

## Допустимое внутреннее давление в полых цилиндрических комбинированных отливках

Проведена теоретическая оценка влияния размеров полых цилиндрических комбинированных отливок на допустимое давление  $p_v$  при их нагружении рабочим телом изнутри. Установлено, что у комбинированных отливок величина  $p_v$  существенно зависит от ряда их конструктивных факторов, влияние которых следует учитывать при проектировании той или иной комбинированной отливки. При этом из числа исследованных факторов наиболее значимыми являются величина натяга и толщина стенки отливки.

**Ключевые слова:** полые цилиндрические комбинированные отливки, керамическая вставка, внутреннее давление, тангенциальные напряжения.

**Состояние вопроса.** Изготовление комбинированных деталей сложной конфигурации с обжимом керамических вкладышей по всей их поверхности – приоритет способа получения деталей методом литья. Комбинированные отливки – одно из перспективных направлений современного производства литых деталей, работающих под атмосферным и повышенным давлением рабочего тела, в качестве которого могут быть как газообразные, так и жидкие среды с достаточно широким интервалом изменения температуры, химически нейтральные и агрессивные. Использование керамической вставки в комбинированной отливке позволяет решить проблему увеличения надежности и долговечности работы, например, запорной арматуры, абразивоустойчивости колен абразивопроводов и т. д.

Тем не менее, на сегодняшний день литые детали такого типа не используют, в частности, в связи с отсутствием теоретических оценок влияния размеров полых цилиндрических комбинированных отливок на допустимое давление при их нагружении рабочим телом изнутри.

**Задача работы.** Теоретическая оценка влияния размеров полых цилиндрических комбинированных отливок на допустимое давление при их нагружении рабочим телом изнутри.

**Результаты исследований.** Если (рис. 1) принять, что  $\sigma_{rp}$  – дополнительное радиальное напряжение от давления ( $p_v$ ) рабочего тела внутри отливки;  $\sigma_{tp}$  – дополнительное тангенциальное напряжение от давле-

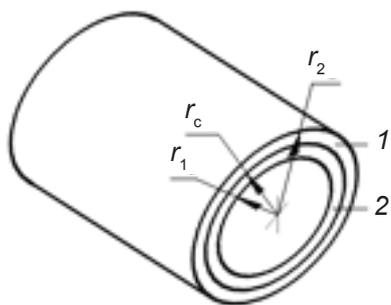


Рис. 1. Схема цилиндрической комбинированной отливки: 1 – отливка; 2 – керамическая вставка

ния  $p_v$ ;  $r_1$  – внутренний радиус керамической вставки;  $r_2$  – внешний радиус отливки;  $r_c$  – радиус сопряжения цилиндров;  $E_1, E_2$  – модули Юнга материала керамической вставки и отливки соответственно;  $\mu_2, \mu_1$  – коэффициенты Пуассона материала керамической вставки и отливки соответственно, то предельно допустимое внутреннее давление ( $p_v$ ), оказываемое изнутри на полые цилиндрические комбинированные отливки рабочим телом (газом или жидкостью) при заданных величинах натяга  $\Delta$  и допустимого напряжения ( $\sigma$ ), можно рассчитать по следующему алгоритму.

Рассчитываем величину  $K_v$  по формуле:

$$K_v = \frac{2r_1^2}{r_c^2 - r_1^2} \cdot \frac{1}{\left( \frac{r_c^2 + r_1^2}{r_c^2 - r_1^2} - \mu_2 \right) + \left( \frac{r_2^2 + r_c^2}{r_2^2 - r_c^2} + \mu_1 \right) \frac{E_2}{E_1}}$$

Значение  $K_v$  при всех значениях параметров – положительно.

Рассчитываем величину  $K_\Delta$  по формуле:

$$K_\Delta = \frac{1}{\frac{r_c}{E_1} \left( \frac{r_2^2 + r_c^2}{r_2^2 - r_c^2} + \mu_1 \right) + \frac{r_c}{E_2} \left( \frac{r_c^2 + r_1^2}{r_c^2 - r_1^2} - \mu_2 \right)}$$

Значение  $K_\Delta$  при всех значениях параметров – положительно.

