

Технология апробирована и характеризуется высокой гибкостью как в отношении полимерных отходов и их композиций, так и в отношении конфигурации получаемых изделий, обеспечивает снижение экологической нагрузки за счет переработки в изделия не утилизируемых смешанных отходов. Основные преимущества: малые материальные затраты; высокая производительность и низкая удельная энергоёмкость всех операций (не более 1,5 кВт·ч/кг); показатели эксплуатационных свойств материала в изделиях сравнимы с показателями вторичных термопластов. Производство изделий в промышленных масштабах может осуществляться с использованием в основном типового оборудования для переработки пластмасс. За счет этого могут быть снижены затраты на освоение, повышена экономическая эффективность инвестиций. Технология может быть использована для организации производства изделий различного общетехнического и потребительского назначения преимущественно плоских в плане, усиленных ребрами: поддоны, контейнеры, элементы линейного водоотвода, тротуарная плитка, бордюры, опалубка, садовые скамейки и т.п.

Внедрение технологии позволит ввести в гражданский оборот неиспользуемые в настоящее время смешанные полимерсодержащие отходы. В качестве потенциальных потребителей технологии могут быть предприятия, на которых образуются смешанные полимерсодержащие отходы (которые не перерабатываются и захораниваются) и есть потребность в выпуске дешевых изделий массового потребления.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Обращение с отходами: учебное пособие / А.А. Челноков и др.—Минск: Вышэйшая школа, 2018.- 460 с.
2. Китиков В.О. Анализ эффективных направлений получения вторичных материальных ресурсов из отходов пластика / В.О. Китиков, И.В. Барановский, И.И. Вага // Природопользование и экологические риски: материалы науч.-практ. конф., Минск, 5 июня 2019 г. – Минск : БГТУ, 2019. – С.60-64.

### ЛЕГКОПЛАВКИЕ БИОЦИДНЫЕ ГЛАЗУРИ ДЛЯ БЫТОВОЙ КЕРАМИКИ

**И.А. Левицкий, М.В. Дяденко, Е.А. Костик**

*Белорусский государственный технологический университет, г. Минск*

Бактерицидные инфекции и связанные с ними осложнения ежегодно являются причиной снижения качества жизни людей по всему миру. Наиболее распространенным путем передачи бактерий и вирусов является прямой контакт человека с ними. В связи с этим такие поверхности должны обеспечивать антибактериальную защиту.

Известно, что медь и ее соединения обладают антибактериальной, противогрибковой и противовирусной активностью по отношению к широкому спектру микроорганизмов [1]. При контакте меди со средой происходит образование активных форм кислорода, которые инициируют нарушение внешней и внутренней мембран клеток микроорганизмов и их гибель [1, 2].

Целью исследований явился синтез медьсодержащих глазурных покрытий для керамики бытового назначения, преимущественно для изделий, контактирующих с пищевыми продуктами.

Указанные покрытия формируются в широком интервале температур наплавления на керамический черепок при  $(980-1100) \pm 2$  °С и основой для их получения в данном исследовании являются фритты прозрачной глазури алюмоборосиликатной системы. Область устойчивых к формированию микронеоднородностей с их размером менее 0,2 мкм отвечала следующему содержанию оксидов, мас. %:  $\text{Na}_2\text{O} - 6,52-12,58$ ;  $\text{K}_2\text{O} 1,16-3,50$ ;  $\text{B}_2\text{O}_3 12,80-18,68$ ;  $\text{SiO}_2 68,10-76,68$ .

Варка фритт, осуществлялась в лабораторной газопламенной печи при температуре  $1450 \pm 5$  °С со скоростью подъема температуры 250 °С/ч с выдержкой при максимальной температуре 1 ч. Полученные водной грануляцией фритты подвергались мокрому помолу в лабораторной шаровой мельнице Speedy (Италия) с добавкой оксида меди в количестве 5–25 мас. % с интервалом 2,5 мас. %. В качестве мельничной добавки вводилось 12 мас. % огнеупорной глины «Веско-Гранитик» сверх 100 % составляющих. Помол велся до остатка на сите № 0063 (10085 отв./см<sup>2</sup>) в количестве 1,5–1,7 %.

Полученные глазурные шликеры наносились на керамический черепок, прошедший утильный обжиг при температуре 1000 °С, имеющий водопоглощение 14–16 %. Температурный коэффициент линейного расширения его составляет  $54,56 \cdot 10^{-7}$  К<sup>-1</sup>. Глазурные покрытия обжигались в широком интервале температур (980–1100) °С с интервалом 20 мин. в электрической печи с выдержкой при максимальной температуре 1,0 ч. Микротвердость покрытий составляет 4600–5100 МПа. ТКЛР покрытий находится в интервале  $(4,61-5,22) \cdot 10^{-6}$  К<sup>-1</sup>, термостойкость – более 200 °С.

