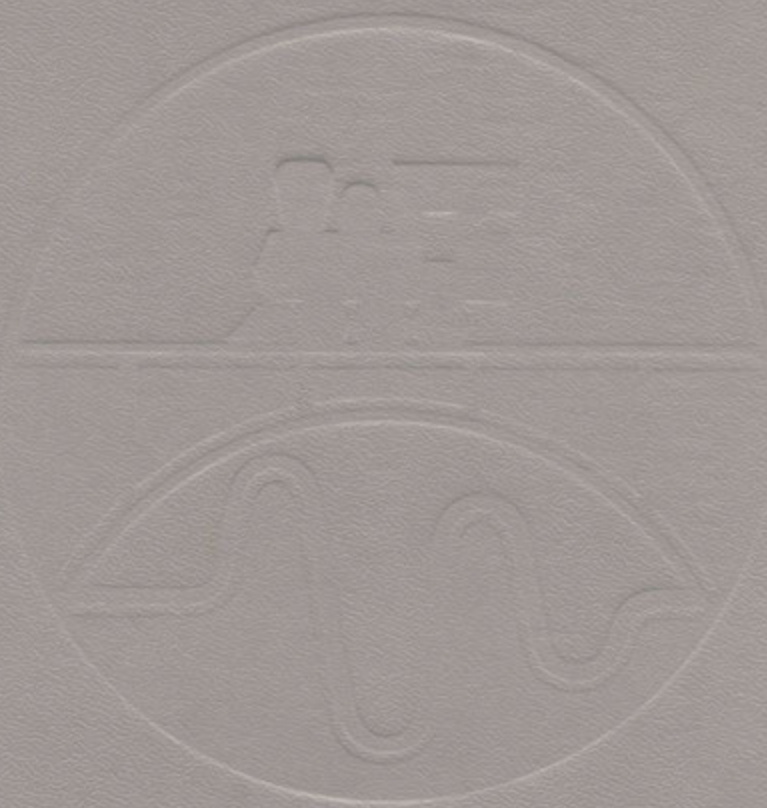


**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА
ДИАГНОСТИКИ
НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ
ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ**



ПРЕДИСЛОВИЕ

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДИАГНОСТИКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ИЗДЕЛИЙ ИЗ КОМПОЗИТОВ

ПРОБЛЕМЫ



РИГА «ЗИНАТНЕ» 1986

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воеводин А. А., Казак В. Л., Нагибина И. М. Расшифровка голографических интерферограмм при измерении деформаций поверхности. — Журнал технической физики, 1982, № 4, с. 703—708.
2. Вест Ч. Голографическая интерферометрия. М.: Мир, 1982. 504 с.
3. Воеводин А. А. Способ измерения деформаций поверхности объекта. А. с. 1099099 (СССР). Оубл. в Б. И., 1984, № 23.

УДК 539.3:621.378.9

В. В. Петров, Е. А. Ларионова, А. В. Сладковский

**ТЕОРЕТИКО-ГОЛОГРАФИЧЕСКИЙ ПОДХОД
К ОЦЕНКЕ ПРОЧНОСТИ ОБОЛОЧЕК НАДДУВА
ИЗ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ**

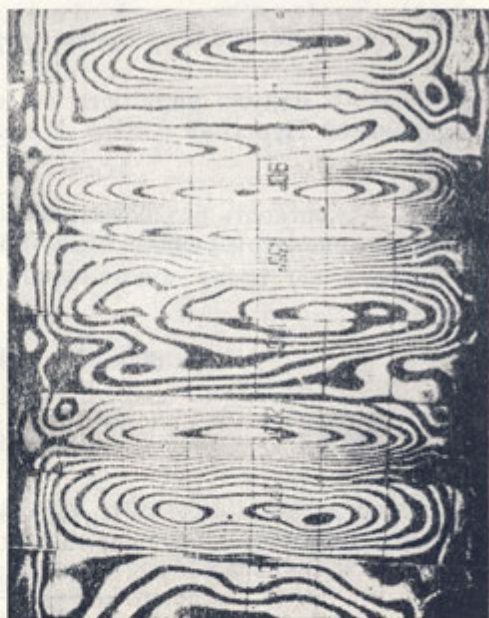
Оценка напряженно-деформированного состояния в оболоченных конструкциях, изготовленных способом намотки из новых композиционных материалов (КМ), определение поведения конструкции под действием рабочих нагрузок в некоторых случаях возможны при использовании неразрушающих методов голографической диагностики. Данные методики не требуют приложения рабочих нагрузок более 5% от разрушающих.

