

УДК 624.04

ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗГИБАЕМЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ДВУТАВРОВОГО СЕЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ КОРРОЗИИ И ПОВРЕЖДЕННОСТИ МАТЕРИАЛА

М. М. Фридман,

канд. техн. наук,

mark17@i.ua

ORCID: 0000-0003-3819-2776

Криворожский
металлургический
институт Национальной
металлургической
академии Украины,
50006, Украина,
Днепропетровская обл.,
г. Кривой Рог,
ул. Степана Тильги, 5

Эксплуатация конструкций в условиях высокой температуры и агрессивной среды приводит к появлению в них таких явлений, как коррозия и поврежденность материала. В результате коррозии уменьшается сечение конструкции, и, как следствие, в ней увеличиваются напряжения. Что касается поврежденности материала, а именно, появление в нем микротрещин и пустот, в результате неупругой деформации (ползучести), то она приводит к ухудшению физических характеристик (например, модуля упругости) и резкому снижению величин напряжений, при которых происходит разрушение конструкции. Данная работа является продолжением исследования в области оптимального проектирования конструкций, работающих в условиях, способствующих появлению в них коррозии и поврежденности материала (высокая температура, агрессивная среда и т.д.). Предыдущая работа в этой области была посвящена оптимизации изгибаемых элементов прямоугольного сечения. В настоящей статье рассматривается оптимизация толщины полки изгибаемого элемента двутаврового сечения по его длине, используется тот же принцип равноповрежденности, который был применен при оптимизации изгибаемых элементов прямоугольного сечения. Принимается, что ширина полки и высота стенки элемента двутаврового сечения фиксированы. Так как при изгибе работают, в основном, полки двутавра (их момент инерции достигает 85% от момента инерции всего сечения), то его стенка в расчете не учитывается. В качестве уравнения коррозии принимается модель В. М. Доллинского, учитывающая влияние напряжений на коррозионный износ конструкций. В качестве кинетического уравнения, описывающего изменение поврежденности материала, принимается модель Ю. Н. Работнова, где в качестве изменяющегося параметра принята величина поврежденности ω , варьируемая от 0 до 1. Критерием оптимальности принимается минимум массы конструкции. В заключение работы приведен алгоритм решения более полной задачи оптимизации параметров изгибаемых элементов двутаврового сечения, а именно, высоты стенки и ширины полки, с использованием полученных аналитических выражений, определяющих оптимальное распределение толщины полки по длине конструкции.

Ключевые слова: коррозия, поврежденность материала, оптимизация.

Введение

Эксплуатация конструкций в условиях высокой температуры и агрессивной среды приводит к появлению в них таких явлений, как коррозия и поврежденность материала. В результате коррозии уменьшается сечение конструкции, и, как следствие, в ней увеличиваются напряжения. Что касается поврежденности материала, а именно, появление в нем микротрещин и пустот в результате неупругой деформации (ползучести), то она приводит к ухудшению физических характеристик (например, модуля упругости) и резкому снижению величин напряжений, при которых происходит разрушение конструкции. Первые кинетические модели изменения поврежденности материала была предложены Л. М. Качановым [1, 2] и Ю. Н. Работновым [3]. В первой модели изменение поврежденности материала характеризуется параметром сплошности, изменяющимся от 1 в исходном состоянии до 0 в момент разрушения. Во второй модели в качестве изменяющегося параметра принята величина поврежденности $\bar{\omega}$, изменяющаяся от 0 до 1. Другие модификации модели Ю. Н. Работнова рассмотрены, например, в работах Я. Леметри и Я. Л. Чебоши [4, 5]. Используя принцип «отделимости» и введя параметр нормированного времени, зависящего от напряжения, вышеперечисленные модели (в случае одномерных растягивающих напряжений) были модернизированы в работе В. П. Голуба [6]. Новый подход определения поврежденности конструкций проиллюстрирован на примере статических и циклических нагрузок. Оригинальная модель поврежденности была предложена также Л. А. Сосновским и С. С. Щербачевым [7]. Обзор исследований данного направления проведен в работах [8, 9].

