

**ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ТЕРМОУДАРОПРОЧНЫХ  
ЭЛЕКТРОИЗОЛЯЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ-ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ СВАРОЧНОГО  
ОБОРУДОВАНИЯ**

**Шмурадко В.Т., Пантелеенко Ф.И., Реут О.П., Руденская Н.А., Григорьев С.В.**  
*БНТУ, г. Минск, Беларусь, E-mail: panteleyenkofi@mail.ru.*

Проведён материаловедческий анализ создания термостойких, виброударопрочных электротехнических материалов-изделий для аппаратов автоматической сварки биметаллических трубчатых элементов.

Ключевые слова. Состав, структура, свойства,  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $SiO_2$ ,  $ZrO_2$ ; материал-изделие, термостойкость, ударопрочность, контактная сварка.

Особенности создания эффективных конкурентоспособных конструкционных керамических материалов – изделий электротехнического назначения и, в частности, изделий, для аппаратов автоматической сварки биметаллических трубчатых элементов, способных работать одновременно в режиме электрических, термических и вибромеханических нагрузок, требует комплексного (системно – дифференцированного) подхода в анализе процессов и механизмов превращения иерархии текущих структурно – фазовых уровней и свойств исходных порошков в конструкционные [1,2] и электротехнические материалы с комплексным набором соответствующих структур, способных практически одновременно рассеивать термомеханические напряжения и выдерживать при этом электрические. Исследование и разработка таких керамических материалов проводилось по программно – методической формуле «фазовый и химический составы – структурная и фазовая иерархия – свойства» – «электротехнический термостойкий ударопрочный материал – изделие» – «устройство» [2]. В качестве исходного сырья применялись порошки  $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ ,  $MgO$ ,  $ZrO_2$  и синтезируемые на их основе твердые растворы.

В исследовании использованы методы современной оптической и рентгеновской спектроскопии, дифрактометрии, ИК – спектроскопии (ИКС) и спектроскопии комбинационного рассеяния, а также реализована информативная рентабельность физических методов химического контроля при фазовых превращениях. Контроль и анализ текущих фазовых превращений в оксидных системах, при синтезе кордиерита, муллита, алюмомагниевого шпинели и циркона, выполнялся на качественном и количественном уровнях путём определения в материалах: химических элементов основы и примесей; фазовых составов; типа твердых растворов, их структурного распределения; уровня и характера дефектности. С позиций микроанализа и химической термодинамики проанализированы механизмы текущего перераспределения химических элементов в существующих и новых фазах. Определенный интерес, для дальнейшего развития методов контроля термостойких электротехнических и виброударопрочных структурированных соединений в конструкционных материалах, представляют исследования электронной структуры с помощью рентгеновской (изучение тонкой структуры рентгеновских спектров) и рамоновской спектроскопии.

Базовым носителем свойств, разработанного электро-, термо и ударопрочного материала, является матричная структура кордиерита, а легирующие фазы – химические элементы, химические соединения и твердые растворы из  $Al_2O_3$ ,  $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ,  $ZrSiO_4$ ,  $MgAl_2O_4$ , модифицируют структуру кордиеритовой матрицы и ее свойства, управляют количественными характеристиками материалов. Составы разработанного электротехнического материала сформированы из фазовых комбинаций кордиерита – муллита – корунда – алюмомагниевого шпинели – циркона – бадделеита, где различные их сочетания позволяют создавать и управлять приоритетными уровнями требуемых свойств.

Выполнен анализ физико-химических и физико – механических свойств разработанных электро – термопрочных материалов. Проведена оптимизация фазовых составов, структурной иерархии и свойств созданных композиционных материалов на уровне кордиерита – муллита – корунда – бадделеита.

Основными технологическими этапами структурной инженерии в создании электротехнических материалов – изделий с требуемыми термостойкостью и

вибромеханической прочностью являются стадии физико – химического структурирования:  $(\text{MgO} - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2) \rightarrow 2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{MgO} \rightarrow \text{MgAl}_2\text{O}_4$ ,  $\text{SiO}_2 - \text{ZrO}_2 \rightarrow \text{SiZrO}_4$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 \rightarrow 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$ ; причем процесс структурирования начинается при сухом и жидкостном (трибохимическом – механохимическом) размоле соответствующих оксидных композиций; затем, при получении активированных высококонцентрированных керамических вяжущих суспензий (АВКВС), литьевого шликера, шликерных отливок, из них - гранулированных порошковых структур; при прессовании, тепловой обработке и спекании; каждый этап технологического структурирования исходных оксидных систем сопровождается текущим анализом структурно – фазовых превращений в стехиометриях кордиерита, муллита, алюмомагниевого шпинели, циркона и композициях, синтезированных на их основе [3].

