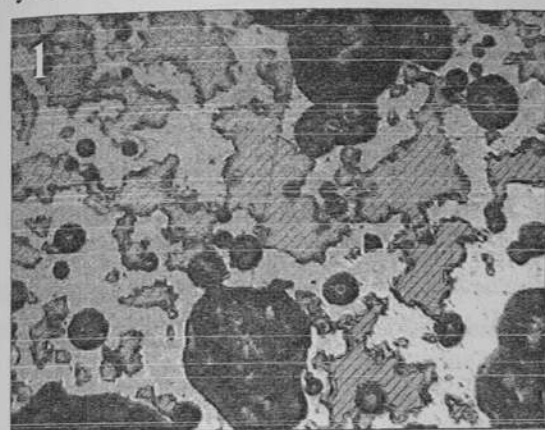


Изображения поверхности, полученные с использованием цифровой видеокамеры, встроенной в оптический микроскоп МИМ-7, позволяют провести качественный анализ топографии коррозии исследуемых образцов с покрытиями после поляризации в электролитической ячейке и сделать вывод, что отжиг системы сталь 08Х18Н10+покрытие TiN(Ti-DLC)5 при $t = 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ оказывает позитивное влияние на адгезионную прочность защитного покрытия. Количественным критерием адгезионной прочности исследуемого покрытия может являться процент площади пленки, сохранившейся на поверхности стального образца после анодной поляризации (s_1), от общей площади обработанного изображения (S) (таблица 1), полученный с применением программы AutoScan Objects (рисунок 2).



450 mkm

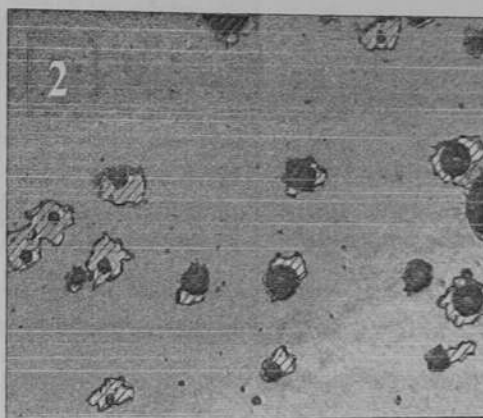


Рисунок 2 – Изображения поверхности исследуемых образцов, оцифрованные программой AutoScan Objects:

1 – участок поверхности образца № 1 в зоне коррозии; заштрихованные области – островки пленки TiN(Ti-DLC)5, сохранившейся после электрохимического воздействия; 2 – поверхность образца № 2; выделенные штриховкой области – участки, где произошло отслоение защитного покрытия в электролите

Таблица 1 – Результаты оценки влияния отжига на защитные свойства покрытия TiN(Ti-DLC)5 электрохимическим методом

Параметры методики	Образец № 1	Образец № 2
E_r , mV	286	-9
E_{pf} , mV	1987	1974
E_{corr} , mV	1701	1983
s_1/S , %	19,84	89

Таким образом, компьютерный анализ анодных поляризационных кривых и оптических изображений картины коррозии позволяет сделать вывод, что термическая обработка стали с покрытием приводит к улучшению как защитных (E_{pf} , E_{cor}), так и адгезионных свойств покрытия (s_1/S).

УДК 539.4

КОЛЕБАНИЯ ТРЕХСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСНЫХ НАГРУЗОК

В. И. СЕНЬКО, Э. И. СТАРОВОЙТОВ, Ю. М. ПЛЕСКАЧЕВСКИЙ
Белорусский государственный университет транспорта

В. Д. КУБЕНКО
Институт механики им. С. П. Тимошенко, Украина

В данной работе рассматриваются малые поперечные колебания несимметричного по толщине упругого трехслойного стержня со сжимаемым заполнителем при действии импульсных нагрузок.

Для изотропных несущих слоёв приняты гипотезы Бернулли, в жёстком заполнителе справедливы точные соотношения теории упругости с линейной аппроксимацией перемещений его точек от поперечной координаты z . На границах контакта слоёв используются условия непрерывности перемещений. Материалы несущих слоёв несжимаемы в поперечном направлении, в заполнителе учитывается обжатие. Деформации малые.