Проблеме оптимизации конструкций, эксплуатируемых в условиях поврежденности материала, посвящены работы А. Костюка [10], М. Рейтмана [11], В. Прагера [12], Ю. Немировского [13, 14], М. Жичковского [15] и др.

Оптимизация элементов конструкций в условиях коррозии рассмотрена в работах [16–20].

Данная работа является продолжением исследования в области оптимального проектирования конструкций, работающих в условиях (высокая температура, агрессивная среда и т.д.), способствующих появлению в них коррозии и поврежденности материала (аналогичная задача, на примере оптимизации изгибаемых элементов прямоугольного сечения, была представлена в [20]).

В настоящей статье рассматривается оптимизация толщины полок изгибаемого элемента двутаврового сечения по его длине с использованием того же принципа равноповрежденности, что и в [20]. Принимается, что ширина полок и высота стенки элемента двутаврового сечения фиксированы. Так как при изгибе работают, в основном, полки двутавра (их момент инерции достигает 85% от момента инерции всего сечения, то его стенка в расчете не учитывается.

Постановка задачи

В качестве уравнения коррозии принимается модель В. М. Долинского [21], учитывающая влияние напряженного состояния на коррозионный износ конструкции (рис. 1)

$$\frac{ds}{dt} = -2(\alpha + \beta|\sigma_{\max}|), \tag{1}$$

где α и β – постоянные коэффициенты; s_0 и s – начальная и текущая толщина полок элемента двутаврового сечения; σ_{\max} – максимальные напряжения в текущем сечении.

Принимается, что коррозии подвержены верхняя и нижняя грани сечения, причем в одинаковой степени (посредством взятия по модулю максимальных напряжений), о чем и свидетельствует коэффициент 2 в (1).

В качестве кинетического уравнения, описывающего изменение (от 0 до 1) параметра поврежденности материала $\bar{\omega}$, принимается (как и в [20]) модель Ю. Н. Работнова [3]

$$\frac{d\bar{\omega}}{dt} = a_k \left(\frac{\sigma_{\max}}{1 - \bar{\omega}} \right)^{b_k}, \tag{2}$$

где a_k и b_k – константы.

Принимая во внимание фактор высоких температур, при определении напряжений в двутавровой балке учитывается эффект ползучести. Закон ползучести записывается в виде [3]

$$\dot{\epsilon} = A_1 \sigma^n, \tag{3}$$

где A_1 и n – постоянные при данной температуре величины.

При $n=1$ получаем распределение напряжений в упругом элементе, при $n \rightarrow \infty$ – в элементе из идеально пластического материала. На практике значение n обычно не превышает 12.

С учетом гипотезы плоских сечений $\dot{\epsilon} = \dot{\chi}z$, из (3) находим

$$\sigma = k\dot{\epsilon}^{1/n} = k(\dot{\chi}z)^{1/n}, \tag{4}$$

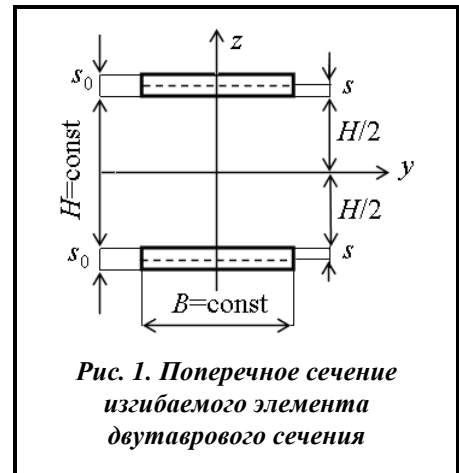
где $k = 1/A_1^n$; $\dot{\chi}$ – скорость изменения кривизны нейтрального слоя.

