

**Л. И. Мирнова** (МОГИ, Подольск). **Об одном решении температурной задачи в исследовании термонапряженного состояния контура пересечения тонких оболочек при локальном тепловом нагреве.**

В энергетическом машиностроении во многих пространственных конструкциях оболочечного типа (сосуды высокого давления, резервуары, цистерны и пр.) имеются сварные соединения штуцеров, патрубков, горловин и т. д. Контур пересечения таких соединений «в плане» имеет различную геометрическую форму и изменяется от круга до эллипса, либо до любой другой кривой второго порядка. Исследование термонапряженного состояния таких конструкций в зонах технологического влияния весьма важная задача для проектировщика.

Рассмотрим задачу на сопряжение двух взаимно пересекающихся цилиндрических оболочек вращения, одна из которых является несущей, рис. 1.

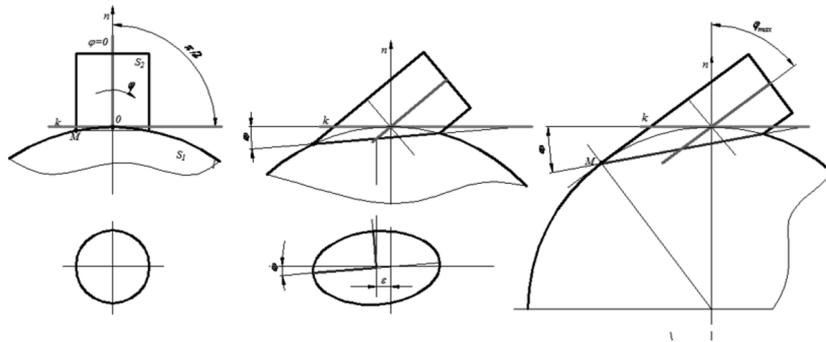


Рис. 1. Взаимное расположение двух пересекающихся оболочек вращения

Покажем, что для примерной оценки термонапряженного состояния контура сварной зоны вполне приемлема плоская задача цилиндрической оболочки, используя при этом модель бесконечной цилиндрической оболочки со свободными торцами в условиях действия переменного температурного поля в наклонной плоскости к ее продольной оси, рис. 2.

Исследование температурного поля при локальном тепловом нагружении будем строить на вариационных принципах механики. Соотношения функции температуры, связанной с функцией прогиба имеют вид [1]

$$\frac{\partial^2 w_0}{\partial \beta^2} + w_0 - \alpha_t(1 + \nu)T + \frac{\alpha_t \nu}{2\pi} \int_0^{2\pi} T d\beta_0 + \frac{\alpha_t(1 + \nu)}{\pi} \int_0^{2\pi} T \cos(\beta - \beta_0) d\beta_0 = 0;$$

$$\int_0^{2\pi} (w_0 - \alpha_t T) d\beta = 0. \quad (1)$$

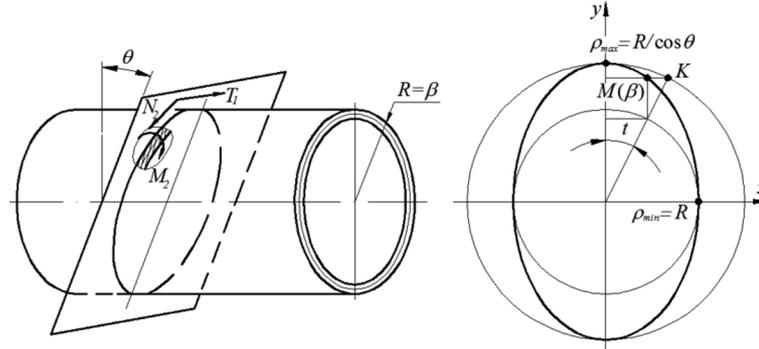


Рис. 2. Расчетная схема

Сформулируем следующую вариационную задачу. Найти экстремум функционала упругой энергии на множестве функций  $w_0(\beta)$  и  $T(\beta)$ , каждая из которых удовлетворяет соотношениям (1), дополнительным ограничениям на функцию прогибов в сечениях  $\beta = \beta_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) вида  $w_0(\beta_i) = a_{1i}$ , и обеспечивает стационарность функционалов

$$K_1 = \int_0^{2\pi} w_0 \delta(\beta - \beta_i) d\beta_0; \quad K_2 = \int_0^{2\pi} \theta(\beta_i - \beta) w_0 d\beta_0; \quad K_1 = a_{1i}, \quad K_2 = a_{0i}. \quad (2)$$

В работе [2] приведено решение экстремальной температурной задачи и выделено экстремальное температурное поле в плоскости сечения, геометрическая форма которого может меняться от круга до эллипса в зависимости от расположения секущей плоскости и геометрических параметров оболочки  $t, \varphi, \beta$ . Получена формула определения максимального температурного поля  $T_{\max}$ , удовлетворяющего условию минимума функционала упругой энергии оболочки.

$$T_{\max} = T_0 A; \quad A = \left( \frac{\sqrt{\cos^2 t + \sin^2 t \cos^2 \varphi}}{\cos \varphi} \right) \frac{\cos \beta - \cos \beta_1}{1 + \cos \beta_1}.$$

Температурные напряжения определяются стандартным образом

$$\sigma_{\max} = \frac{E \alpha T_{\max}}{2(1 - \nu)},$$

где  $E$  — модуль упругости;  $\alpha$  — коэффициент линейного теплового расширения;  $\nu$  — коэффициент Пуассона.

Установлено, что с изменением геометрической формы в сечении оболочки, в плоскости которого осуществляется локальное термонагружение, изменяется уровень экстремальной температуры и соответствующие ей поля напряжений и деформаций. Наименьший ее уровень характерен поперечному сечению, геометрической формой которого является окружность. В любых других сечениях, формой которого является эллипс, наблюдается увеличение уровня экстремальной температуры. Однако полученное приближенное решение имеет ограничение в применении, поскольку связано с заменой пространственной задачи на плоскую.

---

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бурак Я. И., Григомюк Э. И., Подстригач Я. С. О применении методов вариационного исчисления к решению задач об оптимальном нагреве тонких оболочек. — Труды VII Всесоюзной конференции по теории оболочек и пластинок. М.: Наука, 1970, с. 101–109.
2. Миронова Л. И. Экстремальная температурная задача в одном методе оптимального проектирования оболочечных конструкций. — Проблемы машиностроения и автоматизации, 2014, № 1, с. 126–130.