

Термостойкость керамических стержней, используемых в отливках

Определен коэффициент термического линейного расширения фарфоровых и полуфарфоровых изделий (стержней), который составляет $(3,7 \div 5,2) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Установлено, что максимально допустимый перепад температур между начальной температурой фарфорового или полуфарфорового стержня (изделия) и внешней средой составляет ~ 250 °С, отношение величины предела прочности при растяжении к модулю упругости – 0,00167. При этом ни начальная температура, ни форма керамических изделий (стержней) из полуфарфора М01 влияния на их термостойкость не оказывает. Ил. 4. Табл. 1. Библиогр.: 2 назв.

Ключевые слова: термостойкость, коэффициент термического линейного расширения, полуфарфор, керамическая масса, предел прочности

The coefficient of thermal linear expansion of porcelain and semi porcelains products (rods), which is $(3,7 \div 5,2) \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Found that the maximum temperature difference between the initial temperature of the porcelain or semi porcelain rod (products) and the external environment is ~ 250 °С, the ratio of tensile strength to elasticity modulus – 0,00167. However, neither the initial temperature, no form of ceramic products (rods) of semi porcelain M01 influence on their thermal stability has not.

Keywords: thermal resistance, coefficient of thermal linear expansion, semiporcelain, ceramic mixture, ultimate resistance

Постановка проблемы и состояние вопроса

Для выполнения внутренних полостей в отливках используют стержни, которые могут быть полыми. Одним из недостатков полых керамических стержней является их низкая термическая стойкость, приводящая к разрушению стержней в момент их контакта с расплавом. Причиной разрушения являются напряжения, возникающие в материале стержня в период его нагрева теплотой залитого в форму расплава.

В соответствии с теорией У. Д. Кингери, величину напряжений, возникающих в стержне при его нагреве, рассчитывают по формуле [1]:

$$\sigma = \frac{k \cdot E \cdot (t_1 - t_2)}{1 - \mu}, \text{ Па} \quad (1)$$

где k – коэффициент термического линейного расширения (КТЛР) стержня в интервале температур от t_1 до t_2 , град⁻¹; E – модуль упругости (модуль Юнга) на растяжение в интервале температур от t_1 до t_2 , Па; μ – коэффициент Пуассона (для керамических материалов $\mu \approx 0,25$); t_1 и t_2 – температура наружной среды и начальная температура стенки соответственно, °С.

Если в формуле (1) величину σ приравнять к пределу прочности материала стержня при растяжении (σ_B), то в качестве критерия его термостойкости можно принять перепад температуры (Δt , °С):

$$\Delta t = t_1 - t_2 = \frac{\sigma_B}{E} \cdot \frac{1}{k} \cdot (1 - \mu). \quad (2)$$

Из (2) следует, что величина Δt тем больше (термостойкость выше), чем больше соотношение σ_B / E и меньше k . На сегодняшний день значения σ_B / E и k для многих керамических марок и, в частности, для фарфора, неизвестны. Это не позволяет проводить оценку уровня термостойкости керамических стержней, изготовленных из различных стержневых смесей, и, соответственно, принять обоснованное решение в пользу того или иного материала.

Постановка задачи исследования

Определение величины КТЛР, σ_B / E и термостойкости изделий из полуфарфора.

Результаты исследования

Из числа керамических масс, производимых централизованно для производства керамических изделий из фарфора и полуфарфора, использовали массу М01 (ТУ 0503302-04/23727). Химический состав и температура обжига изделий из массы М01 приведены в таблице.

Обжиг массы М01 при температуре 1250÷1300 °С позволяет получать высокопрочные керамические изделия, которые требуют специального оборудования и режущего инструмента для обработки. Поэтому, с целью повышения податливости, керамические изделия изготавливали не только из фарфора, обожженного при 1250÷1300 °С, но и из так называемого полуфарфора. Полуфарфоровые изделия получали в результате их обжига при 1200±15 °С по режиму: нагрев со скоростью 90÷100 °С/ч

Химический состав и температура обжига изделий из фарфоровой керамической массы М01 (ТУ 0503302-04/23727)

Марка массы	Химический состав, % (по массе)									Температура обжига, °С
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	п.п.п.	
М01	56,0	32,0	0,03	0,65	0,35	0,6	1,7	0,85	7,8	1250±1300

до 1200±15 °С, изотермическая выдержка при 1200±15 °С в течение 120±140 мин, охлаждение вместе с печью до 50±100 °С в течение 10 ч.

Величину коэффициента линейного расширения (КЛР) фарфоровых и полуфарфоровых изделий из массы М01 определяли dilatометрическим методом на установке, схема которой представлена на рис. 1а. Зависимость удлинения керамических образцов из массы М01 от температуры представлена на рис. 1б.

