

УДК 666.3/7

**КЕРАМИЧЕСКИЕ ТЕРМОСТОЙКИЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ИЗДЕЛИЙ И ДЕТАЛЕЙ ЭЛЕКТРОННОЙ ТЕХНИКИ**

**Сергиевич О.А.<sup>1</sup>, Попов Р.Ю.<sup>1</sup>, Колонтаева Т.В.<sup>2</sup>, Дятлова Е.М.<sup>1</sup>, Шевченко А.А.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

<sup>2</sup>Белорусский национальный технический университет

<sup>3</sup>Белорусский государственный аграрный технический университет

Минск, Республика Беларусь

**Аннотация.** Разработаны составы и технологические параметры синтеза керамических термостойких материалов для термообработки изделий и деталей электронной техники.

**Ключевые слова:** термостойкий материал, модифицирующие добавки, кристаллические фазы, ТКЛР.

**CERAMIC HEAT RESISTANT MATERIALS FOR HEAT TREATMENT OF PRODUCTS AND PARTS ELECTRONIC ENGINEERING**  
**Sergievich O.A.<sup>1</sup>, Popov R.Yu.<sup>1</sup>, Kolontaeva T.V.<sup>2</sup>, Dyatlova E.M.<sup>1</sup>, Shevchenok A.A.<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Educational institution "Belarusian State Technological University"

<sup>2</sup>Belarusian National Technical University

<sup>3</sup>Belarusian State Agrarian Technical University

Minsk, Republic of Belarus

**Abstract.** Compositions and technological parameters for the synthesis of ceramic heat resistant materials for heat treatment of products and electronic components have been developed.

**Key words:** heat resistant material, modifying additives, crystalline phases, thermal expansion coefficient.

Адрес для переписки: Сергиевич О.А., ул. Свердлова, 13а, г. Минск, 220006, Республика Беларусь  
e-mail: Topochka.83@mail.ru

В производстве электронной техники нередко присутствуют высокотемпературные процессы, связанные с синтезом исходных материалов, а также с термообработкой различных деталей и изделий. Для этих целей используются теплотехнические установки и вспомогательный огнеприпас, которые работают, как правило, в периодическом режиме. Футеровка установок и огнеприпас в основном изготавливаются из керамических огнеупоров. Их срок службы зависит от периодичности и количества термоциклов резкого нагрева и охлаждения изделий, а также от термостойкости огнеупора. В основе явлений, вызывающих разрушение изделий, лежат процессы, связанные с возникновением в материале напряжений.

Различают два вида напряжений: первые обусловлены градиентом температур, а вторые связаны с анизотропией ТКЛР, протекающими химическими реакциями при эксплуатации изделий и полиморфными превращениями. Термостойкость – сложное свойство, зависящее от ряда различных факторов, огромное влияние на которое имеет ТКЛР, механическая прочность, структурные характеристики синтезированных фаз, форма и габариты изготавливаемых изделий. Создание материалов, характеризующихся оптимальной термоустойчивостью, является достаточно сложной задачей, при этом высокая термостойкость материала не всегда означает высокую термостойкость изделия. Оценить термостойкость ма-

териалов можно критериально. Безусловно, рассчитать все 22 критерия для разрабатываемого материала невозможно, т. к. для этого необходимо определить около 100 различных характеристик.

Как показал анализ критериев термостойкости, для того, чтобы повысить устойчивость материалов к циклическим термическим нагрузкам целесообразно увеличить механическую прочность и теплопроводность материала, снизить температурный коэффициент линейного расширения, создать структуру, способную релаксировать термические напряжения.

Основной целью данного исследования является разработка составов и технологических параметров синтеза керамических масс для получения термостойких материалов на основе сочетания различных кристаллических фаз для термообработки изделий и деталей электронной техники.

В таблице 1 приведены наиболее известные высокопрочные и малорасширяющиеся кристаллические фазы, а также их основные физико-механические и термические характеристики.

Для получения керамических термостойких материалов на основании литературных данных наибольший интерес представляют системы  $Al_2O_3-SiO_2$ ,  $Al_2O_3-TiO_2$ ,  $MgO-Al_2O_3-SiO_2$ ,  $Li_2O-Al_2O_3-SiO_2$  с применением различных модифицирующих добавок, способствующих изменению структурно-фазового состава в нужном направлении и улучшающих прочностные, термические и

огнеупорные свойства. К добавкам 1-го рода относятся корунд, карборунд, соединения циркония, оксидная и бескислородная керамика, обу-

славливающие получение композиционных материалов с улучшенными термомеханическими свойствами.

