

## Расчет строительных конструкций

### ЗАПАС ПРОЧНОСТИ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ ПРИ КОРРОЗИОННОМ И ВОДОРОДНОМ РАСТРЕСКИВАНИИ

А.Б. КОЗАЧЕНКО, *д.т.н., профессор*

С.С. ИВАНОВ, *д.х.н., профессор*

Е.В. ДИКОВА, *аспирант*

*Московский государственный вечерний металлургический институт*

*111250, ул. Лефортовский вал, д. 26; сайт: www.mgvmti.ru*

*Исходя из экспериментальных данных исследования коррозионного и водородного растрескивания от действия растягивающих напряжений и критерия линейного суммирования накопленных повреждений приводится оценка запаса прочности металлических изделий при действии переменных растягивающих напряжений.*

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** прочность, запас прочности, длительная прочность, металлические изделия, водородное растрескивание, коррозионное растрескивание, напряжения при растяжении.

Выражения запаса прочности металлических изделий от действия растягивающих напряжений при коррозии и водородном растрескивании было получено исходя из критерия длительной прочности в виде интеграла Бейли и экспериментальных зависимостей долговечности от действующих напряжений [1].

При коррозионном растрескивании запас прочности определяется следующим выражением:

$$\eta = \frac{k + \sigma_k t^*}{\int_0^{t^*} \sigma dt},$$

где  $t^*$  – предельное время до разрушения,  $\sigma_k$  – максимальное напряжение ниже которого не обнаруживается коррозионного растрескивания,  $k$  – константа, характеризующая степень увеличения скорости распространения трещин при повышении напряжений растяжения,  $\sigma$  – действующее напряжение.

При исследовании влияния хрома на коррозионное растрескивание углеродистой стали (0,26% С) с отпуском в 300° С были получены следующие параметры долговечности при содержании хрома 2,48% [2]:

$$\sigma_k = 310 \text{ МПа}, \quad k = 3000 \text{ МПа} \cdot \text{мин.}$$

При действии постоянного напряжения 600 МПа определим долговечность

$$\tau = t^* = \frac{k}{\sigma - \sigma_k} = \frac{3000}{600 - 310} \cong 10 \text{ мин.}$$

Если действует несколько уровней постоянных напряжений, запас прочности определяется по формуле

$$\eta = \frac{k + \sigma_k t^*}{\int_0^{t^*} \sigma dt} = \frac{k + \sigma_k t^*}{\sum_{i=1}^n \sigma_i t_i}.$$

Для примера рассмотрим действие двух напряжений  $\sigma_1 = 400$  МПа в течение 10 мин и  $\sigma_2 = 500$  МПа в течение 5 мин:

$$\eta = \frac{3000 + 310 \cdot 15}{400 \cdot 10 + 500 \cdot 5} = 1,2.$$

Рассмотрим действие линейно понижающегося напряжения от  $\sigma_1 = 600$  Па до  $\sigma_2 = 300$  МПа в течение 60 мин. Определим значение интеграла

$$\int_0^{t^*} \sigma dt = \int_0^{t^*} \left( \sigma_1 - \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{t^*} \cdot t \right) dt = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2} t^* = \frac{600 + 300}{2} \cdot 60 = 27000 \text{ МПа} \cdot \text{мин},$$

а затем определим запас прочности

$$\eta = \frac{k + \sigma_k t^*}{\int_0^{t^*} \sigma dt} = \frac{3000 + 310 \cdot 60}{27000} = 0,8.$$

Определим предельное время, которое выдержит металлическое изделие:

$$t^* = \frac{k}{0,5(\sigma_1 + \sigma_2) - \sigma_k} = \frac{3000}{0,5(600 + 300) - 310} = 21,4 \text{ мин.}$$

При водородном растрескивании выражение запаса прочности было получено в следующем виде [1]:

$$\eta = \frac{A_n^o \int_0^{t^*} \sigma dt + \sqrt{\left( A_n^o \int_0^{t^*} \sigma dt \right)^2 + \left[ k_n^2 - (A_n^o)^2 t^* \right] \int_0^{t^*} \sigma^2 dt}}{\int_0^{t^*} \sigma^2 dt},$$

где  $A_n^o$  – сопротивление хрупкому разрушению при условии постоянства концентрации абсорбированного водорода на поверхности металла,  $k_n$  – константа, определяемая из экспериментальных данных,  $\sigma$  – действующее напряжение растяжения.

