

УДК 666.76:621.762.4

ТЕХНИЧЕСКАЯ КЕРАМИКА (ТК): ПРОБЛЕМЫ, ПРИНЦИПЫ И МЕХАНИЗМЫ НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКОЙ РАЗРАБОТКИ И РЕАЛИЗАЦИИ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПРОФИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ-ИЗДЕЛИЙ

**Ф. И. ПАНТЕЛЕЕНКО¹, В. И. БОРОДАВКО², А. М. МАМОНОВ¹,
Н. А. ШМУРАДКО¹, В. Т. ШМУРАДКО¹**

¹Белорусский национальный технический университет

²ОАО «НПО Центр», НАН Беларуси

Минск, Беларусь

UDC 666.76:621.762.4

TECHNICAL CERAMICS (TC): PROBLEMS, PRINCIPLES AND MECHANISMS OF SCIENTIFIC AND PRACTICAL DEVELOPMENT AND IMPLEMENTATION OF SPECIFIC ELECTRICAL MATERIALS-PRODUCTS IN PRODUCTION

**F. I. PANTELEENKO, V. I. BORODAVKO, A. M. MAMONOV,
N. A. SHMURADKO, V. T. SHMURADKO**

Аннотация. С позиции выполненных и реализованных *НИР-НИОТР* в области *технической керамики* проведен принципиально объективный анализ создания и применения *ТК* в различных научно-технических областях и отраслях промышленности. Сформированы *концепция* и *методология создания ТК* профильного научно-технического назначения, обеспечивающие логистические принципы *разработки физико-химических процессов и механизмов структурной инженерии – проведения эффективного и объективного структурирования профильных материаловедческо-технологических объектов (МТО)* (материалов – технологий – изделий – производств) конструкционного, функционального, электротехнического, керамоогнеупорного и другого назначения. Разработанные инновационные *МТО* (конструкционного, функционального, керамоогнеупорного, электротехнического и другого назначения) на основе *оксидных и бескислородных химических соединений (рис. 1) прошли лабораторные и производственные испытания, качественное тестирование и реализацию на предприятиях РБ и РФ.*

Ключевые слова: проблема, техническая керамика (ТК), НИР, НИОТР, методология, логистика, принципы, алгоритмы исследования, концепция, физико-химические процессы, механизмы, структурная инженерия, структурирование, состав, структура, свойство, материал, технология, изделие, производство.

Abstract. From the standpoint of research and development in the field of technical ceramics, a principled and objective analysis of TC creation and application in various scientific and technical fields and industries has been carried out and implemented. The concept and methodology of creating TC for scientific and technological purposes have been formed that ensure logistics principles of development of physical and chemical processes and structural engineering mechanisms for effective and objective structuring of specialized material science and technology objects (materials, technologies, products, manufactures) for structural, functional, electrical, ceramic and fireproof purposes. The developed innovative MTO (structural, functional, ceramic and fire-resistant, electrical and other purposes) on the basis of oxide and oxygen-free chemical compounds passed laboratory and production tests, quality testing and implementation at the enterprises of Belarus and Russia.

Keywords: problem, technical ceramics (TC), R&D, NIOTR, methodology, logistics, principles, research algorithms, concept, physical and chemical processes, mechanisms, structural engineering, structuring, composition, structure, property, material, technology, product, production.

Решение проблемных задач в научно-исследовательских и технических областях *тесно взаимосвязано с материаловедческо-технологическими разработками в области технической керамики*. Так, *техническая керамика, занимающая пока третье место в мире по научно-практической востребованности после металлов и полимеров, сегодня эффективно обеспечивает новыми конструкционными, функциональными, керамоогнеупорными, электроизоляционными и другими профильными материалами-изделиями практически все промышленные отрасли*.

Для *оперативного определения, анализа и решения основных и второстепенных научно-исследовательских, технических, технологических и производственных проблем, а также вытекающих из них целей и задач исследования разрабатывается концепция и методология создания профильных, например, электротехнических материалов-изделий из ТК* (рис. 2, № 1–6).

Профильная методология включает комплексные материаловедческо-технологические (химические, физико-химические, физико-математические) логистические модели и блок-схемы разработки и реализации *физико-химических процессов и механизмов структурной инженерии – структурирования, например, конструкционных электротехнических материалов-изделий, дисперсно-упрочненных оксикарбоборнитридными соединениями, концептуальные принципы создания – реализации которых состоят в следующем*.

