

## Определение теплофизических параметров фарфоровых литейных форм и стержней

Определены значения теплофизических свойств фарфора М01 в зависимости от температуры в пределах от 20 до 1000 °С. При повышении температуры удельная плотность фарфора М01 линейно понижается от 2332 до 2302 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности возрастает от 0,90 до 1,64 Вт/(м·°С), а удельная теплоемкость – от 920 до 1105 Дж/(кг·°С). Полученные данные могут быть использованы в теплофизических расчетах, в частности, при компьютерном моделировании процесса затвердевания отливок. Ил. 3. Табл. 3. Библиогр.: 1 назв.

**Ключевые слова:** коэффициент теплопроводности, удельная теплоемкость, удельная плотность, водопоглощение, литейная форма, фарфор

*The values of thermophysical properties of porcelain M01 depending on the temperature range from 20 to 1000 °C. With increasing temperature, the specific density of porcelain M01 decreases linearly from 2332 to 2302 kg/m<sup>3</sup>, coefficient of heat conductivity increases from 0,90 to 1,64/(m·°C) and specific heat from 1105 to 920 J/(kg·°C). The data obtained can be used in thermal calculations, in particular by computer simulation of the solidification process of casts.*

**Keywords:** heat conduction coefficient, specific heat capacity, relative density, water adsorption, casting mold, porcelain

### Постановка проблемы и состояние вопроса

Для прогнозирования условий формирования отливки и управления ее качеством, необходимы данные о теплофизических свойствах материалов литейной формы и ее стержней. К числу таких параметров, в частности, относятся удельная плотность ( $\rho$ ), коэффициент теплопроводности ( $\lambda$ ) и удельная теплоемкость ( $c$ ).

Многообразие материалов литейных форм и стержней, формовочных и стержневых смесей привело к тому, что на сегодняшний день такие данные для большинства формообразующих материалов отсутствуют. Использование приближенных величин теплофизических свойств в расчетах, как правило, приводит к несоответствию между моделируемым и реальным процессом в отливки. Поэтому задача по определению теплофизических свойств материалов литейных форм и стержней является актуальной.

### Постановка задачи исследования

Определение теплофизических свойств фарфора, изготовленного из керамической массы М01 (ТУ 0503302-04/23727).

### Основные результаты

В исследованиях использовали фарфоровые образцы, изготовленные из керамической массы М01 предварительно обожженные при температуре 1270±15 °С, водопоглощение которых, определенное в соответствии с ГОСТ 7525-91, составило 0,09÷0,10 % по массе.

Удельную плотность фарфора определяли на цилиндрических образцах с размерами Ø25×25 мм. Размеры испытываемых образцов определяли с помощью электронного штангенциркуля марки Sigma 391110, с точностью 0,02 мм. Расчет удельной плотности проводили при 20 °С по формуле

$$\rho_{20} = \frac{m}{V} \cdot 1000, \text{ кг/м}^3, \quad (1)$$

где  $m$  – масса керамического образца, кг;  $V$  – объем керамического образца, м<sup>3</sup>.

Удельная плотность испытанных фарфоровых образцов составила 2332±12 кг/м<sup>3</sup> при 20 °С. Удельную плотность фарфоровых образцов в интервале температур от 20 до 1100 °С рассчитывали по формуле

$$\rho_t = \frac{\rho_{20}}{1 + 3 \cdot k \cdot (t - 20)}, \quad (2)$$

где  $k$  – коэффициент термического линейного расширения (для фарфора из смеси М01 величина  $k = 40 \cdot 10^{-6}$  град<sup>-1</sup>);  $t$  – температура образца, °С.

Результаты вычисления  $\rho_t$  по формуле (2) в интервале температур 20÷1100 °С приведены в табл. 1.

Коэффициент теплопроводности испытываемого фарфора определяли по методике [1]. Схема установки для определения коэффициента теплопроводности представлена на рис. 1а, а схема испытываемого образца – рис. 1б.

