

В зависимости от размеров зольные микросферы подразделяются на грубо- и высокодисперсные. Микросферы с диаметром 0,5-1,0 мм называются грубодисперсными, частицы с диаметром менее 500 мкм (или 0,5 мм) – высокодисперсными. Высокодисперсные микросферы разделяются на два класса, различающиеся химическим составом и механизмом образования: карбонатные и алюмосиликатные микросферы.

Оболочка карбонатных микросфер состоит в основном из карбоната кальция, состав газов внутри близок к составу атмосферы, они разрушаются с выделением  $\text{CO}_2$  в водных солянокислых растворах, имеющих  $\text{pH} < 2$  [3].

Химический состав золы уноса Кызылской ТЭС и технологические характеристики сжигания угля позволяют авторам утверждать, что в отходах находятся именно алюмосиликатные микросферы. Отдельно их химический состав изучен не был, это предстоит сделать. С начала 1990-х годов на территории золоотвала теплоэлектростанции накоплено много

твердых отходов сжигания угля, что требует решения ряда экологических проблем, главной из которых является сокращение их объема. Помимо использования отходов при изготовлении строительных материалов, из них можно извлекать вторичный уголь, железосодержащий магнитный концентрат и алюмосиликатные полые микросферы, являющиеся товарным продуктом на международном рынке.

#### Литература:

1. Кизельштейн Л.Я. Следы угольной энергетики. // Наука и жизнь. - 2008. - № 5.
2. Полые микросферы в золах уноса электростанций: Сборник научных статей /Под ред. Дрожжина В.С. – Саров: ФГУП “РФЯЦ-ВНИИЭФ”, 2009. – 125 с.
3. Шпирт М.Я., Зекель Л.А., Краснобаева Н.В. Состав, свойства и некоторые закономерности образования пористых зольных частиц при сжигании углей // Полые микросферы в золах уноса электростанций: Сборник научных статей /Под ред. Дрожжина В.С. – Саров: ФГУП “РФЯЦ-ВНИИЭФ”, 2009. С. 55–65.
4. Янчат Н.Н., Тас-оол Л.Х. О корреляционных соотношениях минералогических компонентов в золе углей Каа-Хемского месторождения // ХТТ. - 2008. - № 4. - С. 54-60.
5. Михеев В.И. Рентгенометрический определитель минералов. - М.: Госгеолтехиздат. 1957. – 868 с.

## СТРУКТУРНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ МАТЕРИАЛА В ТЕХНОЛОГИИ КЕРАМИКИ

Кара-Сал Б.К.

Тувинский государственный университет

## THE STRUCTURAL CHANGES OF THE MATERIAL IN THE TECHNOLOGY OF CERAMICS

Kara-Cal B.K.

*Рассмотрены закономерности изменения структуры материала на различных этапах технологии получения керамических изделий. Показаны объемные изменения материала, сопровождающие к последующим коагуляционной, конденсационной и кристаллизованной структурам.*

**Ключевые слова:** Структура, керамический материал, масса, формование, сушка, обжиг.

*Considered regularities of changes of structure of the material at different stages of the technology of the production of ceramic products. Shows the volume changes of the material accompanying the subsequent coalescing, condensation and crystallized structures.*

**Key words:** Structure, the ceramic material, weight, forming, drying, calcinations.

Получение керамических изделий сопровождается изменением структуры сырьевых материалов и отформованного сырца до конца технологических процессов.

Исследование структурообразования в керамических материалах связано с установлением последовательности и механизма изменений, происходящих в

веществе в процессах формования, сушки и обжига, конечной задачей которого является создание оптимальной структуры и фазового состава, характеризующегося необходимыми техническими параметрами.

Чтобы управлять сложным технологическим процессом изменения структуры материала, необходимо знать сущность происходящих физических и химических процессов с использованием новых подходов.

Как известно, технологический процесс получения керамического материала складывается из следующих стадий: приготовление сырьевых материалов путем механической обработки, придание формовочной массе (дисперсной системе) заданной формы (формование); перевод коагуляционной структуры свежесформованного изделия – сырца в конденсационную посредством удаления жидкой фазы (сушка) и перевод конденсационной структуры сухого сырца в структуру высшего порядка – кристаллизационную (обжиг).