Используя информационные системы и технологии как инструмент и средство базового информационно-аналитического обеспечения проводимых НИР-НИОТР на всех этапах их разработки, созданную методологию материаловедческо-технологической разработки – реализации системно-дифференцированной программно-методологической формулы «состав – структура – свойство» – «термо-коррозионно-эрозионно-стойкий электротехнический материал» – «механизмы эксплуатационного термического, химического, электротехнического и другого разрушения» как логистический источник стратегии и тактики экспериментально-аналитического исследования, разработанные физико-химические процессы и механизмы структурной инженерии как концептуально-методологические принципиальные схемы управления иерархией структурных и энергетических уровней создаваемых профильных материалов-изделий, фазовые диаграммы состояния и их анализ как прикладной информационно-аналитический источник прогнозирования физико-химических и структурно-фазовых составов и текущих структурных состояний проектируемых (создаваемых) материалов-изделий и представляющих логистический инструмент аналитической разработки температурно-временных диаграмм тепловой обработки и спекания разрабатываемых (профильных) керамических материалов, компьютерное моделирование как оперативное средство анализа, прогнозирования, проектирования и расчета материаловедческо-технологических режимов получения состава, структуры и свойств создаваемых материалов-изделий, возможно обеспечить разработку и реализацию материаловедческо-

технологических основ физико-химических процессов и механизмов структурной инженерии – структурирования разнопрофильных материалов-изделий из ТК на уровне инновационных производств.

Эффективной *информационно-аналитической, методологической и концептуальной системно-дифференцированной базой в разработке, исследовании, создании и реализации (РИСП) инновационных материаловедческо-технологических объектов из технической керамики (МТО – ТК) различного (профильного) научно-практического назначения является современное неорганическое – керамическое – материаловедение*, которое комплексно позволяет создавать концептуально-методологические *платформы РИСП МТО из ТК*, формировать *информационно-аналитические карты научно-технического уровня (ИАКНТУ) на МТО*, а на их основе создавать *профильные производства.*

Разработка, исследование, создание конкретных материалов на уровне *НИР-НИОТР* формируется и реализуется с позиции *материаловедческо-технологической концепции*, включающей системно-дифференцированные программно-методологические блок-схемы и алгоритмы их решения на уровнях «состав – структура – свойство» – «электротехнический материал» – «технология» – «материал – изделие» – «физико-химические процессы и механизмы *синтеза-разрушения* структурных уровней» – «*оптимизация* структурных параметров и свойств» – «*эксплуатационная надежность – долговечность* и эффективность изделий» – *создание инновационных производств материалов-изделий из ТК.*

Разработанные инновационные МТО прошли испытания и *реализацию на следующих предприятиях: РБ –* ОАО «БМЗ – УКХ – «БМК», г. Жлобин – *износостойкие керамические поддерживающие ролики* для производства металлокорда и проволоки катанки; *двухслойные* корундо-диоксидциркониевые *стаканы-дозаторы (СД)* для промковшей МНЛЗ; ОАО «НПО Центр» НАН Беларуси – *огнеупорные воронки и литниковые системы* для дозирования в центрифугу алюминиевых сплавов, нержавеющей стали и чугунов; ОАО «Атлант», г. Минск – *электроизоляторы* для автоматической контактной сварки биметаллических трубчатых элементов; УЗ «Стоматологические поликлиники» МЗ РБ – *термо-коррозионно-эрозионно-стойкие тигли* для индукционных плавильно-литьевых установок в стоматологии и др.; **РФ –** НПП «Изумруд», г. Санкт-Петербург – *капиллярно-проницаемые диафрагмы (КПД) без и с тонкопленочными (ионно-дуговыми (плазменными) и магнетронными) функциональными покрытиями для электрохимических реакторов (ЭХР) энергетической обработки и структурирования воды и водных растворов в физико-химические реагенты* бытового, сельскохозяйственного, медицинского (антибактериального, противовирусного) и другого назначения; АО «Гормаш», г. Белгород – *высокотемпературные вакуумплотные электроизоляторы* для вакуумных печей газотермического упрочнения (1050 °С × 10,5 ч) бурового инструмента в среде диссоциированного ацетилена; АО ОКБ «Факел», г. Калининград – *высокоэнергоемкие топливные электроды (термоэммиттеры) для плазменных ракетных двигателей (ПРД)* (см. рис. 2).