Таблица 1

Удельная плотность фарфора при различных температурах

t, °C	ρ <sub>v</sub> , кг/м <sup>3</sup>	t, °C	ρ <sub>v</sub> , кг/м <sup>3</sup>	t, °C	ρ <sub>v</sub> , кг/м <sup>3</sup>	t, °C	ρ <sub>v</sub> , кг/м <sup>3</sup>
20	2332	300	2324	600	2316	900	2308
100	2330	400	2321	700	2313	1000	2305
200	2327	500	2319	800	2310	1100	2302

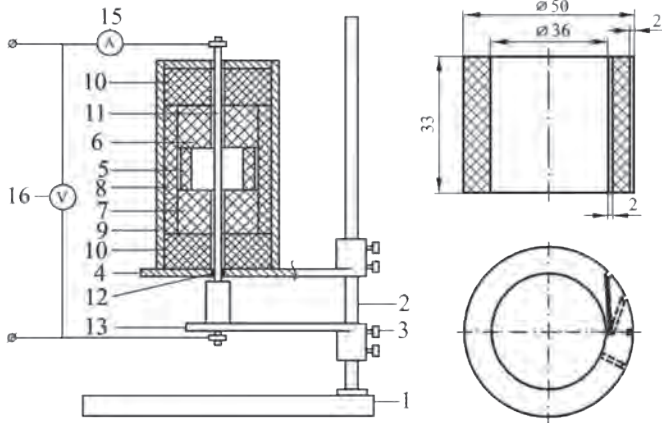


Рис. 1. Схема установки (а) и образца (б) для определения коэффициента теплопроводности:

- 1 – станина; 2 – стержень; 3 – винт; 4 – диск;
- 5 – керамический образец; 6 – верхняя надставка;
- 7 – нижняя надставка; 8 – наружная изоляция;
- 9 – слой асбеста; 10 – торцевая теплоизоляция;
- 11 – нагреватель; 12 – теплоэлектроизоляция;
- 13 – кронштейн

Расчет величины коэффициента теплопроводности проводили по формуле [1]

$$\lambda = K \cdot \frac{W}{\Delta t}, \text{ Вт/(м} \cdot \text{°C)}, \quad (3)$$

где K – изменение показателя ваттметра и разницы температур на горячей и холодной поверхностях образца (K = 0,438); W – электрическая мощность установки, Вт; Δt – разница температур между наружной и внутренней цилиндрическими поверхностями образца, °C.

Расчетные значения коэффициента теплопроводности образцов испытуемого фарфора при различных температурах приведены в табл. 2.

Теплоемкость фарфорового образца определяли в интервале температур от 90 до 1000 °C на колориметре, схема которого представлена на рис. 2. В исследованиях использовали цилиндрические образцы с размерами Ø25×25 мм.

В соответствии с принятой методикой, испытуемый фарфоровый образец (см. рис. 2) закреп-

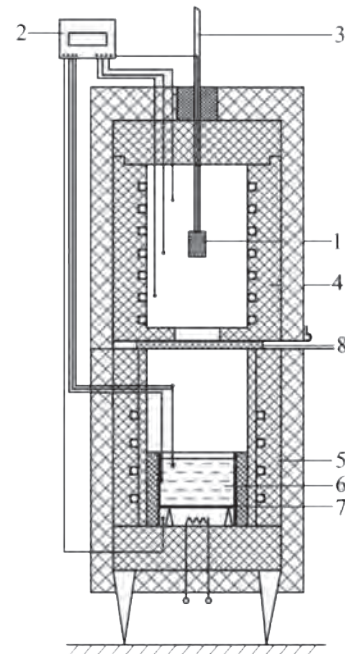


Рис. 2. Схема колориметра для определения теплоемкости:

- 1 – испытуемый фарфоровый образец;
  - 2 – потенциометр КСП-4;
  - 3 – штанга с ХА-термопарой;
  - 4 – верхний (высокотемпературный) нагревательный отсек; 5 – нижний нагревательный отсек; 6 – расплав; 7 – теплоприемник; 8 – шибер
- пляли на штанге, оснащенной ХА-термопарой, и помещали в верхний (высокотемпературный) отсек колориметра, контроль температуры в котором проводили четырьмя термопарами. В нижнем (низкотемпературном) отсеке колориметра устанавливали емкость, в которой размещали навеску олова или алюминия. После этого колориметр собирали и проводили независимый нагрев испытуемого образца и навески до определенных температур.