Запишем выражение для изгибающего момента в сечении x при произвольном моменте времени t

$$M(x) = \int z\sigma dA = k(x)^{1/n} \cdot 2B \int_{H_n}^{H_n+S} z^{1+1/n} dz = \frac{k(\dot{\chi})^{1/n}}{2+1/n} \cdot 2B[(H_n + s)^{2+1/n} - H_n^{2+1/n}],$$

где $H_n=H/2$.

Отсюда



$$k(\dot{x})^{1/n} = \frac{M(2+1/n)}{2B[(H_n + s)^{2+1/n} - H_n^{2+1/n}]}$$

Подставляя это выражение в (4), при $z=H_n+s$, имеем

$$\sigma_{\max} = \frac{M(2+1/n)(H_n + s)^{1/n}}{2B[(H_n + s)^{2+1/n} - H_n^{2+1/n}]} = \frac{Mm}{2B\left[(H_n + s)^2 - \frac{H_n^{2+1/n}}{(H_n + s)^{1/n}}\right]}, \quad (5)$$

где $m=2+1/n$.

Так как при высоких температурах величина $n \geq 3$, корректно произвести следующие упрощения в выражении (5):

$$\frac{H_n^{2+1/n}}{(H_n + s)^{1/n}} \approx \frac{H_n^{2+1/n}}{H_n^{1/n}} = H_n^2,$$

$$(H_n + s)^2 - H_n^2 = 2H_n s + s^2 \approx 2H_n s.$$

Окончательно получим

$$\sigma_{\max} = \frac{Mm}{4BH_n s}. \quad (6)$$

В этом случае уравнения (1) и (2) (с учетом (6)) имеют вид

$$\frac{ds}{dt} = -2\left(\alpha + \frac{\beta Mm}{4BH_n s}\right), \quad (7)$$

$$\frac{d\varpi}{dt} = a_k \left(\frac{\frac{Mm}{4BH_n s}}{1 - \varpi} \right)^{b_k}. \quad (8)$$

Решение уравнений коррозии и поврежденности материала

В силу независимости процесса коррозии так же, как и в [20], вначале решаем уравнение (7).

Разделим переменные в уравнении (7) и проинтегрируем обе части

$$\int_{s_0}^s \frac{ds_1}{1 + \frac{\beta Mm}{4BH_n \alpha s_1}} = -2\alpha \int_0^T dt,$$

где T – время жизни конструкции.

После интегрирования имеем

$$s_0 - s + \frac{\beta Mm}{4BH_n \alpha} \ln \frac{s + \frac{\beta Mm}{4BH_n \alpha}}{s_0 + \frac{\beta Mm}{4BH_n \alpha}} = 2\alpha T. \quad (9)$$

Для решения уравнения (8) разделим переменные и, подставив из (7) выражение dt , проинтегрируем обе части

$$\int_0^1 (1 - \varpi)^{b_k} d\varpi = \frac{1}{b_k + 1} = -\frac{a_k}{2\alpha} \left(\frac{Mm}{4BH_n} \right)^{b_k} \int_{s_0}^s \frac{ds_1}{s_1^{b_k} \left(1 + \frac{\beta Mm}{4BH_n \alpha s_1} \right)}. \quad (10)$$

Задача оптимизации. Общий случай

В общем случае задача оптимизации представляется следующим образом. В качестве функции цели выбирается объем конструкции V . Вектор варьируемых параметров изгибаемого двутавра принимается как $\bar{X} = \{H_0, B_0, s_0\}^T$. Цель задачи оптимизации: найти такой оптимальный вектор конструкции \bar{X}_{op} , при котором

$$V \rightarrow \min, \bar{\omega}(x) \leq 1,$$

где объем конструкции

$$V = 2 \int_0^L H_0(x) B_0(x) s_0(x) dx. \quad (11)$$

Данная задача нелинейного математического программирования может быть решена, например, с применением алгоритма методом случайного поиска [22]. Вкратце, алгоритм этого решения следующий. Задаваясь произвольными (в заданных пределах) значениями H_0 и B_0 , по приведенной ниже методике находятся оптимальные по длине конструкции значения толщины полок $s_0(x)$. После этого по формуле (11) находится объем конструкции и делается следующая попытка задания новых параметров H_0 и B_0 , с отысканием в этом случае соответствующих (оптимальных) значений $s_0(x)$. Снова определяется объем балки и т.д. Процедура повторяется до тех пор, пока не будут найдены оптимальные параметры H_{op} и B_{op} , дающие минимум объема конструкции.