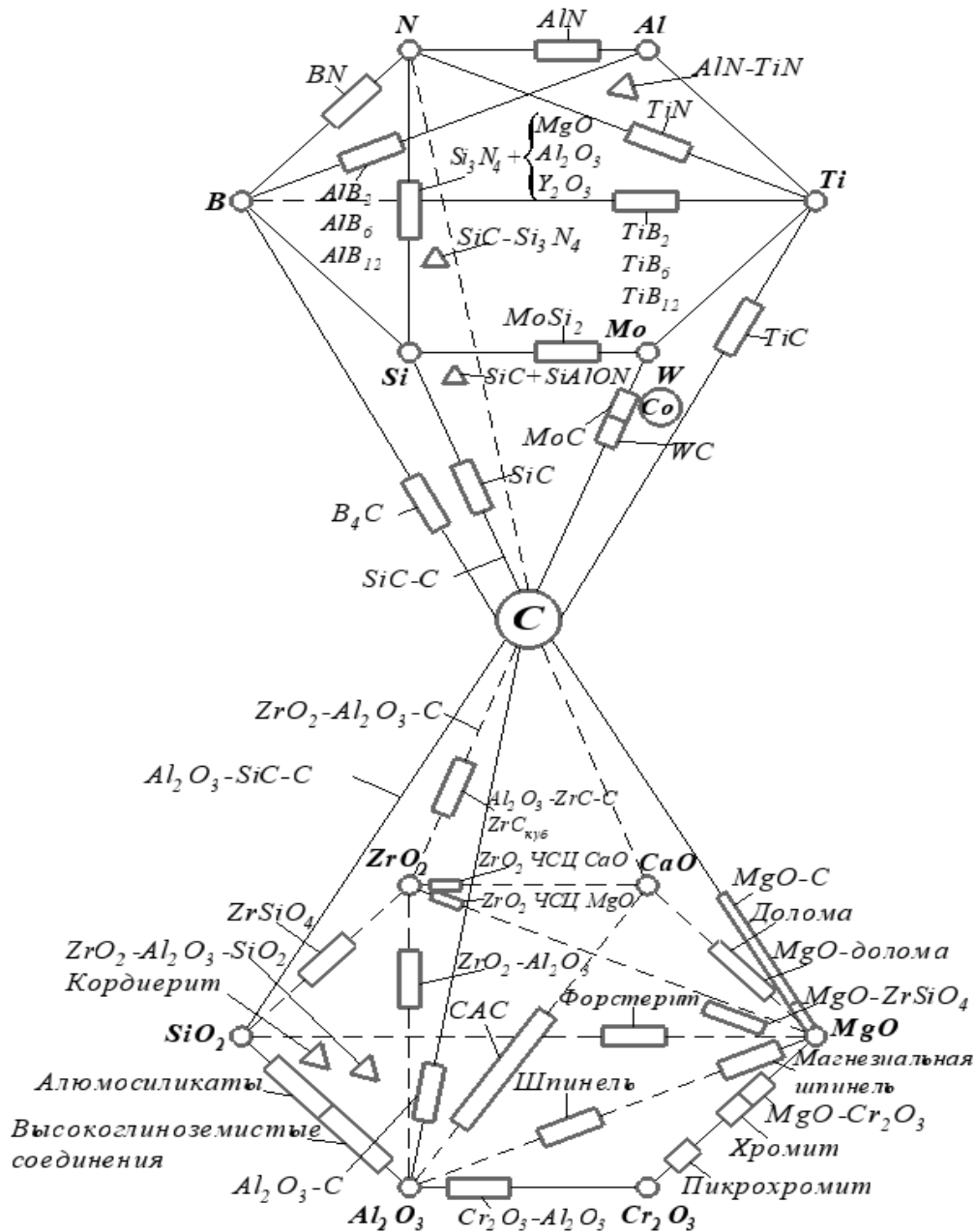
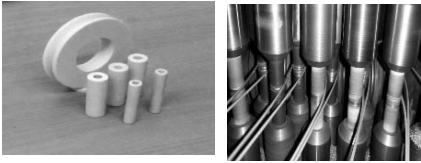


