

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИЙ СТАЛЬНЫХ БАЛОК ПОДВЕРЖЕННЫХ КОРРОЗИОННОМУ ИЗНОСУ

При реконструкции промышленных объектов достаточно часто возникают вопросы, связанные с оценкой остаточной несущей способности эксплуатируемых стальных балок двутаврового сечения (подкрановые конструкции, прогоны и т.д.), подверженных коррозионному износу. СНиП [1] допускает ограниченное пластическое деформирование данных элементов, но не содержит рекомендаций по определению упругопластических прогибов. Предлагается использовать для решения задач данного класса энергетический метод как в случае упругого, так и в случае упругопластического деформирования. Ранее подобный подход использовался в [2] для расчета внецентренно-сжатых стержней.

При вычислении прогибов принимаем следующие условия и допущения.

1 Рассматриваем исключительно однопролетные балки с равномерно распределенной по всей длине нагрузкой для прогонов и сосредоточенной нагрузкой – для подкрановых балок. Касательные напряжения в зоне пластического деформирования считаем малыми и пренебрегаем ими.

2 Вычисляем не абсолютные, а относительные прогибы, принимая за 100 % максимальный прогиб балки, работающей при тех же условиях без допущения пластических деформаций. При сопоставлении выражений относительных прогибов пролеты, нагрузки и некоторые другие величины сокращаются. Это позволяет не рассматривать различные варианты пролетов, нагрузок и материалов балки, а сравнить прогибы упруго и не упруго работающих конструкций один раз, считая пролеты, нагрузки и материалы всех балок одинаковыми. Одинаковыми мы полагаем и гибкости стенок, хотя такое допущение достаточно условно.

3 Прогибы определяются для нескольких вариантов размера упругой зоны в месте максимального момента:  $a/h$  принимается равным 1 (эталонная упруго работающая балка); 0,75; 0,5; 0,24 (примерно отвечает условию  $\varepsilon_{\text{ост}} E / R_y = 3$ ) и 0,01 (близко к шарниру пластичности).

4 Соотношение прогибов при допущении и недопущении пластических деформаций зависит от размеров и формы сечения балок. Балки, работающие упруго и не упруго, не будут иметь одинаковые размеры сечений, ведь в конечном счете пластические деформации допускаются ради экономии стали, и каждому размеру допустимой упругой зоны  $a/h$  должно отвечать свое оптимальное сечение балки.

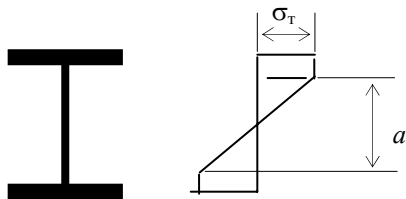
Аналогично тому, как это делается для упруго работающих балок, могут быть найдены необходимая площадь сечения балки при эпюре напряжений, показанной на рис. 1,  $a$ , и высота  $h$ , отвечающая минимуму этой площади при фиксированной гибкости стенки  $\lambda_w$  и заданном соотношении  $a/h$ :

$$h = \sqrt[3]{\frac{3M_{\max}\lambda_w}{(3 + a^2/h^2)R_y\gamma_c}} \quad (1)$$

При  $a/h = 1$  из формулы (1) получаем известное [1] выражение для «оптимальной» высоты упругой балки.

Зная  $a/h$ ,  $\lambda_w$  и  $h$ , можно вычислить все характеристики сечения. В частности, при высоте  $h$ , определяемой по формуле (1), получаем

а)



б)

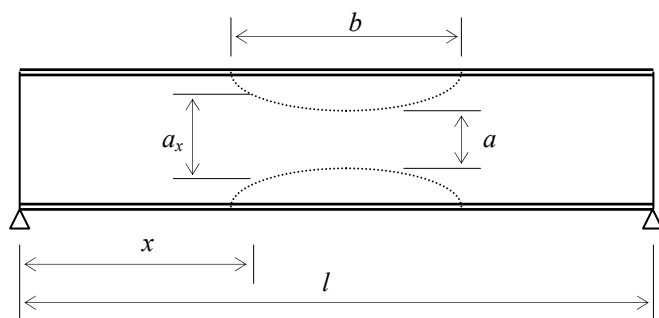


Рис. 1 Эпюра напряжений в сечении (а) и размеры упругой зоны балки (б)