Таблица 1. Кристаллические фазы и их основные свойства

| Наименование кристаллической фазы (формула)                                  | Сингония                              | Свойства                  |  |                                       |
|--|---------------------------------------|---------------------------|--|---------------------------------------|
|  |                                       | Температура плавления, °С | Механическая прочность при сжатии, МПа | ТКЛР, $\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ |
| Корунд ( $\alpha$ -, $\beta$ -, $\gamma$ - $\text{Al}_2\text{O}_3$ )         | Тригональная кубическая               | 2050                      | 3000                                   | 8,0–8,5                               |
| Муллит ( $3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ )                      | Ромбическая                           | 1910                      | 1500–2000                              | 2,11–7,1                              |
| Бадделейт ( $\text{ZrO}_2$ )   | Моноклинная тетрагональная кубическая | 2700                      | 2100                                   | 5,0–6,0                               |
| Шпинель ( $\text{MgO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ )                         | Кубическая                            | 2123                      | 1100–1200                              | 8,0                                   |
| Цельзиан ( $\text{BaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$ )     | Моноклинная                           | 1740                      | 600–700                                | 2,7                                   |
| Кордиерит ( $2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ) | Ромбическая псевдогексагональная      | 1470                      | 200                                    | 1,4                                   |
| Титанат алюминия ( $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{TiO}_2$ )              | Ромбическая                           | 1800                      | 1000                                   | 1,9                                   |

Добавками 2-го рода, оказывающими значительное влияние на процесс спекания и формирования структуры материала, являются борсодержащие компоненты ( $\text{H}_3\text{BO}_3$ ), датолитовый концентрат ( $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ ), криолит ( $\text{AlF}_3$ ), ортофосфорная кислота ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ), которые вводились в состав масс на основе систем  $\text{Al}_2\text{O}_3$ – $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ – $\text{Al}_2\text{O}_3$ – $\text{SiO}_2$  от 0,5 до 10 мас. %. Установлено, что добавка борсодержащих компонентов оказывает флюсоующее действие и может снизить температуру обжига огнеупоров с 1350 до 1280–1300 °С. При оптимальном введении их в количестве 0,5–1 % наблюдается повышение механической прочности и снижение ТКЛР синтезированных образцов. Фторсодержащие добавки могут выступать в качестве инициаторов кристаллизации образующегося при спекании расплава с изменением структуры огнеупора и увеличением его прочности от 58 до 82 МПа при оптимальном количестве добавки 0,5–1,5 %. Фосфатные добавки значительно повышают механическую прочность сырца, но при этом увеличивается ТКЛР, что сказывается и на термостойких характеристиках синтезированных материалов.

Положительное влияние на термостойкость оказывают мелкие герметично закрытые сферические поры, равномерно распределенные по всему объему, для образования которых рекомендуется вводить в количестве 3–5 % в мелкодисперсную кордиеритовую фракцию гидрофобные органические добавки: битум, мазут, парафин. Поверхностно-активные вещества (кремнийорганические жидкости, кубовые остатки высших жирных спиртов и кислот) снижают упругое расширение прессуемых образцов, уменьшая количество щелевидных пор. ПАВы в количестве 0,2–0,3 %, адсорбируясь на поверхности частиц каолинита, повышают дефектность его структуры, уменьшая теплоту смачивания и гидрофильность, и уже при 870 °С начинает синтезироваться кристаллическая фаза муллита.

В качестве примера ниже приводятся результаты синтеза высокотермостойких керамических материалов на основе системы  $\text{MgO}$ – $\text{Al}_2\text{O}_3$ – $\text{SiO}_2$  с использованием фторсодержащих добавок.

Исходными сырьевыми компонентами являлись огнеупорная глина Веселовского месторождения, каолин Просяновского месторождения, технический глинозем, тальк Онетский и шамот высокоглиноземистый молотый полифракционный с размером частиц от 3 до 0,1 мм.

В качестве модифицирующих добавок использованы  $\text{Na}_2\text{SiF}_6$  и  $\text{AlF}_3$ , которые вводились в состав исходной массы в количестве 1,0 и 0,5 % сверх 100 % в виде химических реактивов (марки «ХЧ»). Образцы изготавливались по традиционной технологии пластического формования с относительной влажностью формовочной массы 18–20 % и обжигались при температурах 1300 и 1350 °С с выдержкой при максимальной 1 ч.

Основные свойства синтезированных опытных образцов представлены в таблице 2.