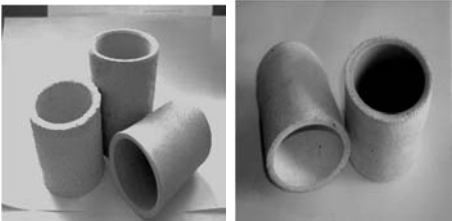

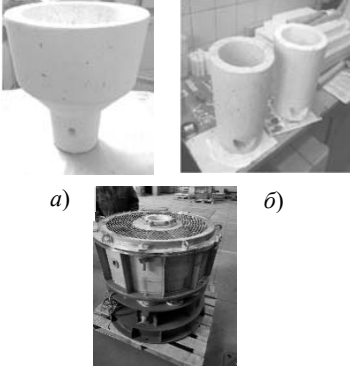

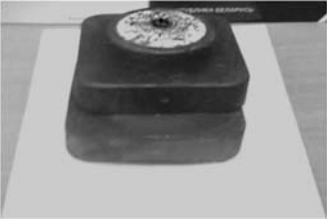
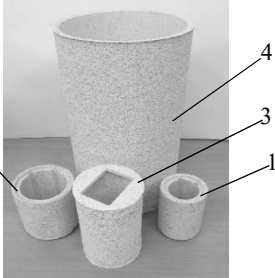

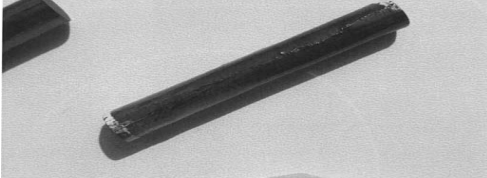


Рис. 1. Аналитическая системно-дифференцированная логистическая блок-схема направленного создания базовых конструкционных, функциональных, электроизоляционных, керамоогнеупорных и других профильных материалов-изделий из технической керамики на основе техногенного минерального сырья – кислородосодержащих (Al_2O_3 , SiO_2 , MgO , CaO , TiO_2 , BaO , B_2O_3 , ZrO_2 , ZrO_2 ЧЩ), бескислородных (карбидных, боридных, нитридных – SiC , B_4C , BN , AlN , TiN , TiB_2 , TiB_6 , AlB_2 , AlB_6 , LaB_2) и других химических соединений для различных профильных технологических областей и отраслей промышленности: С – углерод; В – бор; N – азот; К – кордиерит ($2\text{MgO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 5\text{SiO}_2$); СА₂–СА – высокоглиноземистый цемент ($\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3$)

<p>1. Электроизоляторы; назначение – автоматическая сварка трубчатых биметаллических элементов (а, б)</p>  <p>a) б)</p>	<p>2. Термостойкие электроизоляторы (а), структура (б); назначение – работа в тормозных электротрансмиссиях УВТР 2 × 750 к/с БелАЗ</p>  <p>a) б)</p>	<p>3. Электроизолятор; назначение – работа в электронно-лучевой пушке ЭЛА 30/60 в режиме вакуумной сварки толстостенных (50...150 мм) конструкций из алюминиевых сплавов</p> 
<p>4. Огнеупорные (1200 °С) тепло- и электроизоляционные материалы-изделия из термовспученного вермикулита (ТВВ)</p> 	<p>5. Высокотемпературные электроизоляторы (а) для вакуумных печей (б) (фирма Ipson, Германия) газотермического упрочнения (1050 °С × 10,5 ч) бурового инструмента (с массой загрузки 2 т) в среде диссоциированного ацетилена</p>  <p>a) б)</p>	
 <p>a) б)</p>  <p>в) г)</p>	<p>6. Установки «Изумруд» (а) и «АКВАЭХА» (б) для энергетической обработки и структурирования воды и водных растворов в функциональные реагенты в ЭХР при помощи КПД (НПП «Изумруд», г. Санкт-Петербург)</p> <p>Пористые капиллярно-проницаемые диафрагмы (КПД) для электрохимических реакторов (ЭХР) энергетической обработки и структурирования воды и водных растворов в физико-химические реагенты бытового, сельскохозяйственного, антимикробного, антибактериального и другого назначения (в, г) – КПД <i>без</i> и <i>с</i> функциональными тонкопленочными (ионно-плазменными, магнетронными) покрытиями, активирующими электрохимические процессы и механизмы структурирования различных химических реагентов</p>	