Глазурные покрытия обладают следующими цветовыми характеристиками. При содержании  $\text{CuO}$  в составе глазури от 5 до 10 мас. % обеспечивается ярко-зеленый цвет покрытий, при этом их блеск составляет 66–95 % и возрастает пропорционально количеству введенного оксида меди. При повышении количества введенной  $\text{CuO}$  до 12,5 мас. % формируются зеленовато-черные глазури, при этом значения блеска возрастают до 100 %. Рост содержания  $\text{CuO}$  от 15 до 17,5 мас. % обеспечивает формирование металлизированных покрытий с алмазным блеском, составляющим 100 %. Дальнейший рост содержания  $\text{CuO}$  от 17,5 до 22,5 мас. % приводит к снижению блеска покрытий до 25–60 %. Повышение количества  $\text{CuO}$  от 22,5 до 25 мас. % обеспечивает формирование покрытий серо-черного цвета, блеск которых снижается от 15 до 5 % в соответствии с повышением количественного содержания  $\text{CuO}$ .

Методом рентгенофазового анализа синтезированных составов с помощью прибора D8 Advance фирмы Bruker (Германия) установлено, что покрытия, содержащие 5–7,5 мас. % рентгеноаморфны, при содержании  $\text{CuO}$  от 7,5 до 12,5 % обеспечивается формирование куприта  $\text{Cu}_2\text{O}$  и тенорита  $\text{CuO}$ . Дальнейшее повышение содержания оксида меди вызывает кристаллизацию только тенорита.

Сканирующая микроскопия с помощью электронного микроскопа JEOL JSM-5610LV (Япония) позволила установить наличие преимущественно таблитчатых кристаллов при содержании  $\text{CuO}$  в количестве 10–12,5 мас. %. Крупные кристаллы имеют размер по длине от 0,5 до 4,3 мкм, их ширина составляет 0,2–0,6 мкм. Рост содержания оксида меди свыше 12,5 % приводит к формированию кристаллов дендритового и скелетного габитусов. Размеры их составляют от 100 до 150 мкм и возрастают пропорционально количественному содержанию оксида меди.

Дифференциально-сканирующей калориметрией с помощью прибора DSC 404 F3 Pegasus фирмы Netzsch (Германия) в интервале температур 20–1200°C установлено наличие эндотермических эффектов в области температур 635–680 °C, обусловленных изменением теплоемкости образцов глазури вследствие их размягчения. Присутствует также эндотермические эффекты с максимумом 920–985 °C.

Известно, что в воздушной среде при нормальном давлении оксид меди – тенорит, диссоциирует при температуре около 1000 °C по реакции  $4\text{CuO} \rightarrow 2\text{Cu}_2\text{O} + \text{O}_2$ , а затем, в случае медленного охлаждения, возможно образование эвтектической смеси, состава 32 мас. %  $\text{CuO}$  и 68 мас. %  $\text{Cu}_2\text{O}$  с температурой плавления 1080 °C [3]. В нашем случае при формировании глазурного расплава, очевидно, происходит плавление смеси  $\text{CuO}$  и  $\text{Cu}_2\text{O}$  с образованием меньшего или большего количества эвтектической жидкости в зависимости от того, какое количество  $\text{CuO}$  успевает перейти в  $\text{Cu}_2\text{O}$ . Кроме того, необходимо учитывать, что в расплаве может происходить диссоциация  $\text{Cu}_2\text{O}$  по реакции  $2\text{Cu}_2\text{O} \rightarrow 2\text{Cu} + \text{O}_2$  с последующим плавлением меди [3]. Этим объясняется наличие эндотермических эффектов на термограммах глазурных стекол, причем в расплавах, очевидно, этот процесс происходит при более низких температурных режимах. Следует отметить, что с ростом содержания количества  $\text{CuO}$  в составе глазурных покрытий температура процесса плавления смещается в сторону более низких значений температур.

Проведенные исследования соответствия разработанных покрытий требованиям по миграции химических веществ, контактирующих с пищевыми продуктами, в Минском городском центре гигиены и эпидемиологии показали отсутствие миграции бора и алюминия в 1 %-ный раствор уксусной кислоты при комнатной температуре и водной вытяжке при 80 °C для всех испытуемых покрытий. Миграция меди в модельные среды обеспечивает соответствие установленным нормативам при ее содержании в покрытиях в количестве 5–15 мас. %.

Глазурные составы также обеспечивают высокую антибактериальную активность по отношению к микроорганизмам *Escherichia coli* ATCC 8739 и *Staphylococcus aureus* ATCC 6538 и составляет соответственно 2,16–2,34 и 2,26–2,32 единицы. Данные испытания проведены в РУП «Научно-практический центр гигиены» (г. Минск). Лучшими показателями антибактериальных свойств обладают составы, содержащие  $\text{CuO}$  в количестве 15,0–20,0 мас. %.

Разработанные составы глазури прошли апробацию в заводских условиях ОАО «Белхудожкерамика» с подтверждением основных характеристик их свойств.

#### ЛИТЕРАТУРА:

1. Polymer antimicrobial coatings with embedded rine Cu and Cu salt particles / X. Wei [et al] // Appl. Microbial Bitech. – 2014. – Vol. 98, № 14 – P. 6265–6274.
2. Contact killing of bacteria on copper is suppressed is bacterial–metal contact is prevented and is induced on iron by copper ions / S. Mathews [et al] // Appl. Environ. Microbial. – 2013 – Vol. 79, № 8. – P. 2605–2611.
3. Иванова В.П., Касатов Б.К., Красавина Т.Н., Розина В.Л. Термический анализ минералов и горных пород. Л.: Недра. 1974. С. 182 – 187.