Каждая стадия изменения структуры материала сопровождается протеканием сложных физико-химических процессов, что является характерным признаком этой технологии. Поэтому процесс последовательного изменения структуры материала базируется на строго дозированном воздействии внешних энергетических факторов на внутренние физико-химические свойства дисперсной системы, предопределяющие интенсивность протекания основного процесса на той или иной стадии технологии. Следовательно, главной задачей формирования конечной структуры материала является оптимизация процессов организации и перестройки структур на всех технологических стадиях.

Все технологические операции получения керамических изделий (приготовление порошков, формовочных масс, формование, сушка и обжиг) в той или иной степени связаны с подводом механической и тепловой энергии. Эти необратимые процессы протекают в существенно неравновесных условиях и для лучшего их понимания используют представления физической химии [1]. Отдельные моменты этих процессов наиболее полно можно рассматривать с

позиций физикохимии кристаллов с дефектами [2].

Все системы в процессе структурных изменений проходят через последовательность устойчивых и неустойчивых состояний. Эволюция структуры в материалах в значительной мере зависит от степени неравновесности воздействия на систему.

Структурные изменения в керамике в основном происходят на кристаллическом уровне. Кристаллохимические особенности керамических материалов и сложность их реальной структуры является причиной того, что при температурах 900-1100 °С (обычно ниже 0,7-0,9 от температуры плавления) они показывают хрупкое поведение и разрушаются после упругой деформации.

В процессе измельчения сырьевых материалов происходит разрушение первичной природной структуры. Степень разрушения зависит от способа и оборудования механической обработки. Получение порошков приводит к повышению внутренней энергии частиц. При глубокой механоактивации усиливается процесс ионного замещения в кристаллах, что характерно для кристаллов несовершенной структуры. При измельчении наблюдается упругое деформирование частиц с последующим разрушением. В целом, система или измельчаемый материал сопротивляется внешнему воздействию, причем интенсификация воздействий на систему приводит к усилению в ней процессов самоорганизации.

Формовочная масса готовится путем смешивания глинистых пород, добавок и воды, взятых в определенных соотношениях и обеспечивающих получение массы с оптимальной формовочной влажностью. На этой стадии образуется коагуляционная структура массы с определенным уровнем структурно-механических и реологических свойств, которые предопределяются химическим, минеральным, гранулометрическим составом, влажностью и однородностью массы. Состав и свойства формовочной массы оказывают решающее влияние на остальные стадии процесса получения материально.

Структурно формовочная масса состоит из двух основных частей: грубодисперсного

структурного каркаса с размером частиц от 5 до 1000 мкм и тонкодисперсной глинистой фракции с размером частиц менее 5 мкм, которая располагается в поровом пространстве структурного каркаса. Каркас материала состоит из зерен кварца, а тонкая фракция, представленная глинистыми частицами, взаимодействует с водой и в результате протекания коллоидно-химических процессов превращается в поровое структурированное вещество коллоидного уровня дисперсности. Поровое вещество или глинистая суспензия выполняет роль пластификатора в массе для грубодисперсных песчаных частиц.

При уплотнении пластической массы при формовании достигается лучшее соответствие между процессами уплотнения твердых частиц и фильтрационным перемещением глиняной связки, перемещающейся не в виде свободной влаги, а в виде структурированной поровой суспензии. Изменяя концентрацию глиняной суспензии в шихте и регулируя ее коллоидно-химические свойства, можно целенаправленно изменять коагуляционную структуру материала с приданием конкретной формы и размеров.

При полусухом прессовании содержание связки минимально, что требует больших усилий при формовании. В прессуемом порошке возникают каркасные структуры из песчаных частиц порошка, воспринимающие на себя основное усилие. Увеличение содержания связки облегчает возможность пластической деформации. При пластическом формовании в материале могут возникнуть элементы структуры, размер которых больше или меньше исходных.

Совершенно по-другому происходит формование изделий методом литья из шликера. Здесь соблюдать вязкость шликера и не допустить расслоения массы. Образование коагуляционной структуры формируемых изделий зависит от влажности отливки.