Вычисляем значения коэффициентов  $f_1$  и  $f_2$ :

$$f_1 = \left( (r_c^2 + r_1^2) - 2r_c^2 \cdot K_v \right), \quad (1)$$

$$f_2 = \left( 2r_1^2 - (r_c^2 + r_1^2) \cdot K_v \right). \quad (2)$$

Если  $f_1 > 0$  и  $f_2 > 0$ , то имеем систему неравенств, исходящих из третьего условия прочности [1] и условий отсутствия растягивающих напряжений во вставке, с помощью которых вычисляем наибольшие значения  $p_v$  для каждого неравенства в отдельности по формулам:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{V1} \leq \frac{2r_c^2 K_\Delta \cdot \Delta}{(r_c^2 + r_1^2) - 2r_c^2 \cdot K_V}, \\ p_{V2} \leq \frac{(r_c^2 + r_1^2) K_\Delta \cdot \Delta}{2r_1^2 - (r_c^2 + r_1^2) \cdot K_V}, \\ p_{V3} \leq \frac{(r_2^2 - r_c^2) [\sigma]}{2r_2^2} \frac{K_\Delta \Delta}{K_V} - \frac{K_\Delta \Delta}{K_V}. \end{array} \right. \quad (3)$$

$$[p_V] = \min \{ p_{V1}, p_{V3} \}. \quad (8)$$

Если  $f_1 > 0$  и  $f_2 > 0$ , то для определения  $[p_V]$  необходимо использовать формулу:

$$[p_V] = p_{V3} = \frac{(r_2^2 - r_c^2) [\sigma]}{2r_2^2} \frac{K_\Delta \Delta}{K_V} - \frac{K_\Delta \Delta}{K_V}. \quad (9)$$

Допустимое внутреннее давление  $[p_V]$  – минимальное из трех значений (3):

$$[p_V] = \min \{ p_{V1}, p_{V2}, p_{V3} \}. \quad (4)$$

Если  $f_1 < 0$ , а  $f_2 > 0$ , то для определения  $[p_V]$  необходимо использовать (3):

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{V2} \leq \frac{(r_c^2 + r_1^2) K_\Delta \cdot \Delta}{2r_1^2 - (r_c^2 + r_1^2) \cdot K_V}, \\ p_{V3} \leq \frac{(r_2^2 - r_c^2) [\sigma]}{2r_2^2} \frac{K_\Delta \Delta}{K_V} - \frac{K_\Delta \Delta}{K_V}. \end{array} \right. \quad (5)$$

Допустимое внутреннее давление  $[p_V]$  – минимальное из двух значений (5):

$$[p_V] = \min \{ p_{V2}, p_{V3} \}. \quad (6)$$

Если  $f_1 > 0$ , а  $f_2 < 0$ , то для определения  $[p_V]$  необходимо использовать (3):

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{V1} \leq \frac{2r_c^2 K_\Delta \cdot \Delta}{(r_c^2 + r_1^2) - 2r_c^2 \cdot K_V}, \\ p_{V3} \leq \frac{(r_2^2 - r_c^2) [\sigma]}{2r_2^2} \frac{K_\Delta \Delta}{K_V} - \frac{K_\Delta \Delta}{K_V}. \end{array} \right. \quad (7)$$

Допустимое внутреннее давление  $[p_V]$  – минимальное из двух значений (7):

С целью оценки влияния конструктивных факторов комбинированной полый цилиндрической отливки на предельно допустимую величину давления рабочего тела в ней по представленному алгоритму провели следующий расчет.

Расчет проводили для  $[\sigma] = 300 \cdot 10^6$  Па (300 МПа) при следующих значениях переменных:

– отливка – сталь конструкционная нелегированная 30Л с величиной  $E_1 = 100000$  Па (200 МПа),  $\mu_1 = 0,25$ ;

– керамическая вставка – фарфор с величиной  $E_2 = 36000$  Па (36 МПа),  $\mu_2 = 0,25$ .

Результаты проведенных расчетов предельно допустимых значений ( $p_V$ ) для различных типов размеров комбинированных отливок приведены в таблице.

Используя данные таблицы, построили зависимости, представленные на рис. 2.

