

Л и т е р а т у р а

1. Hats-Chek R.L. Take a new look at ceramics/cermets.// Amer. Mach.- 1981.- V. 125.- № 5.- P. 165-176.
2. Выцрик Г.А., Соловьева Т.В., Харитонов Ф.Я. Прозрачная керамика. М.: Энергия, 1980.-96 с.
3. Исследование свойств горячепрессованных композиционных материалов в системе $TiN - Al_2O_3$, полученных при использовании порошков тонкодисперсной окиси алюминия и плазмохимического нитрида титана /Вильк Ю.Н., Мнякацкая Е.Д., Орданьян С.С. и др. //Порошковая металлургия- 1981.-№7.-С.61-64.
4. Горинский С.Г., Гаврилов Ф.Ф., Бекетов А.Р. Электропроводность консолидированных порошковых композиционных материалов //Порошковая металлургия, 1983.-№6.-С.73-76.
5. Размерные эффекты в процессе перкуляции /Зарицкий Ю.И., Орданьян С.С., Соколов А.Н. и др. //Порошковая металлургия, 1986.- №7.-С.64-71.

УДК 639.893

Добрянский В.М., Косарев О.М., Мазуренко А.М.

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА СКРЕПЛЯЮЩЕЙ ПОДДЕРЖКИ АВД С УЧЕТОМ СОВМЕСТНОГО ДЕЙСТВИЯ ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЙ И ДАВЛЕНИЙ

БИМСХ

Обеспечение потребности техники в сверхтвердых материалах и исследователей в области физики высоких давлений непосредственно связано с совершенствованием аппаратов высоких давлений (АВД). Это делает необходимым поиск методик расчетов их на прочность с учетом действия всех факторов: условий запрессовки, градиентов температур и давлений.

В работе [1] приведен метод расчета на прочность многослойной поддержки, который позволяет определить давление в контактирующих поверхностях через заданные натяги и тем самым выбрать оптимальные

размеры многослойной поддержки АВД, исходя из прочности используемых материалов. Учитывая сложность конструкций АВД и ограниченность в прочностных характеристиках конструкционных материалов, при разработке АВД необходимо создавать условия максимальной отдачи каждой детали, исходя из факторов, которые присутствуют в процессе работы АВД: напряжения запрессовки, температурные напряжения при наличии градиента температуры, давление в реакционном объеме. В работе [2, 3] методика расчета на прочность многослойной поддержки АВД предусматривает исходные данные - давление в реакционном объеме, но не учитывает воздействие термического градиента, при которых возникает неоднородные деформации и соответствующие термические напряжения. Основное положение данной статьи то, что для получения максимальных давлений в реакционном объеме при распределении нагрузок в системе деталей АВД необходимо учитывать характер термонапряжений при наличии градиента температур от центра АВД к его периферии.

Рассмотрим трехслойный АВД (рис. 1). В силу осимметричности деформаций касательные напряжения отсутствуют. На расстоянии от оси цилиндра условие равновесия элемента объема имеет вид 2,4 .

$$\sigma_{\alpha} - \sigma_r - r \frac{d\sigma_r}{dr} = 0 \quad (1)$$

где $\sigma_{r,\alpha}$ - напряжения, действующие в радиальном (r) и окружном (α) направлениях колец.

Из уравнений упругости с учетом температурных напряжений имеем [5]

$$\begin{aligned} \sigma_r &= 2G\epsilon_r + 3\lambda\epsilon - \frac{E}{1-2\mu} \alpha T \\ \sigma_{\alpha} &= 2G\epsilon_{\alpha} + 3\lambda\epsilon - \frac{E}{1-2\mu} \alpha T, \end{aligned} \quad (2)$$

где $G = \frac{E}{2(1+\mu)}$ - модуль сдвига; E - модуль Юнга; μ - коэффициент Пуассона; $\lambda = \frac{\mu E}{(1+\mu)(1-2\mu)}$ - постоянная Ламе; $\epsilon = \frac{1}{3}(\epsilon_r + \epsilon_{\alpha} + \epsilon_z)$ - объемная деформация.