Задача оптимизации. Частный случай

Остановимся на частной задаче оптимизации. Принимается, что ширина полок и высота стенки элемента двутаврового сечения фиксированы (как показано на рис. 1). Рассматривается оптимизация толщины полок элемента по его длине, с использованием полученных решений уравнений коррозии и поврежденности материала. В силу принятых допущений получено два уравнения (9) и (10) с двумя неизвестными s и s_0 . Решая их совместно для каждого фиксированного значения x , из принципа равноповрежденности в конечный момент жизни конструкции (при $\bar{\omega} = 1$), устанавливается оптимальное распределение толщины полок изгибаемого двутавра $s_0(x)$ по его длине, дающее минимум массы конструкции. Последнее утверждение справедливо в силу зависимости

$$V = \int_0^L A(x) dx = 2B \int_0^L s_0(x) dx. \quad (12)$$

Частные случаи решения

Полученное интегральное выражение поврежденности металла (10), как и в [20], удастся упростить в двух частных случаях. Так, при $b_k = 2$ имеем

$$\frac{8\beta BH_n}{3a_k Mm} = \ln \frac{1 + \frac{\beta Mm}{4BH_n \alpha s}}{1 + \frac{\beta Mm}{4BH_n \alpha s_0}}.$$

Отсюда

$$s = \frac{\frac{s_0 \beta Mm}{4BH_n \alpha}}{s_0 \left(\exp \frac{8BH_n}{3a_k Mm} - 1 \right) + \frac{\beta Mm}{4BH_n \alpha} \exp \frac{8BH_n}{3a_k Mm}}. \quad (13)$$

При $b_k = 3$ получаем

$$\frac{2\beta^2 BH_n}{Mm \alpha a_k} = \frac{\beta Mm}{4BH_n \alpha} \left(\frac{1}{s} - \frac{1}{s_0} \right) - \ln \frac{s + \frac{\beta Mm}{4BH_n \alpha}}{s_0 + \frac{\beta Mm}{4BH_n \alpha}} + \ln \frac{s}{s_0}. \quad (14)$$

В качестве примера рассмотрим оптимизацию консольной балки с силой P на конце (рис. 2). В этом случае $M=Px$. Переходя к безразмерным величинам, обозначив $T_* = \frac{8TBH_n\alpha^2}{\beta PLm}$, $\xi = x/L$, $S = \frac{4BH_n\alpha^2 s}{\beta PLm}$, $S_0 = \frac{4s_0BH_n\alpha}{\beta PLm}$, $C = \frac{8\beta BH_n}{3a_k PLm}$,

$D = \frac{2\beta^2 BH_n}{a_k PLm}$, имеем следующие трансформации уравнений (9), (13) и (14):

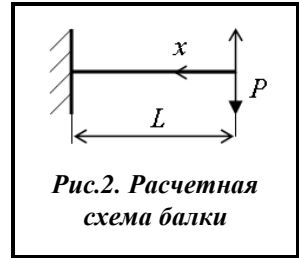


Рис.2. Расчетная схема балки

$$S_0 - S + \xi \ln \frac{S + \xi}{S_0 + \xi} = T_*, \quad (15)$$

$$S = \frac{S_0 \xi}{S_0 \left(\exp \frac{C}{\xi} - 1 \right) + \xi \exp \frac{C}{\xi}}, \quad (16)$$

$$D = \xi^2 \left(\frac{1}{S} - \frac{1}{S_0} \right) - \xi \ln \frac{S + \xi}{S_0 + \xi} + \xi \ln \frac{S}{S_0}. \quad (17)$$

Остановимся вначале на решении задачи в случае $b_k=2$.