Определение КЛР проводили на образцах, выполненных в виде стакана с габаритными размерами Ø50×80 мм и толщиной стенки 3 мм. Температуру нагрева образца в процессе его испытания осуществляли ступенчато, путем ее повышения на 100±10 °С со скоростью

10÷12 °С/мин и последующей изотермической выдержкой в течение 30±1 мин. Результаты расчета КТЛР полуфарфоровых изделий из массы М01 представлены на рис. 1б.

Из анализа зависимостей на рис. 1б следует, что величина КТЛР образцов из керамической массы М01 составляет $(3,7 \div 5,2) \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Интервал изменения величины k от $3,7 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ до $5,2 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹ объясняется различием степени обжига испытываемых образцов. Образцы, обожженные при температуре 1350 °С, имели величину $k = 3,7 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹, а образцы, обожженные при температуре 1200 °С – $k = 5,2 \cdot 10^{-6}$ град⁻¹. Данное различие объясняется тем, что, по-видимому, более высокая температура обжига фарфорового изделия, способствует образованию новых химических соединений, в частности стеклофазы, которые и привели к уменьшению КТЛР изделия в целом.

Термостойкость изделий, изготовленных из керамической массы М01, определяли на образцах, имитирующих отдельные элементы возможных фарфоровых вставок в отливках, схемы которых представлены на рис. 2.

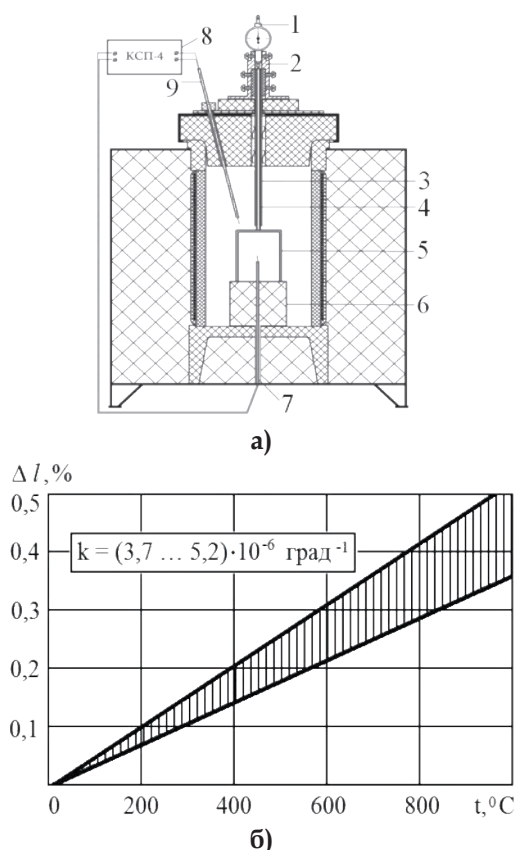


Рис. 1. Схема установки для определения КЛР (а) и зависимость удлинения обожженных образцов из керамической массы М01 от температуры (б):

- 1 – индикатор часового типа; 2 – штوك индикатора;
- 3 – неподвижный цилиндр; 4 – подвижный штук;
- 5 – испытуемый керамический стакан;
- 6 – шамотный стол; 7 – нижняя термопара;
- 8 – потенциометр КСП-4; 9 – верхняя термопара

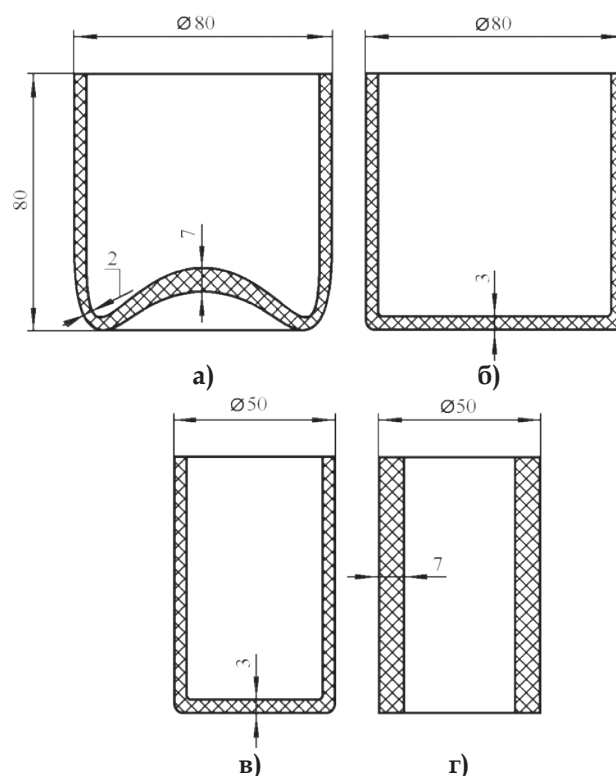


Рис. 2. Схема чашевидного (а-в) и полоого цилиндрического стержня (г)

В качестве определяемой величины принято значение перепада температур (Δt) между испытуемым изделием, изготовленным из полуфарфора, и теплоносителем (расплавом олова с величиной $t_1 = 231,9^\circ\text{C}$ или сплава алюминия АК12 с величиной $t_1 = 591^\circ\text{C}$) [2].