Параметры растяжения долговечности водородного растрескивания стали 30ХГСНА при катодной полимеризации ( $D_n = 100 \text{ А/м}^2$ ) в 20% растворе серной кислоты с добавкой хлористого натрия ( $30 \text{ кг/м}^3$ ) имеют значения [2]:

$$A_n^o = 4,35 \text{ МПа}; \quad k_n = 752 \text{ МПа} \cdot \text{мин}^{-1/2}.$$

Определим долговечность при водородном растрескивании от действия растягивающего напряжения в 200 МПа:

$$\sqrt{\tau} = \frac{k_n}{\sigma - A_n^o} = \frac{752}{200 - 4,35} = 3,9 \text{ мин}^{1/2} \text{ МПа}, \text{ откуда } \tau \cong 2 \text{ мин} = t^*.$$

Теперь определим запас прочности при действии двух последовательно действующих напряжений растяжения:

$\sigma_1 = 100 \text{ МПа}$  в течение 2 мин и  $\sigma_2 = 150 \text{ МПа}$  в течение 2 мин:

$$t^* = t_1 + t_2 = 4 \text{ мин};$$

$$\int_0^{t^*} \sigma dt = \sigma_1 t_1 + \sigma_2 t_2 = 500 \text{ МПа} \cdot \text{мин}; \quad \int_0^{t^*} \sigma^2 dt = \sigma_1^2 t_1 + \sigma_2^2 t_2 = 6,5 \cdot 10^4 \text{ МПа}^2 \cdot \text{мин}.$$

После подстановки в выражении запаса прочности получим  $\eta \cong 3$ .

При действии постоянных растягивающих напряжений определим долговечность до растрескивания материала по формуле:

$$t^* = \tau = \sqrt{\frac{k_n}{\sigma - A_n^o}} = \sqrt{\frac{752}{\sigma - 4,35}}.$$

При  $\sigma_1 = 150 \text{ МПа}$  получим  $\tau_1 = 2,3 \text{ мин}$ ,  $\sigma_2 = 200 \text{ МПа}$  получим  $\tau_2 = 2 \text{ мин}$ .

Определим запас прочности изделия при действии  $\sigma_1 = 150 \text{ МПа}$  в течение 2 мин, а  $\sigma_2 = 200 \text{ МПа}$  в течение 1,5 мин:

$$\int_0^{t^*} \sigma dt = \sigma_1 t_1 + \sigma_2 t_2 = 150 \cdot 2 + 200 \cdot 1,5 = 600 \text{ МПа} \cdot \text{мин};$$

$$\int_0^{t^*} \sigma^2 dt = \sigma_1^2 t_1 + \sigma_2^2 t_2 = 150^2 \cdot 2 + 200^2 \cdot 1,5 = 10,5 \cdot 10^4 \text{ МПа}^2 \cdot \text{мин} .$$

После подстановки в выражение запаса прочности получим  $\eta \cong 2$ .

Таким образом, предложенная методика позволяет определить запас прочности металлических изделий при действии переменных растягивающих напряжений в условиях коррозии или водородного растрескивания.

#### Л и т е р а т у р а

1. Козаченко А.Б., Иванов С.С., Акоева Э.С., Дикова Е.В. Критериальная оценка прочности металлических изделий с учетом их коррозионного и водородного растрескивания// Труды международной научно-практической конференции “Инженерные системы 2010”. – М., РУДН, 2010.

2. Ажогин Ф.Ф. Коррозионное растрескивание и защита высокопрочных сталей. – М., Металлургия, 1974.

### **CORROSION AND HYDROGEN CRACKING STRENGTH OF METAL GOODS**

A.B. Kozachenko, S.S. Ivanov, E.V. Dikova

The estimation of strength at alternate tensile loads of metal goods has been presented resulting from experimental data obtained during the research of corrosion and hydrogen cracking at tension stresses and also from the criterion of linear summation of accumulated failures.

KEY WORDS: strength, safety strength, prolonged strength, metal goods, hydrogen cracking, corrosion cracking, tensile stress.