В процессе сушки сырца продолжается деформирование – усадка при удалении физически связанной воды в связи с ее испарением. При сушке механизмом процесса является диффузия жидкости из внутренних областей изделия к поверхности, а затем и испарение в газовую фазу.

Движущей силой деформирования являются градиенты концентрации связки от объема заготовки к внешнему пространству. Саморегулирование системы (глинистые, пылеватые и песчаные частицы) позволяет сырцу сохранить свою целостность за счет возникновения микротрещин между компонентами и возможностью их небольшого смещения друг относительно друга. Роль стабилизаторов играют крупные песчаные зерна, заранее введенные в формовочную массу.

Усадка сырца при удалении воды происходит вследствие уменьшения объема фактически высококонцентрированной суспензии (глинистые частицы и вода) под действием сил поверхностного натяжения жидкости. Подача горячего воздуха при сушке интенсифицирует самоорганизацию в системе. Структура сырца меняется так, чтобы минимизировать последствия внешнего воздействия. В конце сушки в сырце возникают неравноплотности, локальные объемные изменения. При значительном присутствии глинистых частиц в одном месте происходит разрыв (трещина) непрерывности на границе с непластичными компонентами. В этом случае введение отошителей для регулирования пластичности массы следует рассматривать как внутреннее управление системы. Отошители, в данном случае, разбивают объем сырца на мелкие фрагменты, границы которых являются более проницаемыми для удаления пара. Это позволяет равномерно перераспределить напряжения в сырце и не допустить возникновения трещин.

Следовательно, технологические операции получения сырца основаны на хрупком разрушении твердых частиц сырьевых материалов при измельчении и на пластическом (вязком) деформировании увлажненных глинистых частиц. В последнем происходит вязкое течение глиняной суспензии на основе гидратной оболочки. Вязкое течение водных суспензий возможно только при использовании пластичного минерального сырья (глин).

Анализ закономерностей формирования структуры при удалении влаги из материалов и их объемных изменений в процессе сушки показывает, что основными факторами, определяющими поведение материалов при

сушке, являются параметры процесса (температура и влагосодержание теплоносителя) и природа высушиваемых материалов. Режимом сушки можно воздействовать на ее интенсивность и длительность. Чувствительность материалов к сушке является величиной, обратной их связности, т.е. механической прочности сырца. Связность материала обусловлена уровнем сил когезионно-адгезионного взаимодействия составных элементов его структуры.

В целом, все структурные изменения, происходящие в технологии керамики, подчиняются одним и тем же закономерностям, поскольку протекают под одними и теми же движущими силами и могут быть описаны одинаковыми кинетическими закономерностями. Во всех случаях наблюдается диффузионно-вязкое течение кристаллов под действием механического напряжения. Переход коагуляционной структуры пластической массы в конденсационную в конце сушки происходит в силу кинетических изменений.

В ходе заключительного технологического процесса – спекания осуществляется переход конденсационной структуры в кристаллическую.

Спекание дисперсных частиц осуществляется под действием сил поверхностного натяжения. Его движущая сила – избыточная поверхностная энергия частиц по сравнению с монолитом. В отдельных участках пористого кристаллического тела при наличии контакта частиц под действием сил поверхностного натяжения возникают локальные потоки вакансий от растянутых зон к сжатым (т.е. от вогнутых участков к выпуклым); понятно, что поток атомов в обратном направлении. В результате таких потоков происходит зарастание пор и сближение центров частиц, т.е. деформация усадки; при этом наблюдается рост прочности.

Процесс спекания разделяют на 3 стадии: начальную, промежуточную и заключительную. Пористая заготовка, связанная адгезионными силами, на начальной стадии трансформируется в пористое тело благодаря диффузионным потокам вакансий в пределах каждой частицы от поры к контакту. Движущей

силой здесь является избыточная свободная энергия поверхности частиц; диссипативный элемент структуры собственно частица. На промежуточной стадии спекается пористый каркас благодаря диффузионным потокам вакансий от вогнутых участков тела к выпуклым. Движущей силой здесь является избыточная энергия каркаса вследствие наличия в нем пор; диссипативный элемент структуры – формоизмененная частица. На заключительной стадии происходит удаление пор из сплошного тела и увеличение размеров частиц (вследствие движения границ между ними), благодаря диффузионным потокам от поверхности пор (вогнутые участки) к границам, а затем – к внешней поверхности. Движущей силой здесь является избыточная энергия пор и границ. Нулевой этап спекания – удаление адсорбированных примесей с поверхности частиц и ее сглаживание. При непрерывном нагреве заготовки на различных этапах лимитируют поверхностная, граничная или объемная диффузия, так что вследствие самосогласования этих потоков процесс осуществляется практически при постоянной скорости массопереноса.