Распределенная поверхностная нагрузка $p(x)$, $q(x)$ приложена к внешней плоскости первого слоя. Искомыми считаем прогибы и продольные перемещения несущих слоёв $w_1(x)$, $w_2(x)$, $u_1(x)$, $u_2(x)$ (рисунок 1).

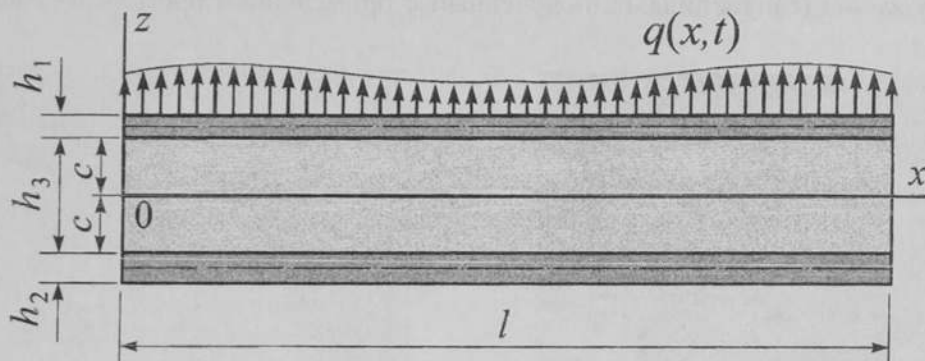


Рисунок 1 – Трехслойный стержень со сжимаемым заполнителем

Уравнения движения следуют из принципа Лагранжа с учетом работы сил инерции

$$\delta A - \delta W = \delta A_I, \quad (1)$$

где δA , δW , δA_I – вариации работы внешних сил, внутренних сил упругости и работы сил инерции соответственно.

После подстановки в (1) вариаций работ получим следующую систему уравнений в частных производных:

$$\begin{aligned} a_1 u_1 - a_1 u_2 - a_4 u_{1,xx} - a_5 u_{2,xx} + a_2 w_{1,x} + a_3 w_{2,x} - 2a_6 w_{1,xxx} + a_7 w_{2,xxx} + m_1 \ddot{u}_1 &= p; \\ -a_1 u_1 + a_1 u_2 - a_5 u_{1,xx} - a_9 u_{2,xx} - a_{10} w_{1,x} - a_{17} w_{2,x} - a_6 w_{1,xxx} + 2a_7 w_{2,xxx} + m_2 \ddot{u}_2 &= 0; \\ -a_2 u_{1,x} + a_{10} u_{2,x} + 2a_6 u_{1,xxx} + a_6 u_{2,xxx} + a_{11} w_{1,xx} - a_{12} w_{2,xx} + \\ + a_{15} w_{1,xxxx} - a_{16} w_{2,xxxx} + a_8 w_1 - a_8 w_2 + m_1 \ddot{w}_1 - m_3 \ddot{w}_{1,xx} &= q + \frac{1}{2} p_{,x} h_1; \\ -a_3 u_{1,x} + a_{17} u_{2,x} - a_7 u_{1,xxx} - 2a_7 u_{2,xxx} - a_{12} w_{1,xx} + a_{14} w_{2,xx} - \\ - a_{16} w_{1,xxxx} + a_{13} w_{2,xxxx} - a_8 w_1 + a_8 w_2 + m_2 \ddot{w}_2 - m_4 \ddot{w}_{2,xx} &= 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Принимаются условия свободного опирания стержня по торцам на неподвижные в пространстве жесткие опоры. Соответствующие граничные условия в сечениях $x = 0$; l (l – длина стержня) в перемещениях имеют вид:

$$w_k = u_{k,x} = w_{k,xx} = 0 \quad (k = 1, 2). \quad (3)$$

Искомые перемещения $u_1(x)$, $u_2(x)$, $w_1(x)$, $w_2(x)$ и нагрузку $q(x, t)$ ($p(x, t) = 0$) представляем в виде разложения в ряды по системам базисных функций, удовлетворяющим принятым граничным условиям (3):

$$\begin{aligned} u_1 &= \sum_{m=0}^{\infty} \cos \frac{\pi m x}{l} T_{m1}(t); \quad u_2 = \sum_{m=0}^{\infty} \cos \frac{\pi m x}{l} T_{m2}(t); \quad w_1 = \sum_{m=1}^{\infty} \sin \frac{\pi m x}{l} T_{m3}(t); \\ w_2 &= \sum_{m=1}^{\infty} \sin \frac{\pi m x}{l} T_{m4}(t); \quad q(x, t) = \sum_{m=1}^{\infty} \sin \frac{\pi m x}{l} q_m(t). \end{aligned} \quad (4)$$

Подстановка выражений (4) в (2) приводит к системе уравнений для определения функций времени $T_{mi}(t)$ ($i = 1, 2, 3, 4$).