В исследованиях в чашевидное изделие (см. рис. 1а-в) при начальной температуре от $20 \pm 300^\circ\text{C}$ на $\sim 0,3 \pm 0,4$ его высоты заливали расплав олова с температурой от 300 до 500°C или сплав алюминия АК12 нагретый до $720 \pm 10^\circ\text{C}$. Полые цилиндрические изделия погружали в расплав олова с температурой от 500 до 700°C и расплав алюминия АК12 при температуре от 750 до 1000°C . С целью обеспечения однонаправленности теплового потока погружаемые полые цилиндрические изделия с торцов предварительно закрывали пеношамотными пробками в соответствии со схемой на рис. 3.

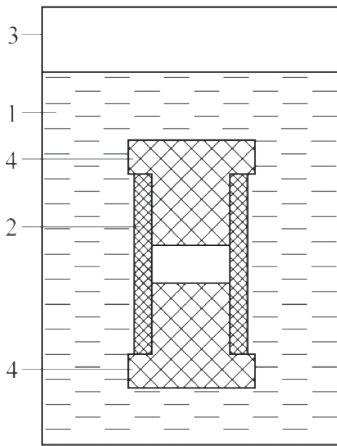


Рис. 3. Схема погружения в расплав полого цилиндрического изделия:

- 1 – расплав металла; 2 – испытуемое изделие;
- 3 – тигель печи; 4 – пеношамотная пробка

Выдержку испытуемых образцов в расплаве осуществляли в течение 300 ± 310 с. Термостойкость полых цилиндрических изделий оценивали величиной максимального перепада температур между его начальной температурой и температурой расплава, при которой в изделии не образуются трещины.

Термостойкость чашеподобных изделий оценивали длиной трещин, образующихся на их днище. Длину трещин определяли с помощью курвиметра с точностью ± 1 мм.

Зависимость протяженности трещин в днище испытуемых чашеподобных изделий от перепада температур между заливаемым расплавом и их начальной температурой представлена на рис. 4.

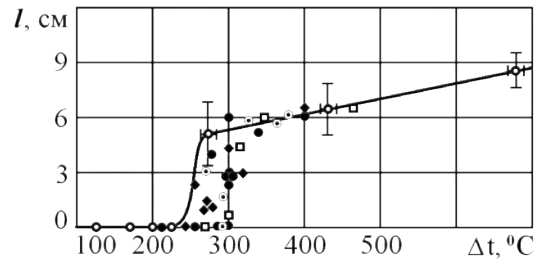


Рис. 4. Зависимость общей длины трещин в днище образца от перепада температур между заливаемым металлом и керамическим стаканом с начальной температурой $20 \pm 800^\circ\text{C}$:

- – $t_{нф} = 20^\circ\text{C}$; ● – $t_{нф} = 150^\circ\text{C}$; ⊙ – $t_{нф} = 200^\circ\text{C}$;
- – $t_{нф} = 400^\circ\text{C}$; □ – $t_{нф} = 600^\circ\text{C}$; ◆ – $t_{нф} = 800^\circ\text{C}$

Установлено (см. рис. 4), что термостойкость испытуемого полуфарфора составляет $\Delta t = 250^\circ\text{C}$. При этом, на величину термостойкости не влияет ни начальная температура изделия, ни его форма.

Полученное значение $\Delta t = 250^\circ\text{C}$ позволило рассчитать по формуле (2) величину σ_B/E , которая для полуфарфора из массы М01 составила $0,00167$.

Выводы

1. Установлено, что термостойкость керамических изделий (стержней) из полуфарфоровой массы М01 составляет $\sim 250^\circ\text{C}$, коэффициент термического линейного расширения $\sim 5 \cdot 10^{-6}$ град $^{-1}$, соотношение $\sigma_B/E = 0,00167$.
2. Установлено, что ни начальная температура, ни форма керамических изделий (стержней) из полуфарфора М01 влияния на их термостойкость не оказывает.
3. Полученные данные позволяют проводить подбор материала и параметров заливки формы, предупреждающие образование трещин в стержнях, изготовленных на основе фарфора или полуфарфора.

Библиографический список

1. Кингери У. Д. Введение в керамику / У. Д. Кингери; Под ред. П. П. Будникова, Д. Н. Полубояринова; Пер. с англ. А. И. Рабухина, В. К. Яновского. – 2-е изд. – М.: Стройиздат, 1967. – 500 с.
2. Лейбензон В. О., Пілюшенко В. Л., Кондратенко В. М., Хричиков В. Є. Твердження металів і металевих композицій. Підручник для ВУЗів. Видання друге, доопрацьоване. Затверджено Міністерством освіти і науки України. – Київ: Наукова думка, 2009. – 447 с.

Поступила 20.02.2015