

туде и длительности разнополярных импульсов напряжения 100–500 В низкой частоты 0,05–1 кГц с одновременным наложением в анодный полупериод технологических импульсов амплитудой 600–1000 В высокой частоты (до 10 кГц). Использование высокочастотных режимов МДО позволяет существенно увеличить количество технологических импульсов тока в единицу времени и существенно уменьшить продолжительность обработки (до 3–4 раз). Использование регулируемой длительности и амплитуды технологических импульсов позволяет управлять потоками энергии в зонах пробоя оксидных слоев. Такого рода технологические режимы перспективны для получения оксидных слоев с низкой шероховатостью (Ra до 0,2–0,63 мкм) на алюминии и титане.

Дополнительное наложение на чередующиеся низкочастотные импульсы высоких по амплитуде высокочастотных импульсов в анодный полупериод позволяет обеспечить более легкий пробой пленки за счет повышения суммарного тока в этот полупериод, создает благоприятные условия для организации разрядов не только на оксидных пленках с явно выраженными вентильными свойствами, но и на других металлах. Использование высокочастотных импульсов способствует улучшению структуры покрытий, обеспечивает их мелкокристаллическую структуру, приводит к повышению их плотности и микротвердости, уменьшению пористости. При этом высокочастотные импульсы имеют большую амплитуду напряжения, но меньшую мощность, чем низкочастотные импульсы. За счет большей амплитуды именно высокочастотные импульсы инициируют микродуговой процесс в дефектных местах покрытия, что обеспечивает его более плотное формирование.

Установлено, что при регулировании энергии в каналах пробоя формируемые покрытия отличаются более высокой термостабильностью и высокими значениями электросопротивления по сравнению с покрытиями, полученными без ограничения энергии. Соответственно и другие физико-химические свойства покрытий, сформированные с использованием разработанного метода МДО, также могут контролироваться при регулируемой длительности и амплитуде технологических импульсов, что оказывает влияние на такие конечные характеристики МДО-покрытий, как твердость, пористость, пробойное напряжение и т.д. Эти режимы определяются выходными параметрами источника питания для МДО, определяющими начало и окончание микродугового разряда в каждом периоде.

#### Список использованных источников

1. Микродуговое оксидирование (теория, технология, оборуд.) / И. В. Суминов [и др.]. – М.: ЭКОМЕТ, 2005. – 368 с.
2. Yilmaz M. S., Sahin O. Investigation of the High Energy Single Pulses Affect on Micro Arc Oxidation Process on Aluminium. Proceedings of the 4th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering (MCM'18). Madrid, Spain – August 16 – 18, 2018.

УДК 666.762.62:666.762.64

### КЕРАМИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ЛИТЕЙНЫХ УСТАНОВОК АЛЮМИНИЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Попов Р. Ю., Самсонова А. С.

Белорусский государственный технологический университет

e-mail: misakamadara@yandex.by

*Summary. The possibility of obtaining wollastonite-containing ceramics based on domestic raw materials for the production of heat-insulating ceramics, parts for foundry plants in the aluminum industry has been established.*

В настоящее время волластонитовая керамика является одним из востребованных направлений современной науки как материал многоцелевого назначения. Выбор таких материалов обусловлен их высокой механической прочностью и термостойкостью, а также инертностью к химическому взаимодействию с расплавом алюминия, что повышает популярность применения указанного вида материала.

ла для тепловых агрегатов, литейных установок, в особенности в металлургической отрасли. Известно, что Республика Беларусь не располагает производством таких изделий, что приводит к необходимости приобретения их за рубежом. Организация производства технической керамики в Республике Беларусь является первостепенной задачей, которую необходимо решить для существования станкостроительной и машиностроительной отрасли. Изготовление опытных образцов осуществлялось методом полусухого прессования. Подготовленные сырьевые компоненты измельчали до остатка на сите № 05 1–2 %, взвешивали в необходимом количестве, подвергали совместному помолу в микрошаровой мельнице в течении 20 мин. Приготовленная смесь увлажнялась до влажности 6–8 %, затем готовый пресс-порошок вылеживался в течении 1 сут. для усреднения по составу и влажности. Формование образцов осуществлялось на гидравлическом прессе при давлении прессования 20–25 МПа. Далее производилась сушка образцов при температуре  $100 \pm 10$  °С в течении 2 ч, после чего осуществлялся однократный обжиг в электрической печи в интервале температур 1000–1300 °С. Скорость подъема температуры в процессе обжига составляла 200–250 °С/ч. Образцы охлаждались инерционно вместе с печью до комнатной температуры. Для получения керамики на основе синтетического волластонита в качестве исходных сырьевых материалов использовались следующие компоненты: мел ОАО «Красносельскстройматериалы», доломитовая мука, циклонная пыль с известкового цеха (г. Климовичи), маршалит, трепел месторождения «Стальное», огнеупорная глина Веселовского месторождения. Образцы керамики, полученные на основе различных кремнеземсодержащих компонентов после обжига при температуре 1150 °С, характеризовались следующими показателями свойств: кажущаяся плотность при использовании доломитовой муки и трепела – 1329–11553 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение – 28,4–41,5 %, открытая пористость – 44,1–55,2 %; кажущаяся плотность в образцах, содержащих доломитовую муку и маршалит – 1233–1354 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение – 33,0–44,6 %, открытая пористость – 41,2–58,7 %; кажущаяся плотность при введении в состав масс мела и трепела – 1663–1735 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение – 20,8–24,0 %, открытая пористость – 36,1–40,2 %; кажущаяся плотность при введении в состав масс мела и маршалита – 1554–1602 кг/м<sup>3</sup>, водопоглощение – 27,1–30,1 %, открытая пористость – 43,4–45,0 %. Механическая прочность при сжатии образцов в зависимости от вида применяемого кремнеземсодержащего компонента при температуре 1150 °С: на основе трепела – 13,5–70,6 МПа; на основе маршалита – 1,8–26,9 МПа. Значения ТКЛР синтезированных образцов – от 4,20 до  $8,30 \cdot 10^{-6}$  К<sup>-1</sup>. Рентгенофазовый анализ полученной керамики показал, что качественный фазовый состав представлен волластонитом и псевдоволластонитом, низкотемпературной модификацией кварца, в незначительном количестве фиксируются тридимит, неустойчивое соединение Ca<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>, а также в некоторых образцах состава присутствуют не связанный кварц и оксид кальция.

**УДК 528.7**

## **ФОТОГРАММЕТРИЧЕСКАЯ КАЛИБРОВКА КАМЕРЫ МОБИЛЬНОГО ТЕЛЕФОНА ПО СНИМКАМ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ТЕСТ-ОБЪЕКТА**

*Радцевич Е. И., Андрейчиков В. В., Будкевич К. С.*

*Белорусский национальный технический университет*

*e-mail: radtsevich.elizaveta@gmail.com, mr-andreychikov@mail.ru,*

*karinabudkevich10.08@gmail.com*

**Summary.** *The process of photogrammetric calibration of a mobile phone camera is described in order to determine the elements of interior orientation, including the parameters of photogrammetric distortion of the camera lens. An assessment of the reliability and validity of the experimental data was made.*

В процессе изучения дисциплины «Прикладная фотограмметрия» возникла необходимость выполнения экспериментальной наземной фотограмметрической съемки камерой телефона MI 11 Lite с разрешением 2610×4640 пикселей и фокусным расстоянием 4,74 мм. Так как цифровая камера телефона является любительской, нельзя предполагать долговременную стабильность механических и оптических компонентов, как в случае со специальными метрическими камерами, возникает необходимость ее калибровки с целью определе-