Функции $T_{mk}(t)$ представляются в виде разложения по собственным формам:

$$T_{mk} = \sum_{i=1}^4 \delta_{mki} \zeta_{mi} \left(\sum_{i=1}^4 \delta_{mik}^2 = 1 \right),$$

где δ_{mki} — амплитуды нормированных собственных форм колебаний. Функции $\zeta_{mi}(t)$ определяются из системы уравнений

$$\ddot{\zeta}_{mi} + \omega_{mi}^2 \zeta_{mi} = \tilde{q}_{mi}(t), \quad (5)$$

где ω_{mi} — частоты собственных колебаний.

Общее решение дифференциального уравнения (5) можно принять в виде

$$\zeta_{mi}(t) = A_{mi} \cos(\omega_{mi} t) + B_{mi} \sin(\omega_{mi} t) + \frac{1}{\omega_{mi}} \int_0^t \sin(\omega_{mi}(t-\tau)) \tilde{q}_{mi}(\tau) d\tau.$$

В качестве примера рассматриваются колебания трехслойного стержня под действием различного вида поверхностных нагрузок, приложенных к внешней плоскости первого слоя:

1. На стержень действует динамическая импульсная поверхностная нагрузка, равномерно распределенная до сечения $x = b \leq 1$. Ее можно представить в аналитическом виде с помощью функции Хевисайда $H_0(x)$ и дельта-функции Дирака $\delta(t)$.

2. На стержень действует синусоидальная импульсная нагрузка.

3. На стержень действует параболическая импульсная нагрузка.

Проведен численный анализ полученных решений.

УДК 539.3

ИЗГИБ ТРЕХСЛОЙНОГО СТЕРЖНЯ НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ЛОКАЛЬНЫХ НАГРУЗОК

С. А. СТАРОВОЙТОВ

Белорусский государственный университет транспорта

Широкое применение трехслойных элементов конструкций в современных отраслях промышленности и строительстве вызывает необходимость разработки методов их расчета. В данной работе рассматривается изгиб подобного стержня под действием локальных нагрузок.

Постановка задачи и ее решение проводятся в декартовой системе координат, связанной со срединной плоскостью заполнителя. Для описания кинематики пакета принята гипотеза «ломаной нормали»: в тонких несущих слоях 1, 2 справедливы гипотезы Бернулли, в более толстом заполнителе 3 нормаль остается прямолинейной, не изменяет своей длины, но поворачивается на некоторый дополнительный угол $\psi(x)$. На границах склейки слоев используются условия непрерывности перемещений. Материалы слоев несжимаемы. На торцах стержня предполагается наличие жестких диафрагм, препятствующих относительному сдвигу слоев, но не мешающих деформированию из своей плоскости. Действие упругого основания на стержень описывается моделью Винклера: реакция основания пропорциональна прогибу стержня. Все перемещения и линейные размеры отнесены к длине стержня l . Деформации малые.

На внешние слои стержня действует внешняя распределенная нагрузка, проекции которой $q(x)$ и $p(x)$, а также реакция упругого основания $q_A(x)$. В качестве искомых величин приняты: прогиб $w(x)$, дополнительный угол поворота $\psi(x)$ и продольное перемещение срединной плоскости заполнителя $u(x)$.

Уравнения равновесия трехслойного стержня на упругом основании получены из вариационного принципа Лагранжа. В перемещениях они имеют вид

$$\begin{aligned} a_1 u_{,xx} + a_2 \psi_{,xx} - a_3 w_{,xxx} &= p; \quad a_2 u_{,xx} + a_4 \psi_{,xx} - a_6 w_{,xxx} - a_5 \psi = 0; \\ a_3 u_{,xxx} + a_6 \psi_{,xxx} - a_7 w_{,xxxx} + \kappa w &= q, \end{aligned} \quad (1)$$