Подставляя выражение значения (16) в (15), получим трансцендентное уравнение с одним неизвестным S_0 . Задаваясь $0 \leq \xi \leq 1$, его решение находится с использованием алгоритма случайного поиска [22].

В случае $b_k=3$, складывая уравнение (15) и (17), имеем

$$D + T_* = \xi^2 \left(\frac{1}{S} - \frac{1}{S_0} \right) + \xi \ln \frac{S}{S_0} + S_0 - S. \quad (18)$$

Так как $0 < S/S_0 < 1$, то можно воспользоваться следующим разложением:

$$\ln \frac{S}{S_0} \approx \left(\frac{S}{S_0} - 1 \right) - \frac{\left(\frac{S}{S_0} - 1 \right)^2}{2}.$$

Подставив его в (18), после несложных преобразований получаем такое уравнение 3-й степени:

$$S^3 + r_1 S^2 + r_2 S + r_3 = 0,$$

где $r_1 = \frac{2S_0^2}{\xi} - 4S_0$, $r_2 = 2D_1 S_0^2 / \xi + 2\xi S_0 + 3S_0^3 - 2S_0^3 / \xi$, $r_3 = -2\xi S_0^2$, $D_1 = D + T_*$.

Его решение находим, применяя формулу Кардано к его приведенному виду

$$y^3 + py + q = 0,$$

где $y = S + r_1/3$, $p = \frac{3r_2 - r_1^2}{3}$, $q = \frac{2r_1^3}{27} - \frac{r_1 r_2}{3} + r_3$.

Если $D_s = (p/3)^3 + (q/2)^2 > 0$, то $y = u + v$, где $u = \sqrt[3]{-q/2 + \sqrt{D_s}}$, $v = \sqrt[3]{-q/2 - \sqrt{D_s}}$.

Если $D_s < 0$, то $y = 2\sqrt[3]{r} \cos(\varphi/3)$, где $r = \sqrt{-p^3/27}$, $\cos \varphi = -q/2r$.

После того как найдена зависимость между S_0 и S , задаваясь $0 \leq \xi \leq 1$, решаем уравнение (18), как в предыдущем случае, с помощью алгоритма случайного поиска. В результате в обоих случаях (при $b_k=2$ и $b_k=3$) имеем оптимальные значения толщины полок консольной балки минимальной массы (с учетом (12)).

Численные результаты

В качестве численной иллюстрации рассмотрим следующие варианты расчета: при $b_k=2$ – а) $T_a^*=1$, $D_a=0,5$ и б) $T_b^*=0,8$, $D_b=0,4$; при $b_k=3$ – в) $T_c^*=1$, $D_{1c}=0,375$ и д) $T_d^*=0,8$, $D_{1d}=0,3$. Условно принимаем, что варианты б и д соответствуют упругому элементу ($n=1, m=6$), а варианты а и с – элементу из идеально-пластического материала ($n \rightarrow \infty$; $m=4$). Поэтому $T_a^*/T_b^*=D_a/D_b=T_c^*/T_d^*=D_{1c}/D_{1d}$. Выбор коэффициентов D_i по отношению к коэффициентам D в соответствующих вариантах можно осуществить следующим образом. Так как $D_1/D=3/4*\beta/\alpha$, то, принимая $\beta/\alpha=1$, имеем $D_1=0,75D$.

Оптимальные значения начальной толщины полок консольной двутавровой балки $S_0(\xi)$, а также в момент разрушения $S_*(\xi)$ для всех вариантов показаны на рис. 3.



Рис. 3. Результаты оптимизации полок элемента двутаврового сечения

Выводы

Поставлена и решена задача оптимального проектирования изгибаемых элементов двутаврового сечения, эксплуатируемых в условиях коррозии и поврежденности материала.

Из полученных результатов (рис. 3) видно, что во всех оптимальных проектах $S_T(0)=0$, а $S_0(0)=T^*$. Первое равенство свидетельствует о том, что нет перерасхода материала в сечении с нулевым напряжением. В свою очередь, неравенство нулю $S_0(0)$ объясняется тем, что коррозия действует и в ненапряженном сечении, а его величина вытекает непосредственно из уравнения (14) при $S_T=0$ и $\xi \rightarrow 0$.