Таблица 2. Физико-механические и термические свойства

| Наименование показателей                             | Модифицирующая добавка    |                |
|--|---------------------------|----------------|
|  | $\text{Na}_2\text{SiF}_6$ | $\text{AlF}_3$ |
| Общая усадка, %                                      | 6,36                      | 7,73           |
| Водопоглощение, %                                    | 7,16                      | 8,64           |
| Открытая пористость, %                               | 14,04                     | 15,57          |
| Кажущаяся плотность, $\text{кг/м}^3$                 | 1960                      | 1920           |
| ТКЛР, $10^{-6} \text{ K}^{-1}$                       | 3,01                      | 4,07           |
| Механическая прочность при сжатии, МПа               | 43,08                     | 34,9           |
| Термостойкость (количество теплосмен 1000 °С – вода) | Свыше 60                  | Свыше 60       |
| Огнеупорность, °С                                    | 1630                      | 1690           |
| Температура эксплуатации, °С                         | 1250–1300                 | 1350–1400      |

Установлено, что использованные модифицирующие добавки наиболее эффективно ускоряют процесс спекания керамики за счет регулирования структуры и увеличения количества стеклофазы, не изменяя качественный фазовый состав

синтезированных материалов, который представлен кордиеритом и муллитом.

Разработанные термостойкие керамические материалы в качестве огнеприпаса могут быть использованы для термообработки изделий и деталей электронной техники.

УДК 006.9:004.415.2(047)(476)

**ИСПЫТАНИЯ НА УСТОЙЧИВОСТЬ К МЕХАНИЧЕСКОМУ ИЗНОСУ ПРИ  
СЕРТИФИКАЦИИ УСТРОЙСТВ И СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ ДОРОГИ  
МЕХАНИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ**

**Сернов С.П.<sup>1</sup>, Балохонов Д.В.<sup>1</sup>, Колонтаева Т.В.<sup>1</sup>, Тадэуш Н.Н.<sup>1</sup>, Коничева Л.М.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Белорусский национальный технический университет*

*Минск, Республика Беларусь,*

<sup>2</sup>*ОАО «РУДЕНСК»*

*Руденск, Республика Беларусь,*

**Аннотация.** В настоящее время при испытаниях устройств освещения дороги на стойкость к механическому износу для сертификации на соответствие Правилам ООН № 149 существует ряд противоречий, обусловленных как неточностями формулировки методики испытания в Правилах ООН, так и отсутствием четкого понимания механизма гидроабразивного износа при эксплуатации этих устройств. Для ликвидации указанных проблем предлагаются рекомендации, основной из которых является проведение испытаний в течение фиксированного времени не менее 30 минут.

**Ключевые слова:** устройства и системы освещения дороги, сертификация, испытания на износ.

**MECHANICAL VEHICLES ROAD ILLUMINATION DEVICES AND SYSTEMS MECHANICAL  
DETERIORATION CERTIFICATION TESTS**

**Sernov S.P.<sup>1</sup>, Balokhonov D.V.<sup>1</sup>, Kolontaeva T.V.<sup>1</sup>, Tadeush N.N.<sup>1</sup>, Konicheva L.M.<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Belarusian national technical university*

*Minsk, Republic of Belarus*

<sup>2</sup>*JSC "Rudensk"*

*Rudensk, Republic of Belarus*

**Abstract.** Presently there are several contradiction in UN Regulations № 149 concerning road illumination devices mechanical deterioration tests, these ranging from inconsistent formulation of test method to outright lack of understanding what mechanism causes hydro abrasive wear of said devices exterior. To deal with these problems, a set of recommendations is proposed, main of them being to limit said tests to a fixed time no less than 30 minutes.

**Key words:** automotive lighting devices, certification, wear tests.

*Адрес для переписки: Д.В. Балохонов, пр. Независимости, 65, г. Минск, 220113, Республика Беларусь*

*e-mail: balokhonov@bntu.by*

В рамках Нового Глобального подхода по гармонизации ТНПА, рабочей группой по вопросам освещения и световой сигнализации (WP29) были приняты новые Правила ООН №№ 148–150, дополненные по номенклатуре светотехнического оборудования транспортных средств и объединенные по методам их испытаний. В большей степени новации коснулись устройств и систем освещения дороги, их классификации по источникам света и световому распределению фар и адаптивных систем, изложенных в Правилах ООН № 149.

Поскольку рассеиватели на основе пластмасс практически вытеснили стеклянные в конструкциях фар, актуальной задачей является обеспечение их оптических характеристик при эксплуатации. В соответствии с приложением 8 Правил

ООН № 149, ими являются коэффициент пропускания и коэффициент рассеивания света рассеивателя фар. Эти характеристики зависят от состояния поверхности рассеивателя, и ухудшаются в процессе эксплуатации от воздействия дорожной пыли, грязи, осадков и ультрафиолетового излучения: изделия, отработавшие достаточный срок, имеют помутневший рассеиватель, и поэтому они не могут хорошо выполнять ни сигнальную, ни осветительную функцию, а в случае фар за счет чрезмерного рассеяния света встречные водители могут быть ослеплены.

Механизм помутнения полимерных рассеивателей фар в настоящее время специально не исследовался, и предполагается, что помутнение вызвано в основном воздействием абразивных ча-