

Обмен опытом

УДК 620.9

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УДЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ПОЛЫХ ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ГРАФИТОВЫХ НАГРЕВАТЕЛЕЙ

Статья поступила 1 ноября 2016 г.

Крупногабаритные графитовые цилиндрические тонкостенные нагреватели длиной до 2 м и внешним диаметром до 600 мм используют в печах сопротивления при силицировании графитов, а также в установках для исследования механических свойств конструкционных графитов или углерод-углеродных композиционных материалов при высоких температурах [1]. Для их изготовления применяют мелко- или крупнозернистый графит марки ГМЗ. При этом в соответствии с нормативными требованиями допускаются продольные трещины нагревателя (менее 5 % от длины). Не допускаются поперечные трещины, раковины (нарушение сплошности материала вследствие усадки), превышающие по глубине 1/4 толщины стенки прибора, а также непрерывная слойка.

Контроль качества нагревателей путем измерения удельного электрического сопротивления (УЭС) двухзондовым методом позволяет выявить зоны неоднородности макроструктуры материала [4].

Неоднородности структуры приводят к изменению электрического сопротивления, что может вызвать местный перегрев и быстрый выход нагревателя из строя.

Величина УЭС при комнатной температуре должна находиться в пределах 9 – 11 мкОм · м в параллельном направлении относительно оси прессования.

Цель работы — разработка установки и методики определения УЭС на основе двухзондового метода на отдельных участках по длине и окружности нагревателя [2, 3].

Схема установки приведена на рис. 1.

Перед испытаниями нагреватель размечали на фрагменты. Их количество $n = AB$ (A — количество секторов на нижнем токоподводе 10, B — отношение длины нагревателя к расстоянию C между токосъемниками на щупе 4). Затем размеченный нагреватель помещали в установку и поджимали (P — нагрузка) через шарнир 2 для обеспечения надежного контакта с токоподводами 3 и 10. Переключателем 8 подключали один из секторов и включали источник постоянного тока. После этого определяли силу тока I_a вольтметром 6 через катушку сопротивления 7. Последовательно (по фрагментам — по высоте и окружности выбранного сектора) щупом измеряли падение напряжения U_n . Процесс повторяли на остальных секторах, подсоединяя их к цепи питания. В итоге получали распределение УЭС по боковой поверхности нагревателя,

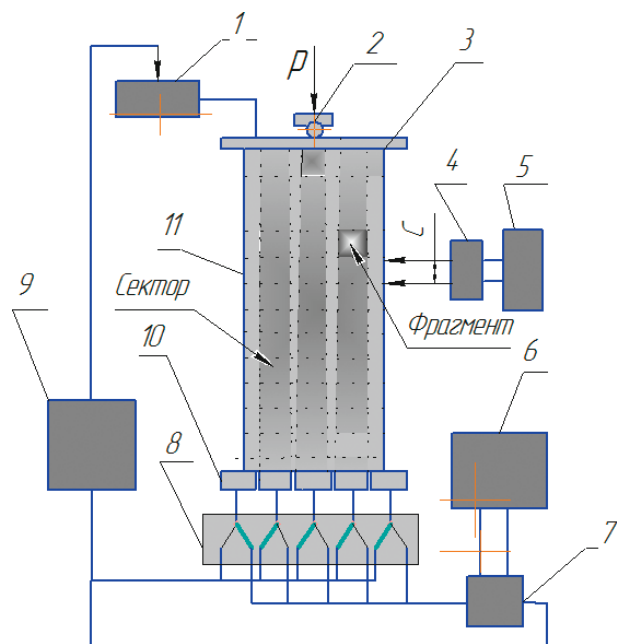


Рис. 1. Схема установки для определения УЭС: 1 — реостат; 2 — шарнир; 3 — верхний токоподвод; 4 — щуп; 5, 6 — вольтметры; 7 — катушка сопротивления; 8 — переключатель; 9 — источник постоянного тока; 10 — нижний разрезной токоподвод; 11 — нагреватель