Рис. 2. Материалы-изделия (МТО) из технической керамики

<p>7. Износостойкие поддерживающие ролики (а) для производства металлокорда и проволоки катанки (б); ОАО «БМЗ – УКХ – «БМК», г. Жлобин</p>  <p>а) б)</p>	<p>8. Износостойкие (триботехнические) уплотнительные элементы для высокооборотистого оборудования холодильных установок</p> 	<p>9. Абразивно-износостойкие дюзы для римеров подземной проходки грунтов с последующим бетонированием каналов</p> 	
<p>10. Тигли огнеупорные, одно- и двухслойные; назначение – работа в плавильно-литевом оборудовании с расплавами углеродистых черных, цветных и нержавеющей сталей и сплавов</p> 	<p>11. Огнеупорные термокоррозионно-эрозийно-стойкие плавильно-литевые тигли для производства зубных протезов в стоматологии</p> 	<p>12. Огнеупорные термокоррозионно-эрозийно-стойкие воронки для дозирования алюминиевых сплавов (а), черных и нержавеющей сталей и сплавов, чугунов (б) в центрифугу (в)</p>  <p>а) б) в)</p>	
<p>13. Двухслойные огнеупорные термокоррозионно-эрозийно-стойкие стаканы дозаторы (а) с диоксидциркониевыми вставками (б) для промковшей МНЛЗ; ОАО «БМЗ – УКХ – «БМК», г. Жлобин</p>  <p>а) б)</p>	<p>14. Двухслойные термокоррозионно-эрозийно-стойкие стаканы дозаторы (СД) шибераго типа для промковшей МНЛЗ; ОАО «БМЗ – УКХ – «БМК», г. Жлобин</p> 	<p>15. Тепловые термостойкие экраны для станков клиновой прокатки (1, 2), плавильно-литевых установок драгметаллов (3), производства оптического стекловолокна (4)</p> 	
 <p>а)</p>		 <p>б)</p>	
<p>16. Заготовка (прессовка) (а), полученная изостатическим прессованием, для изготовления высокоэнергетических топливных электродов – монокристаллов (термоэмиттеров) (б) для плазменных ракетных двигателей (ПРД)</p>			

Заключение. Создание разнопрофильной технической керамики формируется на последовательных этапах материаловедческо-технологической логистики, представляющей *НИРовскую методологию стратегии и тактики разработки – исследования – создания – реализации физико-химических процессов и механизмов структурной инженерии* – структурирования техногенного минерального сырья, в рамках системно-дифференцированной программно-методической формулы (схемы), где заданные «составы – структура – свойства» определяют *«проектируемый профильный материал»*, который *трансформируется* на базе экспериментально-аналитических принципов в лабораторные, опытно-экспериментальные и **промышленные технологии** получения заданных **материалов-изделий**.

Сформированную **концепцию создания ТК** можно трактовать не только как удобную *методологию стратегии и тактики разработки – исследования и систематизации физико-химических процессов и механизмов структурирования материалов* с позиции керамического материаловедения, но и как *универсальный логистически действенный инструмент эффективного создания новых материалов*, качество и свойства которых обуславливается в первую очередь их *высокой химической чистотой*, с одной стороны, а с другой – *созданием соответствующих дополнительных кристаллографических – кристаллохимических функциональных структурных комплексов – модификаторов базовой структуры и свойств создаваемых материалов* на различных *материаловедческо-технологических стадиях* синтеза заданной технической керамики.

Основными *логистическими этапами и алгоритмами разработки, исследования, создания и реализации материалов-изделий из ТК* является решение материаловедческих проблем с позиции *физико-химического анализа процессов и механизмов* превращения техногенного минерального сырья в профильные материалы-изделия с использованием *системных фазовых диаграмм состояния; физической химии* (химической термодинамики и химической кинетики); *обратимых и необратимых физико-химических процессов, протекающих в гетерогенных системах при размоле – диспергировании, тепловой обработке и спекании*.

На базе выполненных *НИР-НИОТР* разработаны и реализованы *материаловедческо-технологические, концептуально-методологические логистические блок-схемы и алгоритмы эффективного создания профильных материалов – технологий – изделий – производств из технической керамики* (см. рис. 1), которые защищены патентами, а результаты исследований опубликованы в научных периодических изданиях Республики Беларусь и за рубежом.