Заменим

$$\epsilon_r = \frac{du_r}{dr}; \quad \epsilon_{\alpha} = \frac{u_r}{r}; \quad \epsilon_z = 0 \quad (3)$$

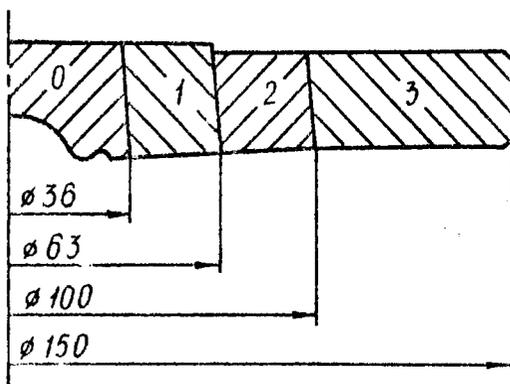


Рис. 1 Схема аппарата высокого давления

$$\begin{aligned}\sigma_r &= 2G \frac{dU_r}{dr} + 3\lambda\varepsilon - \frac{E}{1-2\mu} \alpha T \\ \sigma_\alpha &= 2G \frac{U_r}{r} + 3\lambda\varepsilon - \frac{E}{1-2\mu} \alpha T\end{aligned}\quad (4)$$

Подставим (4) в (1) получим:

$$\frac{d^2 U_r}{dr^2} + \frac{dU_r}{dr} - \frac{U_r}{r^2} = \frac{E\alpha}{(1-2\mu)(2G + \lambda)} \frac{dT}{dr}\quad (5)$$

Допустим, что на внутренней поверхности кольца температура равна T_a , а на наружной T_b . Температурное поле является установившимся и асимметричным, так что $T = T(r)$

Уравнение теплопроводности в цилиндрических координатах имеет вид [6]

$$\frac{d^2 T}{dr^2} + \frac{1}{r} \frac{dT}{dr} = 0,\quad (6)$$

решение которого есть $T = C_1 \ln r + C_2$;

найдем из граничных условий: 1) при $r = a$ $T = T_a$; 2) при $r = b$ $T = T_b$

$$T = T_a - (T_a - T_b) \frac{\ln(r/a)}{\ln(b/a)}\quad (7)$$

Тогда

$$\frac{dT}{dr} = - (T_a - T_b) \frac{1}{r \ln(b/a)} \quad (8)$$

Интегрируя уравнение (5), найдем

$$U_r = C_3 r + \frac{C_4}{r} - \frac{\alpha E (T_a - T_b) r \ln r}{2(1-2\mu)(2b+\lambda) \ln(b/a)} \quad (9)$$

Подставим выражение U_r в (4), продифференцировав $\frac{dU_r}{dr}$ и решив систему двух уравнений (4) используя граничные условия при $r=a$

$\sigma_r = 0, 2$, при $r=b$ $\sigma_r = 0$ находим значение C_3 и C_4 . Подставив полученные значения C_3 и C_4 в уравнение (9), а затем выражение для U_r в уравнения (4), получим

$$\begin{aligned} \sigma_r &= - \frac{\alpha E (T_a - T_b)}{2(1-\mu)} \left[\frac{1 - (a/r)^2}{1 - (a/b)^2} - \frac{\ln(r/a)}{\ln(b/a)} \right] \\ \sigma_\alpha &= - \frac{\alpha E (T_a - T_b)}{2(1-\mu)} \left[\frac{1 + (a/r)^2}{1 - (a/b)^2} - \frac{1 + \ln(r/a)}{\ln(b/a)} \right] \end{aligned} \quad (10)$$

По известным значениям σ_r и σ_α находим величину внутреннего P_B и наружного P_H давлений, используя уравнения Ламе (II), которые определяют зависимость напряжений σ_r и σ_α от P_B и P_H

$$\begin{aligned} \sigma_\alpha &= \frac{P_B a^2 - P_H b^2}{b^2 - a^2} + \frac{(P_B - P_H) a^2 b^2}{(b^2 - a^2) r^2} \\ \sigma_r &= \frac{P_B a^2 - P_H b^2}{b^2 - a^2} - \frac{(P_B - P_H) a^2 b^2}{(b^2 - a^2) r^2} \end{aligned} \quad (II)$$

Окончательно получим выражение для давлений (P_B, P_H) в стыках колец поддержки

$$\begin{aligned} P_B &= \frac{\alpha E (T_a - T_b)}{2(1-\mu)} \frac{r^2 + a^2 + 2a^2 \ln(r/a)}{2a^2 \ln(b/a)} \\ P_H &= \frac{\alpha E (T_a - T_b)}{2(1-\mu)} \left[1 + \frac{r^2 + b^2 + 2b^2 \ln(r/a)}{2b^2 \ln(b/a)} \right] \end{aligned} \quad (12)$$

где $E = 210$ ГПа, $\mu = 0,3$, $E = 210$ ГПа, $\mu = 0,28$, $E = 200$ ГПа
 $\mu = 0,25$.