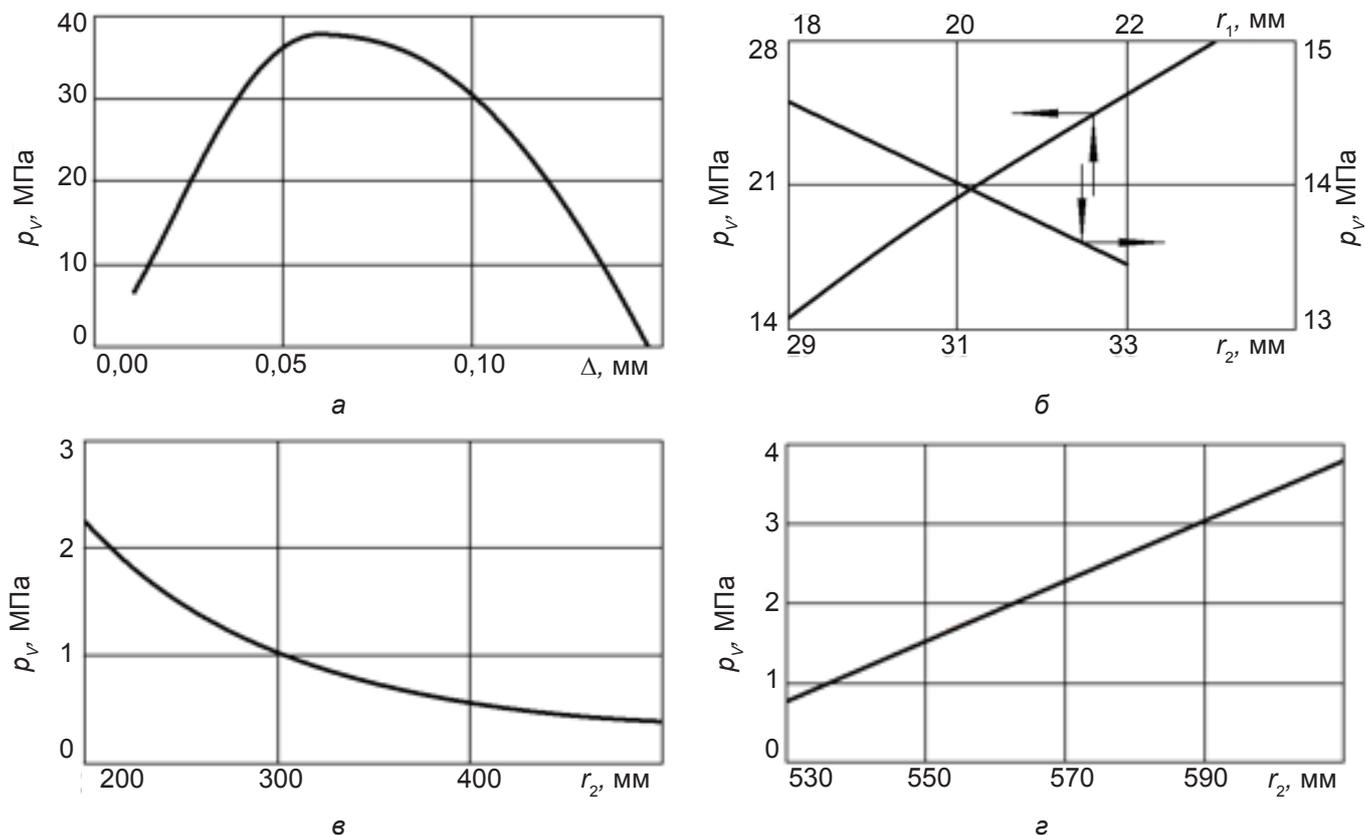
Анализ зависимостей на рис. 2 показывает, что величина предельно допустимого давления внутри отливки, создаваемого рабочим телом, от величины натяга (см. рис. 2, а) имеет зависимость экстремум. То есть, с увеличением натяга величина  $p_V$  возрастает, и по достижении определенной величины – понижается вплоть до нуля. Данная закономерность обусловлена обратной пропорциональной зависимостью предела прочности материала отливки от величины остаточных напряжений в ней.

В соответствии с ходом зависимостей (рис. 2, б), величина  $p_V$  возрастает с повышением толщины стенки отливки и монотонно незначительно понижается со снижением толщины стенки керамической вставки отливки.