Результатом структурной инженерии в технологиях получения термостойких ударопрочных конструкционных электротехнических материалов – изделий является: синтез кордиерита; упрочнение кордиерита структурированными соединениями – корунда, муллита, шпинели, циркона, бадделеита; расширение температурного диапазона ( $1360 - 1420^\circ\text{C}$ ) спекаемости кордиеритовой матрицы, модифицированной другими фазами; создание иерархии диссипативных элементов структур (ДЭС), на уровне разработанных композиций, способных, практически одновременно, рассеивать структурные термонапряжения и демпфировать – ударно-вибромеханические, возникающие на атомарно – ионно – электронном – молекулярно – кристаллическом – кристаллохимическом и микро, - мезо – и макроразмерных уровнях; при определенных внешних температурных условиях воздействия - активизация механизмов диссипации в ДЭС тесно связана с термически обратимыми химическими реакциями, протекающими в кордиеритовой матрице и цирконе, причем активность их регламентируется корундо – муллито – цирконо – шпинельными структурами как на кристаллохимических, так и на микро – макроразмерных уровнях.

Сформулирована концепция создания импортозамещающих электроизоляторов [3] с заданным набором электротехнических, термо – и ударно-вибромеханических свойств для автоматов контактной сварки трубчатых биметаллов; концепция представляет программный документ, состоящий из материаловедческо-методологической многоступенчатой формулы: «фазовый состав - многоуровневая иерархия электроизоляционных, термостойких и ударопрочных структур – набор свойств» - «методы, процессы и технология синтеза электро-термо-механопрочных структур с ДЭС» - «режимы эксплуатации – конструкция изделия – эксплуатационная прочность» - «надежность – долговечность – конкурентная способность»; разработанные электроизоляционные термостойкие материалы и технологии получения изделий различного электротехнического назначения и, в частности, электроизоляторов для контактной сварки, позволило сформировать научно – практическую базу по выпуску отечественной электротехнической продукции, создало условия для импортозамещения и организации экспорта; при этом достигнуты следующие свойства материала-изделия: плотность  $\rho = 2,33 - 3,15 \text{ г/см}^3$ ,  $\sigma_{сж} = 432 - 505 \text{ МПа}$ ,  $\sigma_{изг} = 100 - 121 \text{ МПа}$ , термостойкость R1000oc – вода > 140 теплосмен. Данное исследование представляет, на наш взгляд, определенный научно – практический интерес для авто, – авиа – и ракетостроения при разработке изоляторов свечей зажигания нового поколения.

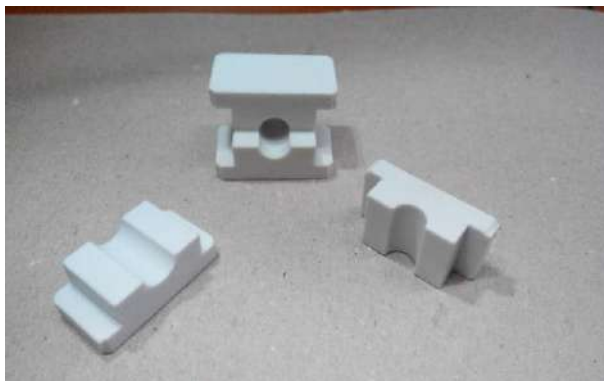


Рисунок 1 – Керамические изоляторы для автоматической сварки биметаллических трубчатых элементов

На рисунке 1 представлены электроизоляторы для автоматической контактной сварки трубчатых элементов медь – алюминий, срок службы которых, в зависимости от поставленных задач, составляет 1200-2000 циклов.

**Список литературы:**

1. Шмурадко В.Т. Особенности создания керамических материалов-изделий различного технического назначения [Текст] // В.Т. Шмурадко, Ф.И. Пантелеенко, О.П. Реут, С.В. Григорьев, М.О. Степкин – В сб. 19-го международного симпозиума “Технологии. Оборудование. Качество” Минск. – 2016. – С. 90 – 93.

2. Шмурадко, В.Т. Материаловедческие принципы и технологические решения разработки, создания и применения износостойких корундовых материалов-изделий для механизмов подземной проходки грунтов и производства металлокорда [Текст] // В.Т. Шмурадко, Ф.И. Пантелеенко, О.П. Реут, Н.А. Руденская, А.Ф. Пантелеенко В сб. МНТК “Новые технологии и материалы, автоматизация производства”. Брест. 2-3 ноября 2016г. -С. 109-111.

3. Шмурадко, В.Т. Принципы создания термостойких электроизоляционных изделий для карьерных самосвалов БелАЗ [Текст] // В.Т. Шмурадко, Ф.И. Пантелеенко, О.П. Реут, М.О. Степкин – Новые огнеупоры. – 2016. – №3. – С.19-20.

4. Шмурадко, В.Т. Физико-химические процессы и механизмы получения термостойких электроизоляторов для карьерных самосвалов БелАЗ. // В.Т. Шмурадко, Ф.И. Пантелеенко, О.П. Реут, М.О. Степкин А.Ф. Пантелеенко – Новые огнеупоры. – 2016. – №11. – С.48-51.