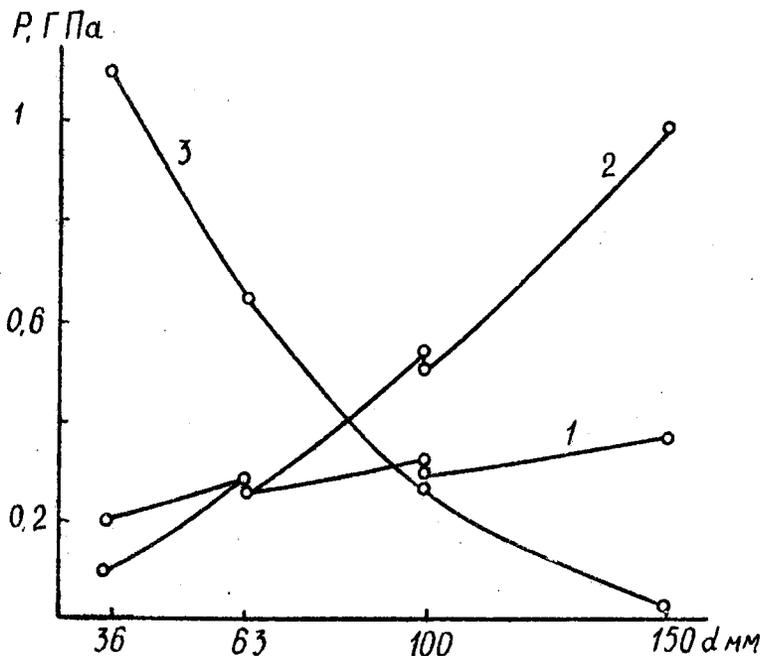


Рис. 2 Распределение давления в АД в радиальном направлении: 1 - давление сжатия, 2 - давление растяжения, 3 - давление конструктивных натягов.

Разработанный метод расчета на прочность многослойной поддержки АД позволяет по уравнениям (12) определить давления в стыках колец поддержки, возникающие при эксплуатации АД за счет разницы температур в реакционной зоне и на периферии.

Проведем расчет АД, используемого для синтеза кубического нитрида бора. Аппарат имеет твердосплавную матрицу $d_1 = 36 \cdot 10^{-3}$ м

и три кольца поддержки $d_2 = 63 \cdot 10^{-3}$ м $d_1 = 100 \cdot 10^{-3}$ м,
= $150 \cdot 10^{-3}$ м. Кольца изготовлены из стали 35ХГСА $T_a = 120^\circ\text{C}$
 $T_b = 20^\circ\text{C}$. Данные расчета приведены на графике (рис. 2).

По данным работы [1] построена (кривая 3) зависимость давления в контактирующих поверхностях в результате действий конструкционных натягов соответствующих оптимальным размерам многослойной поддержки АД. Рассмотрение полученных зависимостей методом линейной суперпозиции показывает, что наличие действия в стыках одновременно растягивающих, сжимающих (кривая 1,2) давлений, возникающих в результате термических градиентов и давления (кривая 3) от усилий конструкционных натягов, позволяет снизить эквивалентное напряжение и тем самым повысить эксплуатационные свойства АД.

Л и т е р а т у р а

1. В.М.Добрянский, Н.Ф.Лугаков, М.А.Козловский. К вопросу расчета скрепляющей поддержки аппаратов высокого давления. Физика и техника высоких давлений. 1988.-27.-С.85-87.

2. В.М.Добрянский. Расчет многослойной поддержки аппаратов высокого давления. Высокие давления в науке и технике. Киев, 1987, С. 103.

3. В.М.Добрянский, О.М.Косарев, В.С.Урбанович. К вопросу расчета аппаратов высокого давления. Тезисы докладов У Всесоюзной конференции. Минск, 1987.-С.78.

4. Писоренко Г.С. Сопротивление материалов. Киев. Техника, 1967.- С.245.

5. Никольс Р. Конструирование и технология изготовления сосудов давления. Москва. Машиностроение, 1975.-С.369.

6. Пискунов Н.С. Дифференциальное и интегральное исчисления. Москва. Наука. 1978.-С.582.