Испытания начинали по достижению требуемой температуры в верхнем и нижнем отсеке колориметра при разнице показаний термопар не более 2 °C. Для испытаний образец на штанге перемещали из верхнего в нижний отсек и погружали в жидкость, фиксируя изменение температуры жидкости в нижнем отсеке.

Удельную теплоемкость испытуемого образца рассчитывали по формуле:

$$C_{\text{обр.}} = \frac{K \cdot m_{\text{ж}} \cdot c_{\text{ж}} \cdot (t_1 - t_3)}{m_{\text{обр.}} \cdot (t_2 - t_1)}, \quad (4)$$

где K – коэффициент, учитывающий тепловые потери в футеровку печи и окружающую сре-

Значения коэффициента теплопроводности при различных температурах

t, °C	100±2	400±3	500±5	600±7	700±7	800±8	970±10
λ, Вт/(м·°C)	0,90	0,97	1,11	1,23	1,23	1,32	1,64

Таблица 2

## ЛИТЕЙНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

ду;  $m_{ж}$  – масса жидкости, кг;  $c_{ж}$  – удельная теплоемкость жидкости, Дж/(кг·°C);  $t_1$  – температура жидкости после охлаждения в ней образца, °C;  $t_3$  – начальная температура жидкости, °C;  $t_2$  – начальная температура образца, °C.

Значения величин удельной теплоемкости фарфора при различных температурах рассчитали по формуле (4), приведены в табл. 3.

Таблица 3

### Удельная теплоемкость фарфора при различной температуре

t, °C	90±2	375±3	600±7	810±8	870±9
C, Дж/(кг·°C)	920	980	1045	1080	1105

Используя результаты расчетов по формулам (1, 2, 4) построили зависимости данных параметров от температуры, представленные на рис. 3.

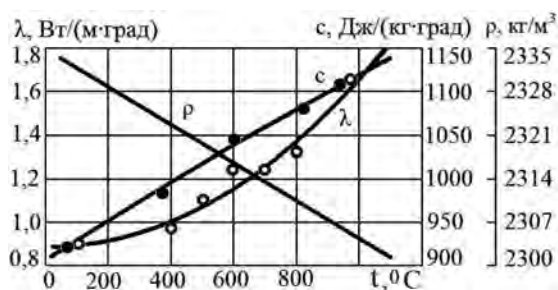


Рис. 3. Зависимости коэффициента теплопроводности, удельной теплоемкости и удельной плотности от температуры

В результате обработки экспериментальных данных для фарфора марки М01 в интервале температур от 20 до 1100 °C (см. рис. 3), получены формулы, которые имеют вид:

$$\lambda = 0,875 + 0,8 \cdot [0,001 \cdot (t - 20)],$$

$$c = - 3 \cdot 10^{-5} \cdot t^2 + 0,244 \cdot t + 905,1,$$

где  $t$  – температура фарфора, °C.

### Выводы

1. Определены значения теплофизических свойств фарфора М01 в зависимости от температуры в пределах от 20 до 1000 °C.

2. Установлено, что при повышении температуры удельная плотность фарфора М01 линейно понижается от 2332 до 2302 кг/м<sup>3</sup>, коэффициент теплопроводности возрастает от 0,90 до 1,64 Вт/(м·°C), а удельная теплоемкость – от 920 до 1105 Дж/(кг·°C).

3. Полученные данные могут быть использованы в теплофизических расчетах, в частности, при компьютерном моделировании процесса затвердевания отливок.

### Библиографический список

1. Постулатов В. В. Теплопроводность огнеупоров. – М.: Металлургия, 1966. – 84 с.

Поступила 08.06.2015