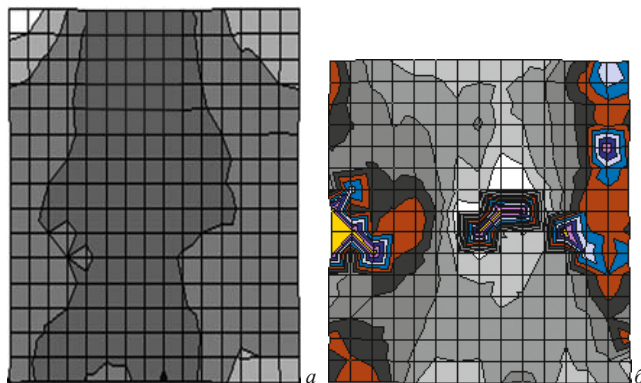


Рис. 2. Распределение УЭС по поверхности нагревателей с однородной макроструктурой материала (а) и с дефектами в виде поперечных и продольных трещин (б)

а после обработки результатов — по всей его поверхности.

УЭС в n -м фрагменте (R_n) рассчитывали по формуле:

$$R_n = \frac{\Delta U_n \pi (D^2 - d^2)}{4 \Delta I_c m C},$$

где ΔU_n — падение напряжения на n -м фрагменте; h , D , d — толщина стенки, наружный и внутренний диаметры нагревателя; C — расстояние между токосъемниками щупа (длина фрагмента); ΔI_c — сила тока через определяемый сектор; m — количество секторов.

На рис. 2 приведены результаты контроля нагревателей с дефектами и без (максимальные размеры пор и зерен, а также других дефектов не превышают значений, приведенных в нормативных требованиях).

Полученные данные по обнаруженным дефектам подтверждали послойным снятием материала в дефектных зонах. На рис. 3 показана выявленная поперечная трещина длиной $1/3$ диаметра нагревателя.

Таким образом, на основе двухзондового метода измерения УЭС предложена установка для контроля качества крупногабаритных полых тонкостенных графитовых нагревателей для высокотемпературных печей. Результаты испытаний показали возможность выявления недопустимых неоднородностей макроструктуры материала (скопления пор, поперечных трещин и др.) по изменению величины УЭС на отдельных участках объекта контроля. При большом



Рис. 3. Фотография дефекта в виде поперечной трещины

числе контролируемых нагревателей процесс измерений можно автоматизировать.

ЛИТЕРАТУРА

1. Свойства конструкционных материалов на основе углерода. Справочник / Под ред. В. П. Соседова. — М.: Металлургия, 1975. — 116 с.
2. Лутков А. И. Тепловые и электрические свойства углеродных материалов. — М.: Металлургия, 1990. — 80 с.
3. ГОСТ 23776–79. Изделия углеродные. Методы измерения удельного электрического сопротивления. — М.: Государственный комитет СССР по стандартам, 1982.
4. Слободской С. А. Роль показателя электросопротивления при оценке свойств углеродных материалов / Кокс и химия. 1999. № 1. С. 2–4.

© В. А. Воронцов, Г. Г. Зайцев
НИИГрафит, Москва, Россия;
e-mail: gerzajcev@yandex.ru

Experience exchange

UDC 620.9

DETERMINATION OF THE SPECIFIC ELECTRICAL RESISTANCE OF LARGE-SIZED HOLLOW CYLINDRICAL GRAPHITE HEATERS

© V. A. Vorontsov and G. G. Zaitsev

Submitted November 1, 2016.

REFERENCES

1. Sosedov V. P. (ed.). Properties of carbon-based structural materials. Reference book. — Moscow: Metallurgiya, 1975. — 116 p. [in Russian].
2. Lutkov A. I. Thermal and electrical properties of carbon materials. — Moscow: Metallurgiya, 1990. — 80 p. [in Russian].
3. RF State Standard GOST 23776–79. Carbon products. Methods for measuring the electrical resistivity. — Moscow: Gosudarstvennyi komitet SSSR po standartam, 1982 [in Russian].
4. Slobodskoi S. A. The role of the electrical resistance index in evaluating the properties of carbon materials / Koks Khim. 1999. N 1. P. 2–4 [in Russian].