

Из рисунка 2 видно, что прочность (кривая 1) и твердость (кривая 2) композиционных материалов, которые должны быть, возможно, большими, можно повысить снижением содержания масла и ингибитора, в этом же направлении (в сторону «чистого» полиэтилена) улучшается формруемость. Однако существует область составов, обеспечивающая удовлетворительное сочетание параметров оптимизации при сравнительно большом содержании карбамида.

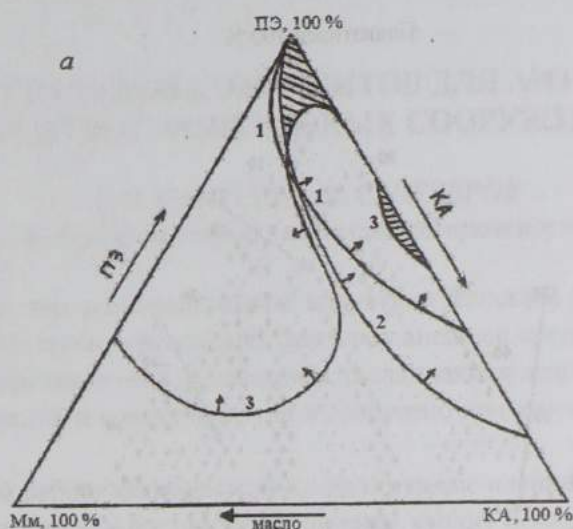


Рисунок 2 — Нахождение области оптимального состава материала:
1 — предел прочности при испытаниях на растяжение; 2 — твердость; 3 — формруемость материала.
Стрелками показано желаемое направление изменения свойства

УДК 539.3

ПОВТОРНОЕ ДЕФОРМИРОВАНИЕ ТРЕХСЛОЙНЫХ ПЛАСТИН

Э. И. СТАРОВОЙТОВ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

Исследовано циклическое деформирование несимметричных по толщине упругопластических трехслойных пластин с жестким наполнителем в температурном поле. Кинематические допущения основаны на гипотезе «ломаной» нормали. Деформации малые. На внешний слой пластины действует распределенная силовая нагрузка $p(r)$, $q(r)$, и тепловой поток плотностью q_1 . Через $w(r)$, $u(r)$ обозначены прогиб и радиальное перемещение срединной плоскости наполнителя, $\psi(r)$ — дополнительный угол поворота нормали в наполнителе. На торце предполагаем наличие жестких диафрагм. В этом случае перемещения в слоях выражаются через три искомые функции $u(r)$, $\psi(r)$ и $w(r)$, компоненты тензора деформаций следуют из соотношений Коши, напряжения — из закона Гука. Температурное поле в стержне считаем известным.

Уравнения равновесия упругой трехслойной пластины получим из принципа Лагранжа:

$$\begin{aligned} L_2(a_1 u + a_2 \psi - a_3 w_{,r}) = -p, \quad L_2(a_2 u + a_4 \psi - a_5 w_{,r}) - 2cG_3 \psi = 0, \\ L_3(a_3 u + a_5 \psi - a_6 w_{,r}) = -q, \end{aligned} \quad (1)$$

где a_i — коэффициенты, зависящие от параметров упругости материалов, геометрических размеров слоев и температуры, дифференциальные операторы

$$L_2(g) \equiv \left(\frac{1}{r} (rg)_{,r} \right)_{,r} \equiv g_{,rr} + \frac{g_{,r}}{r} - \frac{g}{r^2}, \quad L_3(g) \equiv \frac{1}{r} (rL_2(g))_{,r} \equiv g_{,rrr} + \frac{2g_{,rr}}{r} - \frac{g_{,r}}{r^2} + \frac{g}{r^3}.$$

Решение системы (1) при изотермическом нагружении известно, в нашем случае:

$$\psi = C_2 I_1(\beta r) + C_3 K_1(\beta r) - K_1(\beta r) \int I_1(\beta r) f(r) r dr + I_1(\beta r) \int K_1(\beta r) f(r) r dr,$$

$$u = \frac{a_3}{a_1} w_{,r} - \frac{a_2}{a_1} \psi - \frac{1}{a_1} L_2^{-1}(p) + \frac{C_7 r}{2} + \frac{C_8}{r},$$

$$w = \frac{b_2}{b_3} \int \psi dr - \frac{a_3}{b_3 a_1} \int L_2^{-1}(p) dr + \frac{1}{b_3} \int L_3^{-1}(q) dr + \frac{1}{4} C_1 r^2 (\ln r - 1) + \frac{C_5 r^2}{4 b_3} + C_6 \ln r + C_4, \quad (2)$$

