

УДК 620.168:621.763:661.666.2
ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ НА ФОРМИРОВАНИЕ
СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ ГРАФИТ-КЕРАМИЧЕСКИХ
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ (ГККМ)

А. А. ГУТНИЧЕНКО, А. Л. МЕЛЬНИК, *Я. Д. ЯРОШ
«ЖИТОМИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

*«ЖИТОМИРСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ АГРОЭКОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Житомир, Украина

Основные направления использования электропроводных ГККМ в строительной промышленности – это электронагревательные элементы с равномерно распределенным тепловыделением, с диапазоном рабочих температур до 300 °С, значительным диапазоном изменения электрической проводимости до 100 (Ом·м)⁻¹ и, как следствие, возможностью гибкого варьирования мощности приборов для обеспечения необходимых температур.

В данной работе представлены результаты экспериментального исследования влияния технологических подходов и параметров на структуру и свойства ЭГККМ, а более детально – сравниваются структура и свойства материалов полученных полусухим прессованием смеси каолина и терморасширенного графита (ТРГ).

При спекании сформованных, указанным способом изделий, значительно возрастает их пористость, например, при давлении прессования 150 МПа пористость «сырых» образцов с концентрацией ТРГ 23 % (масс.) составляла 27,63 %. После спекания этих образцов при максимальной температуре 900 °С в течение 1 часа, пористость возросла до 57,24 %; при температуре спекания 1300 °С происходило увеличение пористости до 54,72 %.

Увеличение времени спекания при максимальной температуре приводит к возрастанию пористости в среднем на 1 %, а температуры спекания с 900 °С до 1300 °С способствует снижению пористости, что связано со значительной усадкой керамической составляющей вследствие термохимического преобразования аморфного кремнезема в области температур 1205–1240 °С. Диапазон изменения пористости при данных условиях эксперимента составляет 34–50 %.

Поры в керамических материалах, в зависимости от размеров, формы и расположения, играют роль концентраторов напряжений, снижая механическую прочность материала. Кроме того, капиллярная пористость приводит к повышению гигроскопичности изделия и значительно усложняет создание адекватной математической модели для прогнозирования свойств композита.

Анализ результатов исследования показал, что увеличение пористости происходит вследствие следующих основных факторов.

1. Существенное увеличение объема образца после спекания в «свободном» состоянии за счет термохимических превращений кварца и исходного каолинита, упругого последствия ТРГ под влиянием температуры. В частности это подтверждается тем, что зависимость пористости графит-керамики от содержания ТРГ имеет близкий к линейному характер и изменяется от ниспадающей (до спекания) до возрастающей (после спекания). В целом диапазон изменения пористости спеченных материалов составляет 30–60 %.

2. Выгорание органических компонентов, дегидратация глинистых минералов и испарение летучих веществ приводит к уменьшению массы образцов и формированию поровых каналов.

Наибольшее влияние на пористость имеет первый фактор. В связи с этим, был предложен и опробован способ спекания образцов в закрытых формах, которые обеспечивают постоянство геометрических размеров изделий. Такой формоограничивающий фактор позволил избежать указанных выше недостатков и получить некоторые преимущества в структуре и свойствах материала. Также было предложено использовать промышленные значения давлений прессования ГККМ в пределах 5–30 МПа, что облегчит их внедрение в производство.

В результате, образцы, содержащие 23 % (масс.) ТРГ, спрессованные с давлением 30 МПа после спекания в течении 3 часов при температуре 1150 °С, имели пористость 57,15 %.

Следующий важный аспект при создании графит-керамики – это формирование электропроводящих свойств и перколяционных характеристик. Удельная электрическая проводимость «свободно» спеченных ЭГККМ нелинейно возрастает и достигает при максимальной концентрации 28,6 % (масс.) ТРГ значения $100 \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$. При этом стоит отметить незначительное влияние спекания на изменение проводимости материала, что, скорее всего, связано с резким возрастанием его пористости.

Электропроводимость графит-керамики спеченной в спецформах существенно уменьшается и, кроме того, присутствует значительная анизотропия электрических свойств в направлениях параллельных и перпендикулярных оси прессования. Как пример, электропроводность образцов с 23 % (масс.) ТРГ после спекания в «свободном» состоянии и спецформе составляет соответственно $80 \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$ и $\sim 1 \text{ (Ом}\cdot\text{м)}^{-1}$. Анизотропия электрических свойств колеблется в пределах $\sigma_{\perp}/\sigma_{\parallel} = 15\text{--}20$.

Таким образом, достигнута равная пористость, путем уменьшения давления прессования в 3 раза. При этом прочность материала соответствует прочности строительных материалов (модуль Юнга $E = 140 \text{ МПа}$, предел прочности на изгиб $\sigma \approx 3\text{--}3,5 \text{ МПа}$), обеспечив удовлетворительную проводимость материала.