$$c = \frac{M_{\max}}{M_{\text{упр}}} = \frac{6 + 2a^2/h^2}{5 + 3a^2/h^2}; \quad \frac{A_f}{A_w} = \frac{1 + a^2/h^2}{4}; \quad (2)$$

$$\frac{I_a}{I_o} = \frac{2}{c} \sqrt{\frac{1}{6 + 2a^2/h^2}},$$

где  $I_a$  – момент инерции сечения балки при заданном размере  $a/h$ ;  $I_o$  – то же для упруго работающей балки.

Приняв единый для всех балок закон формообразования и определяя высоту  $h$  по формуле (1), избегаем необходимость рассмотрения различных вариантов сечений.

5 Прогибы вычисляются не только в середине пролета балки, но и в ряде других точек. При этом поступаем следующим образом:

– исходя из размера упругой зоны в середине пролета ( $a$ ), находим соответствующие характеристики сечения и коэффициент  $c$ ;

– определяем упругий момент  $M_o = M_{\max} / c$ , который может воспринять балка с найденными размерами сечения, и вычисляем разность моментов  $M_{\max} - M_o$ ;

– эту разность делим на 4 равные части и последовательно увеличиваем момент на величину  $dM = (M_{\max} - M_o) / 4$ , вычисляя прогибы при  $M = M_o$ ,  $M = M_1 = M_o + dM$ ,  $M = M_2 = M_o + 2dM$ ,  $M = M_3 = M_o + 3dM$  и  $M = M_4 = M_o + 4dM$ .

Таким образом была выявлена динамика изменения прогибов при нарастании нагрузки.

Вычислив прогибы при  $M = M_{\max}$ , находим упругие прогибы от разгрузки и остаточные прогибы.

6 Прогибы определяются энергетическим методом. За пределами зоны текучести длиной  $b$  (рис. 1, б) принимаем  $E = 2,06 \cdot 10^5$  МПа, а в пределах этой зоны вводим условный модуль деформации, переменный по длине зоны текучести  $E_x = E (\epsilon_{\text{упр}} / \epsilon_{\text{пл}})$ . В выражении для  $E_x$  обозначено  $\epsilon_{\text{упр}}$  – деформация, которая могла иметь место в сечении на расстоянии  $x$  от опоры балки, если бы последняя работала упруго, а  $\epsilon_{\text{пл}}$  – пластическая деформация в этом сечении. Пластическая деформация может быть найдена через размер упругой зоны  $a_x$ . В итоге получаем:

$$E_x = Ec \frac{a_x M_x}{h M_{\max}}. \quad (3)$$

Отношение  $a_x/h$  удобно определять через размеры упругой зоны в середине пролета:

$$a_x / h = \sqrt{(a^2 / h^2)(M_x / M_{\max}) + (12A_f / A_w + 1)(1 - M_x / M_{\max})}. \quad (4)$$

При определении высоты балки по формуле (1)

$$a_x / h = \sqrt{a^2 / h^2 + (6 + 2a^2 / h^2)(1 - M_x / M_{\max})}. \quad (5)$$

7 Для определения прогибов балка делится на 500 равных отрезков, и в пределах каждого отрезка модуль деформации и параметры сечения считаются неизменными. Пределами интегрирования становятся координаты концов рассматриваемых отрезков, а прогиб равняется сумме 500 интегралов.

Использование предлагаемого метода исследования напряженно-деформированного состояния балок дает возможность прямой оценки несущей способности данных конструкций, в том числе и остаточной – для элементов, подверженных коррозионному износу.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 СНИП II-23-81. Стальные конструкции / Минстрой России. М.: ГИ ЦПП, 1995. 96 с.
- 2 Васильков Ф.В., Буланов В.Е. О прогибах и пластическом деформировании стальных внецентренно-сжатых стержней // Изв. Вузов. Строительство, 1999. С. 4 – 7.

Кафедра «Прикладная механика и сопротивление материалов»