где β , γ_1 , γ_2 , γ_3 – коэффициенты, определяемые через a_i ; L_2^{-1} , L_3^{-1} – линейные интегральные операторы обратные операторам L_2 , L_3 , C_1, \dots, C_8 – константы интегрирования.

В случае трехслойной упругопластической пластины, используются физические уравнения состояния теории малых упругопластических деформаций Ильюшина:

$$s_{ij}^{(k)} = 2G_k(T_k) f^{(k)}(\epsilon_{ij}^{(k)}, T_k) \epsilon_{ij}^{(k)}, \quad \sigma^{(k)} = 3K_k(T_k) (\epsilon^{(k)} - \alpha_k T_k) \quad (k=1,2; i,j=x,y,z). \quad (3)$$

Соответствующая система дифференциальных уравнений равновесия пластины будет существенно нелинейной. Для ее решения применим метод упругих решений. Согласно ему переписываем систему (1) в виде:

$$L_2(a_1 u^{(n)} + a_2 \psi^{(n)} - a_3 w'_{,r}{}^{(n)}) = -p' + p_{\omega}^{(n-1)}, \quad L_2(a_2 u^{(n)} + a_4 \psi^{(n)} - a_5 w'_{,r}{}^{(n)}) - 2c G_3 \psi^{(n)} = h_{\omega}^{(n-1)}, \\ L_3(a_3 u^{(n)} + a_5 \psi^{(n)} - a_6 w'_{,r}{}^{(n)}) = -q' + q_{\omega}^{(n-1)}. \quad (4)$$

Здесь n – номер приближения, величины $p_{\omega}^{(n-1)}$, $h_{\omega}^{(n-1)}$, $q_{\omega}^{(n-1)}$ – "дополнительные" внешние нагрузки, учитывающие физическую нелинейность материалов слоев (3), на первом шаге полагают равными нулю, а в дальнейшем вычисляют по результатам предыдущего приближения. Решение системы (4) будет

$$\psi^{(n)} = C_2^{(n)} I_1(\beta r) + \psi_r^{(n)}, \\ u^{(n)} = \frac{a_3}{a_1 a_6 - a_3^2} \left[L_3^{-1}(q' - q_{\omega}^{(n-1)}) - \frac{a_6}{a_3} L_2^{-1}(p' - p_{\omega}^{(n-1)}) + \left(a_5 - \frac{a_2 a_6}{a_3} \right) \psi^{(n)} + C_7^{(n)} r \right], \\ w^{(n)} = \frac{1}{b_3} \left[b_2 \left(\frac{C_2^{(n)}}{\beta} I_0(\beta r) + \int \psi_r^{(n)} dr \right) - \int \left(\frac{a_3}{a_1} L_2^{-1}(p' - p_{\omega}^{(n-1)}) - L_3^{-1}(q' - q_{\omega}^{(n-1)}) \right) dr + \frac{C_5^{(n)} r^2}{4} + C_4^{(n)} \right]. \quad (5)$$

Пусть, начиная со времени $t = t_1$, воздействие температурного поля прекращается, а внешние силы изменяются так, что во всех точках пластически деформируемых областей тела происходит разгрузка и последующее знакопеременное нагружение силами $p''(r)$, $q''(r)$. Температура пластины $T_1(z)$ остается постоянной и равной ее значению перед разгрузкой. Предел пластичности в точках пластины зависит от координаты z и становится равным $\sigma_y''(T_1(z))$. Обозначим соответствующие напряжения, зависит от координаты z и становится равным $\sigma_y''(T_1(z))$. Обозначим соответствующие напряжения, деформации и перемещения через σ_{ij}'' , ϵ_{ij}'' , u'' . Для них физические уравнения состояния запишем следующим образом:

$$s_{ij}'' = 2G_{ij}'' f''(\epsilon_{ij}'', \epsilon_1', T_1, a_k'), \quad \sigma'' = 3K \epsilon''.$$

Здесь $f''(\epsilon_{ij}'', \epsilon_1', T_1, a_k')$ – функция пластичности при повторном знакопеременном нагружении.

