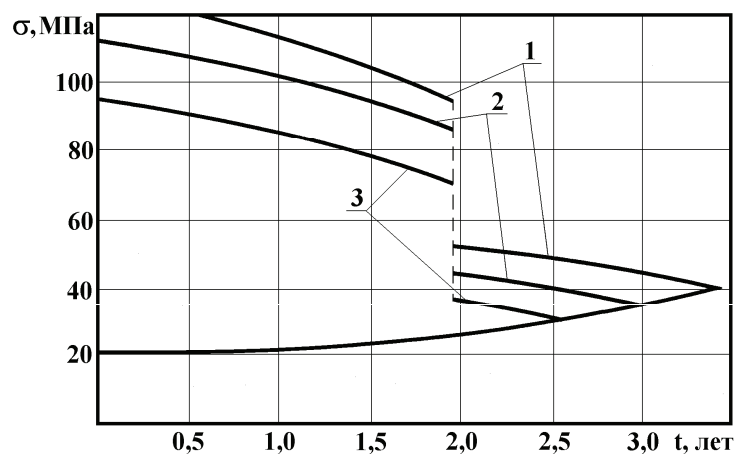


Рисунок 2 – Изменение текущих и критических напряжений в сжатых сварных стержнях

**Выводы.** На примере сварных соединений исследован механизм возможного деформирования составных стержней при потере устойчивости.

На основании приведенных исследований можно сделать вывод о нецелесообразности применения сварных соединений в конструкциях, предназначенных для эксплуатации в агрессивных средах, особенно в тех случаях, когда возможна полная коррозия сварного шва.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Петров В. В., Овчинников И. Г., Шихов Ю. М. Расчет элементов конструкций, взаимодействующих с агрессивной средой. – Саратов: СГУ, 1987. – 288 с.
2. Стеклов О.И. Стойкость материалов и конструкций к коррозии под напряжением. – М.: Машиностроение, 1990. – 384 с.
3. Стеклов О.И. Прочность сварных соединений в агрессивных средах. – М.: Машиностроение, 1976. – 220 с.
4. Чернов Б.Б., Чичкин Р.В. Модельный расчет распределения тока коррозии по поверхности сварных соединений. // Защита металлов, 1983. – №5. – с. 784-788.
5. Скорчелетти В. В. Теоретические основы коррозии металлов. Л.: Издат-во Химия, 1973. – 263 с.
6. Сварка в машиностроении: Справочник в 4-х т. / Под. Ред. В.А. Винокурова. – М.: Машиностроение, 1973. – Т. 3. – 567 с.

Получено 10.06.2007 г.