

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 σ_{rp} – дополнительное радиальное напряжение от давления (p_v) рабочего тела внутри отливки; σ_{tp} – дополнительное тангенциальное напряжение от давле-

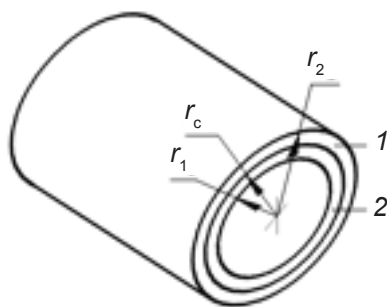


Рис. 1. Схема цилиндрической комбинированной отливки: 1 – отливка; 2 – керамическая вставка

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; μ_2, μ_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 Δ и допустимого напряжения (σ), 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_Δ 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_Δ 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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Допустимое внутреннее давление $[\rho_V]$ – 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 (ρ_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 ρ_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 ρ_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 ρ_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	Δ , мм	ρ_V , МПа	п/п	r_1 , мм	r_c , мм	r_2 , мм	Δ , мм	ρ_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

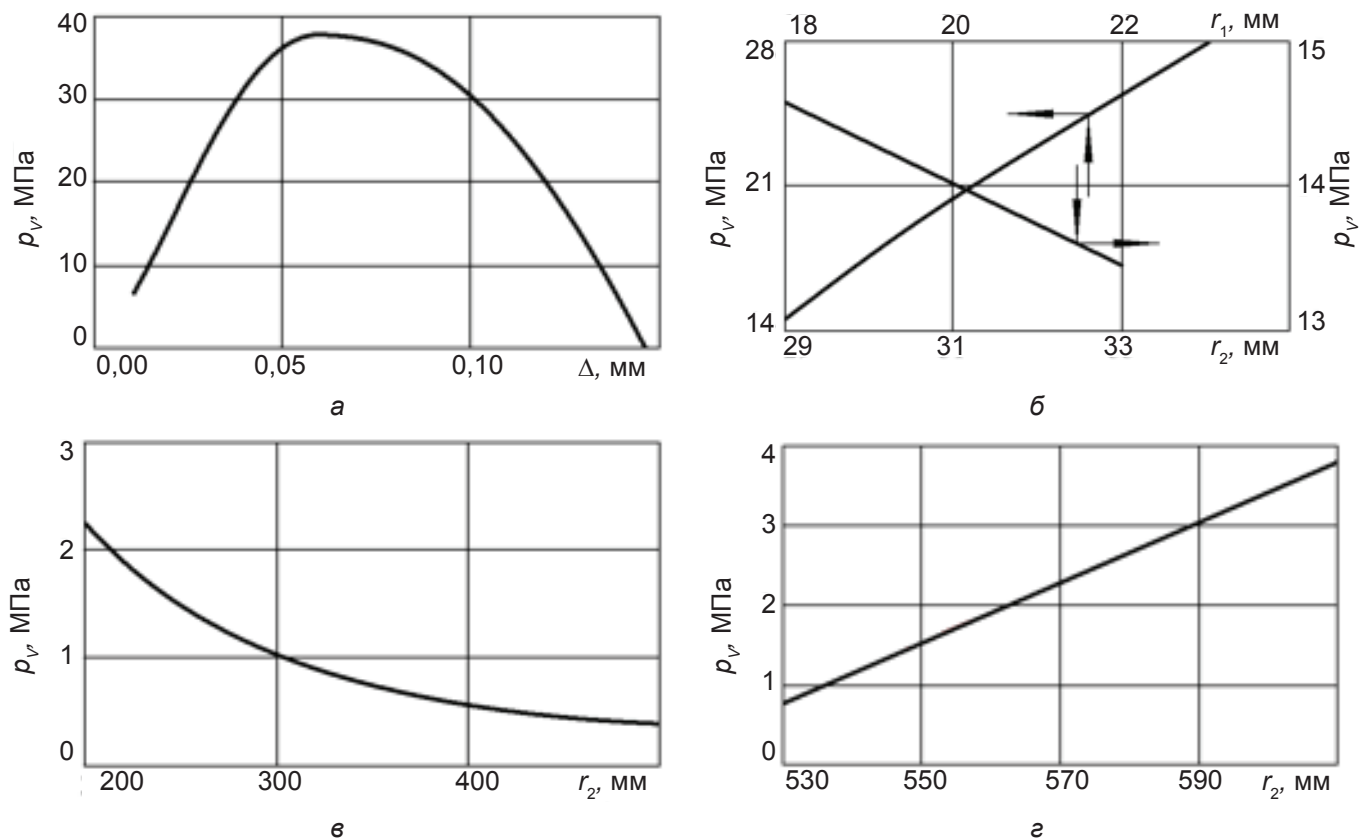


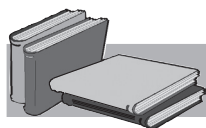
Рис. 2. Зависимость предельно допустимого внутреннего давления в полый комбинированной стальной отливке с фарфоровой вставкой от величины натяга (а), внутреннего радиуса фарфоровой вставки и внешнего диаметра отливки (б), внутреннего радиуса фарфоровой вставки (в) и внешнего радиуса отливки (г)

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

Выводы

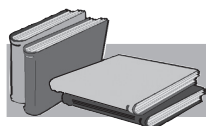
У комбинированных отливок величина p_v существенно зависит от ряда их конструктивных факто-

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