В заключении следует отметить, что поведение керамических структур в сильной мере зависит от подвижности их элементов кристаллической решетки, определяющей скорость массопереноса; в свою очередь подвижность определяется термической активацией. При сравнительно невысоких температурах (порядка 0,5-0,7 температуры плавления) диссипация подводимой энергии при создании путем диффузионного массопереноса соответствующих структур происходит весьма медленно, и в качестве диссипативных выступают преимущественно уже имеющиеся элементы структуры. В ходе эволюции структуры в поле внешних сил, например при спекании, на разных ее этапах может постепенно изменяться тип диссипативного элемента в соответствии с кинетикой процесса, которая определяет и кинетику эволюции диссипативных структур.

#### Литература:

1. Горшков В.К. Физическая химия силикатов. – М.: Высшая школа. – 1988. – 400 с.
2. Ковтуненко П.В. Кристаллы с дефектами. – М.: Высшая школа. – 1993. – 352 с.

## СТРОИТЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ

### УСИЛЕНИЕ КАМЕННЫХ И КИРПИЧНЫХ ЗДАНИЙ С ЦЕЛЮ УВЕЛИЧЕНИЯ ИХ СЕЙСМОСТОЙКОСТИ

Чылбак А.А.

Тувинский государственный университет

### STRENGTHENING OF STONE AND BRICK BUILDINGS FOR THE PURPOSE OF INCREASE IN THEIR SEISMIC STABILITY

Chylbak A.A.

*В статье рассматриваются способы усиления стен каменных и кирпичных зданий существующей застройки для повышения их сейсмостойкости.*

*Ключевые слова: сейсмостойкость, увеличение сейсмостойкости, усиление стен зданий, усиление строительных конструкций.*

*In article ways of strengthening of walls of stone and brick buildings of existing building for increase of their seismic stability are considered.*

*Keywords: seismic stability, increase in seismic stability, strengthening of walls of buildings, strengthening of construction designs.*

Произошедшие сильные землетрясения в Республике Тыва и изучение их последствий показали необходимость повышения сейсмостойкости зданий существующей застройки.

Проектная документация по повышению сейсмостойкости зданий до соответствующей расчетной сейсмичности строительной площадки разрабатывается на основе анализа проектной документации на здание и материалов натурного детального обследования основания и конструктивных элементов здания.

При выборе способов усиления несейсмостойких жилых, общественных и промышленных зданий необходимо руководствоваться общими принципами проектирования сооружений для сейсмических районов, изложенными в действующих нормах [1, 2]. При разработке проекта повышения сейсмостойкости здания могут быть выявлены следующие недостатки конструктивных решений существующего здания, требующие усиления его элементов или иных мероприятий по повышению надежности здания:

- объемно-планировочные решения не соответствуют требованиям СНиП [2];

- чрезмерная высота здания, размеры отсека или высота этажа, план сложной формы, перепады высот, несимметричное расположение жесткостей, наличие изломов или выступов стен, не выдержаны цельные размеры проемов, простенков, велика высота парапетов и т.д.);

- не обеспечена суммарная несущая способность стен по восприятию горизонтальных усилий одного из направлений или несущая способность отдельных простенков, вертикальных диафрагм жесткости, вертикальных связей, рам или железобетонных включений.

Каменные и кирпичные здания могут быть усилены путем увеличения несущей способности его элементов без изменения расчетной схемы или путем устройства дополнительных элементов для восприятия сейсмических усилий [2].

#### 1. Усиление стен и простенков профилированным настилом

Использование стального профилированного настила позволяет произвести усиление наружных стен из кирпича или из мелких штучных каменных блоков. Профилированный настил выполняет роль несъемной опалубки и внешнего армирования. При этом в зависимости от