МЕХАНИЧЕСКИЕ НАПРЯЖЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ПРИРОДЫ В ИЗДЕЛИЯХ ИЗ СВС- МАТЕРИАЛОВ

П.Ю.Гуляев, В.В.Евстигнеев, Д.В.Колесников, В.И.Пролубников, Н.П.Тубалов, С.В.Кожурин

Тепловые напряжения, возникающие в приграничных зонах соприкасающихся фаз за счет различий в их тепловых расширениях, которые носят локальный характер, распределены стохастически, и их величина может регулироваться рецептурно-технологическими факторами [1].

Микроскопический характер с областью существования, то есть соизмеримой с объемом натурных изделий, носят механические напряжения, вызванные различием температур по объему изделия и отличием в тепловых расширениях синтезируемого материала и технологической оболочки.

Рассмотрим сначала температурные напряжения в изделиях типа (рис. 1) при симметричном относительно оси распределении температур. Физически это означает случай охлаждения синтезированного продукта от адиабатической температуры до температуры эксплуатации.

Из решения задачи теплопередачи [2, 3] температура по своду рассчитывается по уравнению:

$$T_r = \frac{\Delta T}{\lg \mu} \cdot \lg K \,, \qquad (1)$$

где ДТ – разница в температурах внутренней и внешней поверхностях полого цилиндра; К – отношение внешнего радиуса b к радиусу r, μ – вязкость жидкости.

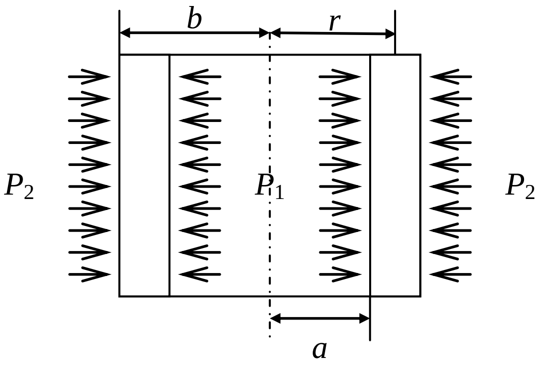

Рис. 1. Расчетная схема нагруженного внутренним и внешним давлением цилиндрического элемента

Согласно [2] после некоторых преобразований компоненты напряженного состояния могут быть рассчитаны по формулам:

$$\sigma_r(r) = \frac{E\alpha_н \Delta T(r)}{2(1-\mu)} \cdot \left(\frac{K^2-1}{\mu^2-1} - \frac{\ln K}{\ln \mu} \right), \qquad (2)$$

$$\sigma_t(r) = \frac{E\alpha_н \Delta T(r)}{2(1-\mu)} \cdot \left(\frac{K^2+1}{\mu^2-1} - \frac{\ln K}{\ln \mu} + \frac{1}{\ln \mu} \right) \qquad (3)$$

$$\sigma_z(r) = \frac{E\alpha_н \Delta T(r)}{2(1-\mu)} \cdot \left(\frac{2}{\mu^2-1} - r \cdot \frac{\ln K}{\ln \mu} + \frac{1}{\ln \mu} \right) \qquad (4)$$

где σ_r, σ_t и σ_z – радиальное, тангенциальное и осевое напряжения, соответственно, E_n–нормальная составляющая модуля упругости, $\alpha_н$ – коэффициент теплового линейного расширения СВС-материала.

По этим формулам оценим напряженное состояние вблизи открытых поверхностей.

У внутренней поверхности (r = a, то есть при К = М, где М – отношение внешнего радиуса b к внешнему a):

$$(\sigma_r)_{r=a} = 0 \qquad (5)$$

$$(\sigma_t)_{r=a} = (\sigma_z)_{r=a} = \frac{E\alpha_н \Delta T}{2(1-\mu)} \cdot \left(\frac{1}{\ln \mu} - r \cdot \frac{\mu^2}{\mu^2-1} \right) \qquad (6)$$

У наружной поверхности (r = b, то есть при К = 1):

$$(\sigma_r)_{r=b} = 0 \qquad (7)$$

$$(\sigma_t)_{r=b} = (\sigma_z)_{r=b} = \frac{E\alpha_н \Delta T}{2(1-\mu)} \cdot \left(\frac{1}{\ln \mu} - r \cdot \frac{2}{\mu^2-1} \right) \qquad (8)$$

Наконец, рассмотрим наиболее общий случай, когда синтез производится с использованием жесткой технологической оболочки. Происхождение действующих напряжений в этой ситуации обязано прежде всего отличию в коэффициентах теплового линейного расширения СВС-материала $\alpha_н$ и технологической оболочке (корпуса) $\alpha_к$ (принятые здесь индексы далее будем рассматривать и на другие характеристика материала и корпуса). Механически это означает, давление Р имеет смысл контактного давления $P_к$, величина которого вычисляется по формуле:

$$P_k = -\frac{(\alpha_н \Delta T_н - \alpha_k \Delta T_k)(\mu^2 - 1)E_н}{1 + (1 - \mu_н)\mu^2 + (\mu^2 - 1)\frac{E_н}{1+\mu_н} \cdot \frac{1}{D_k}}, \quad (9)$$

где ДТ$_н$ и ДТ$_к$ – перепады температуры по телу материала и корпуса соответственно; Д$_к$- характеристика цилиндрической жесткости корпуса.

Кроме этого наличие теплового расширения материала и корпуса приведет к появлению осевой силы.

С учетом сказанного, радиальные и тангенциальные напряжения можно рассчитать по формулам (2) и (3), которые после простейших преобразований примут вид:

$$\sigma_r(r) = P_k \frac{\mu^2}{\mu^2 - 1} \cdot (1 - \frac{a^2}{r^2}), \quad (10)$$

$$\sigma_t(r) = -P_k \frac{\mu^2}{\mu^2 - 1} \cdot (1 + \frac{a^2}{r^2}), \quad (11)$$

и осевое напряжение:

$$\sigma_z(r) = \alpha_н \cdot \Delta T_н \cdot E_н - r\mu_н P_k \frac{\mu^2}{\mu^2 - 1}. \quad (12)$$

Подчеркнем постановочную зависимость формул (10)–(12). Дело в том, что температурные перепады, входящие в расчет Р$_к$, не имеют тривиального толкования. Формально эти перепады определяются как разность между равновесной температурой и температурой эксплуатации элемента (температура, до которой производится охлаждение материала от адиабатической температуры). Равновесную же температуру принято определять как температуру, при которой механические напряжения на границе материал-корпус отсутствуют. Собственно говоря, равновесная температура Т$_р$ является точкой отсчета тепловых напряжений типа (10)–(12), поскольку существование последних в интервале температур от Т$_{ад}$ (адиабатическая) до Т$_р$ (равновестного) маловероятно из-за высокой активности релаксационных явлений.

Литература

1.Разработка новых видов композиционных материалов с заданным комплексом физико-химических свойств./ Отчет АлтПИ, 1990. – 169с.

2.Пономарев С.Д., Бидерман В.А., Лахарев И.К. и др. Расчеты на прочность в машиностроении. – М.: Машгиз, 1958. – 568 с.

3.Итин В.И., Найдбороденко Ю.С. Высокотемпературный синтез интерметаллических соединений. – Томск: Изд-во ТГУ, 1989. – 209 с.