Сложность краевой задачи для величин с двумя штрихами заключается в зависимости искомого решения от точки разгрузки (ϵ_1' , σ_1'). Рассмотрим одну возможность уйти от этих трудностей. Для

величин перед началом разгрузки сохраним обозначения σ_{ij}' , ε_{ij}' , u_i' . Следуя Москвитину, введем следующие разности для момента времени $t > t_1$:

$$s_{ij}^* = s_{ij}' - s_{ij}'', \quad \varepsilon_{ij}^* = \varepsilon_{ij}' - \varepsilon_{ij}'' \quad (6)$$

Для величин со звездочками примем уравнения состояния

$$s_{ij}^* = 2G\varepsilon_{ij}^* f^*(\varepsilon_u^*, \varepsilon_1', T_1, a_k^*), \quad \sigma^* = 3K\varepsilon^* \quad (7)$$

где $f^*(\varepsilon_u^*, \varepsilon_1', T_1, a_k^*)$ – новая универсальная функция, описывающая нелинейность диаграммы деформирования в осях $\sigma^* \square \varepsilon^*$.

Уравнения равновесия, граничные условия и соотношения Коши для величин σ^* , ε^* , u^* будут типа (4). Если теперь предположить, что функцию f^* в любой точке кривой деформирования можно приблизить функцией f' , т. е. описать таким же аналитическим выражением только с другими параметрами a_k^* , то мы уйдем от зависимости f^* от ε_1' :

$$f^* = f'(\varepsilon_u^*, T_1, a_k^*).$$

Сравнивая соотношения (3) для пластины при нагружении из естественного состояния и соотношения для величин со звездочками (7) отмечаем, что они совпадают с точностью до обозначений. Поэтому, решение краевой задачи для величин со звездочками можно получить из известного решения (5) путем некоторых очевидных замен.

УДК 693.54

ОСОБЕННОСТИ КОРРОЗИОННОГО ПОВЕДЕНИЯ АРМАТУРЫ В БЕТОНЕ ПРИ ЧАСТИЧНОМ УВЛАЖНЕНИИ РАСТВОРОМ ХЛОРИСТОГО НАТРИЯ

А. В. СТЕПАНОВА, В. В. ТАЛЕЦКИЙ

Белорусский государственный университет транспорта, г. Гомель

На основании экспериментальных наблюдений установлено, что процессы коррозии арматуры в бетонах имеют электрохимическую природу, и к ним применимы законы электрохимической коррозии в электролитных средах [1]. Коррозионные процессы в капиллярно-пористой структуре бетона имеют свои характерные особенности, здесь возможно образование коррозионных макропар за счет неравномерной аэрации или концентрации ионов на отдельных участках железобетонной конструкции [2].

Учитывая это, важно исследовать механизм и причины возникновения коррозии и условия протекания. С этой целью на модели железобетонной балки электрохимическим методом было изучено коррозионное поведение арматуры в капиллярно-пористом теле бетона при частичном увлажнении конструкции электролитным раствором хлористого натрия.

Объектом исследования служила бетонная балка с размерами поперечного сечения 50×50 мм и длиной 50 см. При изготовлении в середину балки поместили электроды. К торцам электродов припаивали токоотводы, которые служили для измерения силы тока микроамперметром. Балку закрепляли в вертикальном положении так, чтобы нижний конец был погружен на 10 см в раствор NaCl. На одной из граней балки, выше уровня раствора, устанавливали вспомогательные электроды, которые позволяли измерять электросопротивление бетона выше уровня раствора и судить о распределении влаги по высоте балки.

В свежем бетоне арматура находится в пассивном состоянии, что препятствует ее коррозии, поэтому эксперименты проводили в 3 %-ном растворе NaCl. Ионы хлора даже в щелочной среде переводят сталь из пассивного состояния в активное состояние [1].