

НОВЫЕ УГЛЕРОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИИ

Афанасов И.М., Авдеев В.В.

Химический факультет МГУ имени М.В.Ломоносова, кафедра химической технологии и новых материалов
afanarov@tech.chem.msu.ru

Терморасширенный графит (ТРГ) – низкоплотный углеродный материал, который получают термическим ударом окисленных графитов, – находит широкое применение как в виде изделий из гибкой графитовой фольги, так и компонента композиционных материалов. Благодаря стойкости к действию агрессивных сред и высоких температур (до 3500 °С), а также низкой теплопроводности компактированного ТРГ актуальной представляется разработка высокотемпературных теплоизоляционных материалов на его основе.

Процесс получения теплоизоляционного материала включает 1) синтез окисленного графита 2) термоудар 3) прессование и прокатка ТРГ 4) нанесение углеродистого клея на прессованный ТРГ, формирование многослойной заготовки и придание ей необходимой формы 6) термообработка заготовки в инертной атмосфере.

Варьирование способа окисления графита позволяет существенным образом изменять теплопроводность ТРГ, а следовательно и теплоизоляционного материала. Коэффициент теплопроводности λ образцов ТРГ, полученного термическим ударом электрохимически окисленного графита (электролит – 60% HNO_3 , $i=20 \text{ mA/cm}^2$, $q=1500 \text{ Кл/г}$ графита), плотностью 0,1-1,5 г/см^3 составляет $\sim 1 \text{ Вт/м}\cdot\text{К}$ (рис.1а), что в ~ 7 раз ниже λ ТРГ из окисленного графита, синтезированного химическими методами в азотной и серной кислотах [1]. Кроме того, различается характер температурных зависимостей λ : λ компактированного «электрохимического» ТРГ мало зависит от температуры, λ «химического» ТРГ обратно пропорциональна ей (рис.1б).

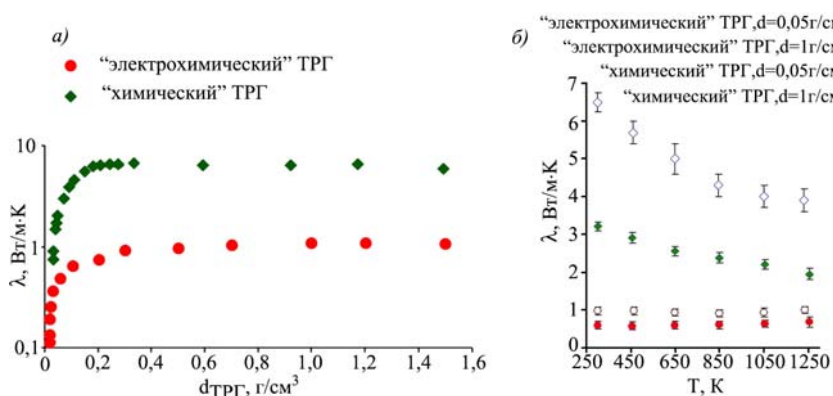


Рис.1. Зависимости коэффициента теплопроводности компактированного ТРГ а) от плотности, б) от температуры.

Установленные зависимости обусловлены особенностями микроструктуры рассматриваемых ТРГ: для «электрохимического» ТРГ характерны нарушение планарности графеновых слоев, наличие петлевидных и линзообразных дефектов размером 5-10 нм, а также аморфного углерода толщиной 1 нм, покрывающего пачки дефектных графеновых слоев; в «химическом» ТРГ сохраняется планарность графеновых слоев с межслоевым расстоянием $3,36 \text{ \AA}$, толщина их пачек превышает 50 нм.

Варьирование плотности графитовой фольги и количества ее слоев в материале также позволяет контролировать теплопроводность и механо-прочностные характеристики материала. Прочность материала линейно возрастает с увеличением его плотности. Количество слоев фольги, прочно скрепляемых друг с другом при карбонизации клея, варьируется в зависимости от мощности нагревательного элемента. Поскольку фольга является гибкой возможно получение не только плоских листовых материалов, но и материалов любой заданной формы, например, цилиндрической. Теплоизоляционный материал для увеличения прочности может содержать фольгу, армированную углеродными волокнами, а также мелкодисперсные углеродные наполнители: сажу, природный графит, – вводимые как непосредственно в фольгу, так и между ее слоями, что позволяет снизить теплопроводность материала [2].

Полученные материалы обладают не только низкой теплопроводностью, но также эффективно снижают конвективную составляющую передачи тепла и тепловое излучение. λ подобных материалов при в широком диапазоне температур ниже λ используемых сегодня материалов, получаемых механической обработкой графитированных заготовок. Предложенный нами процесс отличают простота технологического оформления и отсутствие дорогостоящей стадии графитации и механической обработки, в процессе которой потери достигают 30-70%, что является ощутимыми преимуществами данного подхода.

Помещение между слоями теплоизоляционного материала подпрессованного до плотности $0,02-0,05 \text{ г/см}^3$ ТРГ либо углеродного войлока позволяет использовать его не только для изготовления теплоотражающих экранов, но и единых теплоизоляционных модулей. Разрабатываемые материалы предназначены для обеспечения эффективной тепловой защиты высокотемпературных устройств, например, в газонаполненных и вакуумных печах (печи графитации, силицирования, азотирования и др.).