Данные закономерности соблюдаются и при увеличении внутреннего диаметра отливки (рис. 2, в), и при увеличении толщины стенки отливки (рис. 2, г). При этом с увеличением внутреннего диаметра отливки (рис. 2, г) повышение величины  $p_V$  менее ин-

### Предельно допустимые значения внутреннего давления для различных типов размеров полых комбинированных отливок цилиндрической формы

п/п	$r_1$ , мм	$r_c$ , мм	$r_2$ , мм	$\Delta$ , мм	$p_V$ , МПа	п/п	$r_1$ , мм	$r_c$ , мм	$r_2$ , мм	$\Delta$ , мм	$p_V$ , МПа
1	18	25	29	0,02	14,59	9	200	210	220	0,10	2,35
2	18	25	29	0,05	36,47	10	300	310	320	0,10	1,07
3	18	25	29	0,1	30,39	11	400	410	420	0,10	0,61
4	18	25	29	0,15	-3,05	12	500	510	520	0,10	0,39
5	20	25	29	0,02	14,03	13	500	510	530	0,10	0,78
6	22	25	29	0,02	13,47	14	500	510	550	0,10	1,55
7	18	25	31	0,02	20,43	15	500	510	580	0,10	2,69
8	18	25	34	0,02	27,80	16	500	510	620	0,10	4,17



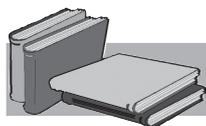
**Рис. 2.** Зависимость предельно допустимого внутреннего давления в полой комбинированной стальной отливке с фарфоровой вставкой от величины натяга (а), внутреннего радиуса фарфоровой вставки и внешнего диаметра отливки (б), внутреннего радиуса фарфоровой вставки (в) и внешнего радиуса отливки (з)

тенсивно по сравнению с отливками меньшего диаметра (рис. 2, б).

### Выводы

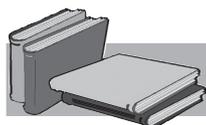
У комбинированных отливок величина  $p_v$  существенно зависит от ряда их конструктивных факто-

ров, влияние которых следует учитывать при проектировании той или иной комбинированной отливки. При этом из числа исследованных факторов наиболее значимыми является величина натяга и толщина стенки отливки.



### ЛИТЕРАТУРА

1. Писаренко Г. С., Яковлев А. П., Матвеев В. В. Справочник по сопротивлению материалов. – Издательство: Наукова думка, 1988. – 734 с.



### REFERENCES

1. Pisarenko G. S., Yakovlev A. P., Matveev V. V. (1988). Spravochnik po soprotivleniu materialov [Reference book on strength of materials]. Izdatel'stvo: Naukova dumka, 734 p. [in Russian].

**Анотація**

*Мазорчук В. Ф., Наумова І. Ю., Реп'ях С. І.*

Припустимий внутрішній тиск у порожнистих циліндричних комбінованих виливках

*Проведено теоретичну оцінку впливу розмірів порожнистих циліндричних комбінованих виливків на припустимий тиск  $p_v$  при напруженні робочим тілом зсередини. Встановлено, що у комбінованих виливках величина  $p_v$  суттєво залежить від ряду їх конструктивних факторів, вплив котрих слід враховувати при проектуванні того чи іншого комбінованого виливка. При цьому з числа досліджених факторів найбільш впливовими є величина натягу й товщина стінки виливка.*

**Ключові слова**

*Порожністі циліндричні комбіновані виливки, керамічна вставка, внутрішній тиск, тангенціальні напруження.*

**Summary**

*Mazorchuk V., Naumova I., Rep'iyakh S.*

Allowable internal pressure in the hollow combined cylindrical castings

*It was carried out the theoretical evaluation of the effect of dimensions of combined hollow cylindrical castings on the allowable pressure  $p_v$  when they are loading with the working body from the inside out. It was found that in combined castings value of  $p_v$  depends on a number of their designs-structural factors which must be considered in the design of a particular combined related casting. Thus, among the studied factors the most significant is the magnitude of interference and wall thickness of the casting.*

**Keywords**

*Combined hollow cylindrical castings, ceramic insert, internal pressure, tangential stresses.*

Поступила 22.03.17