Предлагаемый подход основывается на получении голографических интерференционных портретов (ИП) всей наружной поверхности оболочки, нагруженной равномерным внутренним давлением, в предположении (которое должно в конкретных условиях каждый раз проверяться), что ИП, соответствующие пробному нагружению и предельной нагрузке, подобны. Голографические интерферограммы оболочки получались по методу двух экспозиций. Для этого при начальном давлении P_0 проводилось голографирование одного из секторов оболочки. Затем на той же фотопластинке регистрировалась интерференционная картина при давлении $P_0 + \Delta P$, где ΔP — малое приращение давления. После голографирования всех секторов оболочки составлялась развертка ее ИП. На рис. 1 приведен характерный ИП цилиндрической части оболочки. Описание методики эксперимента приводится в работе [1].

Для определения расположения мест резких изменений свойств материала (дефектов) и места начала разрушения можно применить следующую методику: полученный ИП оболочки сравнивается с ИП аналогичной бездефектной конструкции (эталоном). Зачастую таковой не существует для изделий из КМ. Тогда сравнение проводится с ИП, полученным для данной конструкции расчетным путем. Недостатками описанной методики являются низкая точность и отсутствие количественной оценки прочности изделия.

Для отдельных типов дефектов, характеризующихся плавным изменением геометрии и механических параметров, возможно применение теоретико-экспериментальной методики, основанной на безмоментной теории тонких оболочек вращения. Поставленная задача разработки критериальной оценки прочности оболочек наддува сводилась к нахождению механических характеристик дефекта по полученному при помощи ИП оболочки полю радиальных перемещений в результате расшифровки интерферограмм [2].

Рис. 1. Характерный интерференционный портрет цилиндрической части оболочки наддува



Рассмотрим систему дифференциальных уравнений в частных производных относительно неизвестных перемещений u и v (в осевом и окружном направлениях соответственно) для цилиндрической части оболочки наддува из КМ [3]:

$$\begin{cases} c_{11} \frac{\partial u}{\partial s} + c_{12} \left(\frac{1}{R} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{W}{R} \right) = \frac{Rp}{2}; \\ c_{12} \frac{\partial u}{\partial s} + c_{22} \left(\frac{1}{R} \frac{\partial v}{\partial \theta} + \frac{W}{R} \right) = Rp; \\ \frac{1}{R} \frac{\partial u}{\partial \theta} + \frac{\partial v}{\partial s} = 0. \end{cases} \quad (1)$$

В данных соотношениях R — радиус срединной поверхности оболочки; p — внутреннее давление; s, θ — координаты (в осевом и окружном направлениях соответственно). Считаем заданной функцию W — перемещение в радиальном направлении, известное из эксперимента. Жесткости c_{ij} дефектной оболочки являются переменными и связаны с геометрией оболочки и ее механическими свойствами следующими соотношениями:

$$c_{ij} = B_{ij}^r \sum_{k=1}^{n_r} (\gamma_k - \gamma_{k-1}) + B_{ij}^c \sum_{k=1}^{n_c} (\gamma_k - \gamma_{k-1}), \quad (2)$$

где суммирование координат слоев γ проводится отдельно по n_r -слоям с геодезической намоткой и по n_c -слоям со спиральной намоткой. Механические характеристики B_{ij} для k -слоя выражаются по формулам

$$B_{11}^k = \frac{E_s^k E_\theta^k}{E_\theta^k - (v_s \theta^k)^2 E_s^k}; \quad B_{12}^k = \frac{v_s \theta^k E_s^k E_\theta^k}{E_\theta^k - (v_s \theta^k)^2 E_s^k};$$

$$B_{22}^k = \frac{(E_{\Theta^k})^2}{E_{\Theta^k} - (\nu_{s\Theta^k})^2 E_s^k}, \quad (3)$$

где E_s, E_{Θ^k} — модули упругости k -слоя в направлениях s и Θ ; $\nu_{s\Theta^k}$ — коэффициент Пуассона k -слоя. В целях упрощения допустим, что

$$c_{ij} = c_{ij}^* f(s, \Theta), \quad (4)$$

где c_{ij}^* — жесткость бездефектной конструкции; $f(s, \Theta)$ — неизвестная функция, характеризующая дефектность исследуемой оболочки наддува.

