

УДК 546.185; 666.76

МОДИФИЦИРОВАНИЕ СОСТАВОВ ТЕРМОСТОЙКИХ МАТЕРИАЛОВ
НА ОСНОВЕ ПОЛЫХ МИКРОСФЕР И ФОСФАТНОГО СВЯЗУЮЩЕГО

В. И. НОВИЦКАЯ, А. Н. КУДЛАШ

Научный руководитель К. Н. ЛАПКО, канд. хим. наук, доц.

Белорусский государственный университет

Минск, Беларусь

Термостойкие теплоизолирующие материалы (ТТМ) на основе неорганических полых микросфер широко востребованы в различных отраслях, а их разработка и усовершенствование свойств критически важны с точки зрения энергоэффективности [1, 2]. Модифицирование составов ТТМ направлено на улучшение их функциональных свойств, уменьшение времени отверждения, повышение их долговечности, устойчивости к различным воздействиям и снижение стоимости производства [2].

Цель исследования заключалась в проведении модифицирования химического состава ТТМ, полученных на основе стеклянных полых микросфер (СПМС) и дигидрофосфата магния в качестве твердого связующего.

Методика изготовления материалов. Образцы ТТМ в форме цилиндров ($d = 30$ мм, $h = 10$ мм) были получены путем прессования ($p_{уд} \approx 370$ кПа) однородной смеси, полученной методом воздушно-взвешенного перемешивания, следующих компонентов: связующего, основного и функционального (СПМС) наполнителей. В качестве основного наполнителя использовали корунд (К), смесь корунда с высокоглиноземистым цементом (К-ГЦ) и модифицирующими добавками с сохранением соотношений основных компонентов. Первичное отверждение полученных композитов проводили в эксикаторе ($\phi \sim 75\%$, 1 сут), далее проводили термообработку (ТО) в печи при нагревании до 400°C (скорость $5^\circ\text{C}/\text{мин}$, воздушная атмосфера). Ранее [1] для данного типа ТТМ было предложено оптимальное содержание компонентов: связующее – 30 мас. %, основной наполнитель – 40 мас. %, СПМС – 30 мас. %.

Методы исследования ТТМ: комплексный термический анализ (КТА), сканирующая электронная микроскопия (СЭМ), рентгенофазовый анализ (РФА), определение теплопроводности и термического сопротивления методом лазерной вспышки (LFA), изучение эксплуатационных характеристик ТТМ (прочность $\sigma_{сж}$, плотность, водопоглощение и водостойкость).

Результаты. Разработаны и исследованы составы теплоизолирующих композитов на основе твердого магнийфосфатного связующего и СПМС. Проведено химическое модифицирование составов ТТМ путем введения активных наполнителей-модификаторов (Fe_3O_4 , FeO , Cu_2O , CuO , ZnO , MgO (периклаз), $\text{Mg}_{0,4}\text{Zn}_{0,6}\text{Fe}_2\text{O}_4$). Определены оптимальные составы для теплоизолирующих фосфатных композитов и обоснован подходящий режим их ТО. Изучены термические превращения модифицированных составов в интервале температур $20^\circ\text{C} \dots 1000^\circ\text{C}$. Показано, что все исследованные композиты устойчивы в этом диапазоне температур. Изучены прочность, плотность, водопоглощение (ВП) и водостойкость полученных образцов ТТМ. Показано,

что теплоизолирующие композиты обладают следующими характеристиками: $\sigma_{сж} \sim 2...4$ МПа, $\rho \sim 0,6$ г/см³, ВП $\sim 40\%...50\%$, а также являются водостойкими.

Установлено, что наибольший положительный эффект модифицирования обнаружен для ТТМ на основе наполнителя состава К-Fe₃O₄10. Показано, что переход от комплексного трехкомпонентного наполнителя К-ГЦ10-Fe₃O₄10 к двухкомпонентной системе позволяет сохранить эксплуатационные характеристики образцов на том же уровне ($\sigma_{сж} \sim 3,5$ МПа, $\rho \sim 0,6$ г/см³) и уменьшить стоимость материала, содержащего стеклянные полые микросферы.

Результаты термического анализа полученных ТТМ показали, что после термообработки до 400 °С композиты с наполнителем К-Fe₃O₄10 обладают стабильными термическими (рис. 1) и функциональными характеристиками, что делает их перспективными теплоизолирующими материалами для использования в условиях высоких температур и повышенной влажности. Композитные образцы на основе этого наполнителя успешно выдержали 20 циклов нагрева-охлаждения (20 °С...800 °С) в воздушной среде, что указывает на термоциклическую устойчивость материала.

Исследование температуропроводности и теплопроводности λ образцов на основе наполнителя К-Fe₃O₄10 показало нелинейную зависимость этих величин от температуры (рис. 2); значения λ для данного образца ТТМ возрастают от 0,16 до 0,42 Вт/(м·К) в интервале 20 °С...1000 °С.

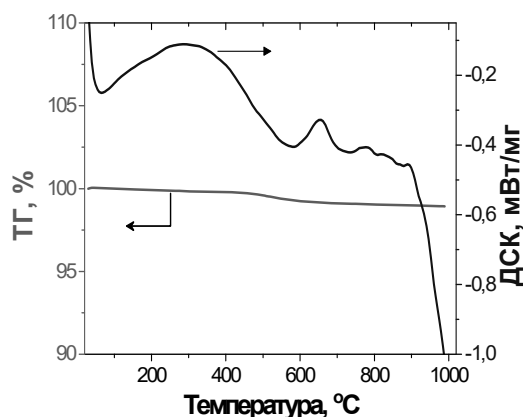


Рис. 1. Термограмма образца фосфатного ТТМ на основе СПМС с наполнителем К-Fe₃O₄10 (ТО = 400 °С)

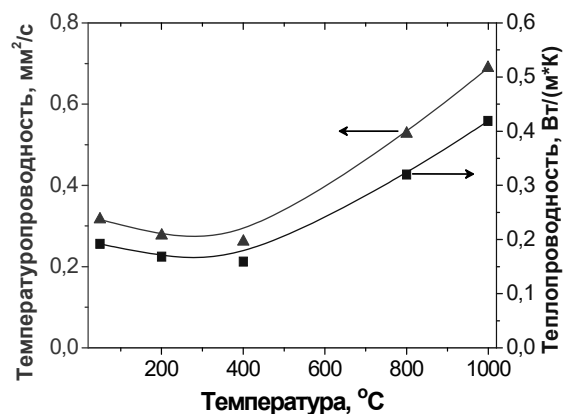


Рис. 2. Зависимость температуропроводности и теплопроводности образца ТТМ с наполнителем К-Fe₃O₄10

Таким образом, проведено модифицирование образцов ТТМ на основе СПМС и твердого магнийфосфатного связующего, получены водостойкие композиты прочностью $\sim 3,5$ МПа, теплопроводностью $0,2...0,4$ Вт/(м·К).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Термостойкие теплоизолирующие композиционные материалы на основе полых микросфер и твердых фосфатных связующих: разработка и исследование / Н. С. Апанасевич, А. А. Сокол, А. Н. Кудлаш [и др.] // Журнал Белорусского государственного университета. Химия. – 2022. – № 2. – С. 70–82.
2. Review of lightweight, high-temperature thermal insulating materials for aerospace / Q. Zhang, H. Huang, C. Lei [et al.] // Materials. – 2025. – Vol. 18, iss. 2383. – P. 1–18.