Сравнивая оптимальные проекты а и с, соответственно, с проектами б и д, можно прийти к выводу, что учет ползучести дает увеличение начальной толщины полок консольной двутавровой балки, в данном случае, в среднем на 12%; при этом величина напряжения, при которой происходит разрушение, также увеличивается, о чем свидетельствует параметр $S_T(\xi)$.

В заключение следует отметить, что предложенный подход к решению задач оптимального проектирования конструкций, работающих в условиях коррозии и поврежденности материала, может быть использован при решении аналогичных задач, с помощью как аналитических решений, так и численных методов.

Литература

1. Качанов Л. М. Основы механики разрушения. М.: Наука, 1974. 308 с.
2. Качанов Л. М. О времени разрушения в условиях ползучести. *Изв. АН СССР. Отд-ние техн. наук.* 1985. № 8. С. 26–31.
3. Работнов Ю. Н. Ползучесть элементов конструкций. М.: Наука, 1966. 752 с.
4. Lemaître J. How to use damage mechanics. *Nucl. Eng. Design.* 1984. Vol. 80. Iss. 2. P. 233–245. [https://doi.org/10.1016/0029-5493\(84\)90169-9](https://doi.org/10.1016/0029-5493(84)90169-9).
5. Chaboche J.-L. Continuous damage mechanics – a tool describe phenomena before crack initiation. *Nucl. Eng. Design.* 1981. Vol. 64. Iss. 2. P. 233–247. [https://doi.org/10.1016/0029-5493\(81\)90007-8](https://doi.org/10.1016/0029-5493(81)90007-8).
6. Golub V. P. Non-linear one-dimensional continuum damage theory. *Int. J. Mech. Sci.* 1996. Vol. 38. No. 10. P. 1139–1150. [https://doi.org/10.1016/0020-7403\(95\)00106-9](https://doi.org/10.1016/0020-7403(95)00106-9).
7. Сосновский Л. А., Щербаков С. С. Концепции поврежденности материалов. *Вестн. Тернопол. нац. техн. ун-та.* 2011. Спецвыпуск (1). С. 14–23.
8. Травин В. Ю. Оценка поврежденности материала при расчете прочности и долговечности элементов корпусных конструкций. *Изв. Тул. ун-та. Техн. науки.* 2014. Вып. 10. Ч. 1. С. 128–132.
9. Волегов П. С. Грибов Д. С., Трусов П. В. Поврежденность и разрушение: классические континуальные теории. *Физ. мезомеханика.* 2015. Т. 18. № 4. С. 68–86.
10. Костюк А. Г. Определение профиля вращающегося диска в условиях ползучести. *Прикл. математика и механика.* 1953. Т. 17. № 5. С. 615–618.