Система (1) после подстановки (4) может быть сведена к уравнению

$$\frac{\partial^4 \left(\frac{1}{f} \right)}{\partial s^2} + k \frac{\partial^2 \left(\frac{1}{f} \right)}{\partial \Theta^2} = \frac{\partial^2 F}{\partial s^2}, \quad (5)$$

где

$$F(s, \Theta) = \frac{W(s, \Theta)}{W^*}; \quad (6)$$

$$k = \frac{2(c_{22}^* - 2c_{12}^*)}{R^2(2c_{11}^* - c_{12}^*)}; \quad (7)$$

$F(s, \Theta)$ — известная из эксперимента функция; W^* — перемещение бездефектной оболочки.

Считаем, что дефекты оболочки не выходят на края цилиндрической части, т. е.

$$f(0, \Theta) = f(l, \Theta) = 1. \quad (8)$$

В силу того что оболочка замкнута, справедливы условия периодичности:

$$\begin{aligned} f(s, 0) &= f(s, 2\pi); \\ f'_s(s, 0) &= f'_s(s, 2\pi); \\ f'_{\Theta}(s, \Theta) &= f'_{\Theta}(s, 2\pi), \dots \end{aligned} \quad (9)$$

Функцию f будем искать в виде ряда Фурье

$$\frac{1}{f} = \sum_{n=0}^{\infty} [g_{2n}(s) \cos n\Theta + g_{2n-1}(s) \sin n\Theta], \quad (10)$$

для чего правую часть уравнения (5) представляем также в виде ряда

$$\frac{\partial^2 F}{\partial s^2} = \sum_{n=0}^{\infty} [\varphi_{2n}(s) \cos n\Theta + \varphi_{2n-1}(s) \sin n\Theta]. \quad (11)$$

В результате уравнение (5) с граничными условиями (8), (9) сводится к набору задач:

$$\frac{d^2 y_{2n}}{dx^2} - k l^2 n^2 y_{2n} = \alpha_{2n}(x), \quad y_{2n}(0) = y_{2n}(l) = 0 \quad (n=0, 1, \dots, \infty); \quad (12)$$

$$\frac{d^2 y_{2n-1}}{dx^2} - k l^2 n^2 y_{2n-1} = \alpha_{2n-1}(x), \quad y_{2n-1}(0) = y_{2n-1}(l) = 0 \quad (n=1, 2, \dots, \infty), \quad (13)$$

где $y_0(x) = g_0(s) - 1$; $y_i(x) = g_i(s)$, $i = 1, 2, \dots, \infty$; $\kappa_i(x) = l^2 \varphi_i(s)$, $i = 0, 1, \dots, \infty$; l — длина цилиндрической части оболочки.

Решение может быть записано в виде

$$y_0(x) = - \int_0^x (1-x) \xi \kappa_0(\xi) d\xi - \int_x^1 (1-\xi) x \kappa_0(\xi) d\xi; \quad (14)$$

$$y_i(x) = - \frac{1}{b \operatorname{sh} B} [\operatorname{sh} B (1-x) \int_0^x \operatorname{sh} B \xi \kappa_i(\xi) d\xi + \\ + \operatorname{sh} B x \int_x^1 \operatorname{sh} B (1-\xi) \kappa_i(\xi) d\xi], \quad (15)$$

где $B = nl\sqrt{k}$, $i = \begin{cases} 2n-1 \\ 2n \end{cases} = 1, 2, \dots, \infty$.

На основе полученных решений (14), (15) вычисляется функция f , а следовательно, и жесткостные характеристики дефектной оболочки. С их помощью определяется напряженно-деформированное состояние оболочки. Использование любого из существующих критериев прочности композиционных материалов [4] и полученных характеристик позволяет определять место начала разрушения и величину разрушающей нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Mossakovsky V. E. Akhmentshin M. A., Petrov V. V. et al. Holographic testing of defects in composite on nondestructive testing. — 10th world conf. on nondestructive testing. Moscow, 1982, vol. 5, p. 320—327.
2. Моссаковский В. И., Петров В. В., Гриневский А. Г. и др. Исследование оболочек методом голографической интерферометрии. Обзор. Деп. в ВИНТИ 22.11.79, № 3900—79 ДЕП. 48 с.
3. Григоренко Я. М., Василенко А. Т. Методы расчета оболочек: Теория оболочек переменной жесткости. Киев, 1981. 543 с.
4. Роуландс Р. Течение и потеря несущей способности композитов в условиях двухосного напряженного состояния: Сопоставление расчета и экспериментальных данных. — В кн.: Неупругие свойства композиционных материалов. М., 1978, с. 140—170.