11. Рейтман М. И. Теория оптимального проектирования конструкций, сделанных из пластика, принимая во внимание фактор времени. *Механика полимеров*. 1967. Т. 3, № 2. С. 357–360.
12. Prager W. Optimal structural design for given stiffness in stationary creep. *J. Appl. Math. and Physics*. 1968. Vol. 19. Iss. 2. P. 252–256. <https://doi.org/10.1007/BF01601470>.
13. Немировский Ю. В. Задача оптимального проектирования дисков в условиях ползучести. *Пробл. прочн.-сти*. 1971. № 8. С. 11–13.
14. Nemirovsky Yu. V. Creep of clamped plates with different reinforcement structures. *J. Appl. Mechanics and Techn. Physics*. 2014. Vol. 55. P. 147–153. <https://doi.org/10.1134/S0021894414010179>.
15. Zyczkowski M. Optimal structural design in rheology. *J. Appl. Mech.* 1971. Vol. 38. Iss. 1. P. 39–46. <https://doi.org/10.1115/1.3408764>.
16. Почтман Ю. М., Фридман М. М. Методы расчета надежности и оптимального проектирования конструкций, функционирующих в экстремальных условиях. Днепропетровск: Наука и образование, 1997. 134 с.
17. Fridman M. M., Zyczkowski M. Structural optimization of elastic columns under stress corrosion conditions. *Structural and Multidisciplinary Optimization*. 2001. Vol. 21. P. 218–228. <https://doi.org/10.1007/s001580050186>.
18. Fridman M. M., Elishakoff I. Design of bars in tension or compression exposed to a corrosive environment. *Ocean Systems Eng.* 2015. Vol. 5. Iss. 1. P. 21–30. <https://doi.org/10.12989/ose.2015.5.1.021>.
19. Фридман М. М. Оптимальное проектирование трубчатых стержневых конструкций, подверженных коррозии. *Пробл. машиностроения*. 2016. Т. 19. № 3. С. 37–42. <https://doi.org/10.15407/pmach2016.03.037>.
20. Fridman M. M. Optimal Design of Bending Elements in Conditions of Corrosion and Material Damage. *J. Mech. Eng.* 2019. Vol. 22. No. 3. P. 63–69. <https://doi.org/10.15407/pmach2019.03.063>.
21. Долинский В. М. Расчет нагруженных труб, подверженных коррозии. *Хим. и нефт. машиностроение*. 1967. № 2. С. 21–30.
22. Гурвич Н. Б., Захарченко В. Г., Почтман Ю. М. Рандомизированный алгоритм для решения задач нелинейного программирования. *Изв. АН СССР. Техн. кибернетика*. 1979. № 5. С. 15–17.

Поступила в редакцию 10.03.2020

Оптимізація згинних елементів двотаврового перерізу в умовах корозії і пошкодження матеріалу

М. М. Фрідман

Криворізький металургійний інститут Національної металургійної академії України,
50006, Україна, Дніпропетровська обл., м. Кривий Ріг, вул. Степана Тільги, 5

Експлуатація конструкцій в умовах високої температури і агресивного середовища призводить до появи в них таких явищ, як корозія і пошкодженість матеріалу. В результаті корозії зменшується переріз конструкції, і, як наслідок, в ній збільшуються напруження. Щодо стосується пошкодження матеріалу, а саме, появи в ньому мікротріщин і порожнеч, в результаті непружної деформації (повзучості), то вона призводить до погіршення фізичних характеристик (наприклад, модуля пружності) і різкого зниження величин напружень, за яких відбувається руйнування конструкції. Дана робота є продовженням дослідження в області оптимального проектування конструкцій, що працюють в умовах, які сприяють появі в них корозії і пошкодження матеріалу (висока температура, агресивне середовище і т.д.). Попередня робота в цій області була присвячена оптимізації згинних елементів прямокутного перерізу. У цій статті розглядається оптимізація товщини полиць згинного двотаврового перерізу по його довжині, використовується той же принцип рівнопошкодженості, який був застосований під час оптимізації згинних елементів прямокутного перерізу. Приймається, що ширина полиць і висота стінок елемента двотаврового перерізу фіксовані. Оскільки під час вигину працюють, в основному, полки двотавра (їх момент інерції досягає 85% від моменту інерції всього перерізу), то його стінка в розрахунку не береться до уваги. Як рівняння корозії приймається модель В. М. Долинського, що враховує вплив напружень на корозійний знос конструкції. Як кінетичне рівняння, що описує зміну пошкодження матеріалу, приймається модель Ю. М. Работнова, де як змінюваний параметр прийнята величина пошкодження, що варіюється від 0 до 1. Критерієм оптимальності приймається мінімум маси конструкції. Наприкінці роботи наведено алгоритм розв'язання більш повної задачі оптимізації параметрів згинних елементів двотаврового перерізу, а саме, висоти стінки і ширини полиці, з використанням отриманих аналітичних виразів, що визначають оптимальний розподіл товщини полиць по довжині конструкції.

Ключові слова: корозія, пошкодженість матеріалу, оптимізація.