**Реферат**

**на тему:**

**«Теория структуры образования и оптимизация структуры ИСК»**

**2009**

**1. Основные процессы в технологии строительных материалов**

*Технология –* наука о процессах и способах переработки используемых сырьевых продуктов. Химическая технология – наука о методах и процессах химической переработки сырья в строительные материалы и изделия. Основными элементами технологий являются сырье, энергия и аппаратура. Эти элементы тесно взаимосвязаны и обусловлены экономикой, состоянием и уровнем научно-технического потенциала.

*Сырьем* служат исходные вещества или смеси различных веществ, состоящие из двух или большею количества компонентов, которые поступают в переработку для получения определенной разновидности строительного материала. Чаще для этих целей используют природное сырье. Оно добывается из недр земли или из ее поверхностных слоев, являясь в основном неорганическим материалом. В меньших размерах для этих целей применяют органические природные вещества, а также побочные продукты промышленности, сельского и лесного хозяйств и др.

*Неорганическое сырье* подразделяют на неметаллическое и металлическое. При производстве строительных материалов преимущественно применяют неметаллическое, при изготовлении металлических строительных изделий и конструкций – металлическое сырье. Из неметаллического природного сырья чаще используют горные породы и породообразующие минералы, особенно оксиды, силикаты, карбонаты и другие сравнительно однородные по составу и свойствам природные вещества.

Из *органических природных видов сырья* следует отметить каменные и бурые угли, нефть, растительные вещества, торф и вещества, как правило, неоднородные по своему составу и содержанию различных соединений углерода вещества. В качестве сырья используют и побочные продукты от других производств: шлаки металлургического процесса, золу от сжигания каменного угля и кокса и др. Особенно много побочных продуктов возникает при производстве минеральных строительных материалов.

Сырьевые природные продукты и техногенное сырье используют в производстве строительных материалов и изделий после их предварительной обработки, составляющей важнейший этап подготовительных работ в технологиях.

При изготовлении строительных материалов и изделий сырье подвергают комплексу механических, химических, физико-химических, тепловых и других воздействий. В результате реализации и определенной последовательности этих технологических воздействий сырье либо изменяет только форму и размеры частиц вещества, получает большую однородность и очищается от загрязнений, либо претерпевает существенные изменения состава, внутреннего строения и качественных характеристик.

Каждая разновидность строительных материалов и изделий нуждается в специфической технологии. Последняя выражается своим регламентом, параметрами режимов, минимальным размером затрачиваемой энергии и сырьевых ресурсов, достижением экономически эффективных результатов и высоких показателей качества готовой продукции. Необходимо соблюдение непрерывности технологического процесса, хотя иногда может оказаться более целесообразной и периодичность, особенно в химической технологии.

При большом разнообразии специфических технологий материалов и изделий они содержат и ряд типичных операций. Это связано с тем, что в их основе лежат одинаковые физические или физико-химические зависимости, сходные кинематические схемы действия оборудования и машинного парка, общие методы использования тепловой или иного вида энергии и т.п.

К типичным переделам, предопределяющим процессы структурообразования у материалов и изделий, относятся:

*основные –* подготовительные работы, перемешивание отдозированных сырьевых компонентов, формование получаемой смеси и уплотнение отформованных изделий, специальная обработка уплотненных изделий до полного их отвердения, технический контроль качества готовой продукции;

*вспомогательные –* контроль за кондицией технологического регламента, транспортирование сырья и перемешанной смеси, перемещение готовых изделий, складирование сырья и изготовленной продукции, хранение материалов на складах.

Следует отметить, что на структурообразование влияют не только основные, но и вспомогательные переделы. При транспортировании, складировании, хранении или других вспомогательных операциях возможно значительное снижение качества ранее подготовленных материалов. Возможно, однако, и повышение качества, если материалом не только сохраняются приданные ему дополнительные потенции, но они возрастают при реализации некоторых операций, например на стадии транспортирования, хранения.

К подготовительным работам относится комплекс операций, сопутствующих практически всем технологиям. Их основное назначение – придать сырью технологическое состояние, удобное и эффективное для его прохождения по последовательному циклу переделов с образованием готовой продукции. На этой стадии технологии важно полнее раскрыть и по возможности преувеличить потенциальную энергию сырья, чтобы на последующих этапах свободная внутренняя и поверхностная энергии перешли в другие ее формы, способствуя процессам новообразований и возникновению фаз, отличных от исходных сырьевых, а также структуры внутреннего строения готового материала.

В зависимости от разновидности сырья подготовительные операции заключаются: в измельчении, помоле, распушении и других способах перевода сырья в тонкодисперсное состояние; фракционировании, просеве, промывке и других методах очищения поверхности частиц и разделения их на отдельные группы по гранулометрическому. составу; увлажнении или обезвоживании сырья; нагревании, обжиге и охлаждении сырья перед употреблением в смесях; обогащении, т.е. повышении однородности сырья по массе, прочности и другим качественным показателям, что нередко совмещается с физико-химической обработкой в целях дополнительного повышения активности поверхности частиц или изменения ее полярности, поверхностного натяжения и т.п.

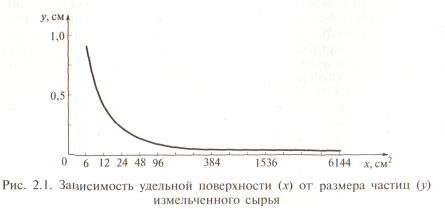
*Измельчение и помол –* наиболее распространенные подготовительные операции. Уменьшение размеров частиц грубозернистых сырьевых материалов вызывается необходимостью: обеспечения определенного соответствия между размерами частиц смеси и конструктивными элементами изделий, облегчения технологических операций на стадиях приготовления смеси, повышения плотности и однородности дробленого материала, увеличения удельной поверхности порошкообразного вещества после помола исходного материала. Известно, что между размером зерен *у* и удельной поверхностью *х* существует обратная пропорциональная зависимость:

*х = а/у*n*,*

где *а –* величина поверхности частицы, размер которой равен 1.

Эту зависимость можно изобразить в виде гиперболической кривой. С уменьшением размера каждой частицы общая поверхность измельченного вещества увеличивается, тогда как объем частицы при сложении обломков остается постоянным. Быстро увеличивающаяся с измельчением поверхность обладает особым запасом поверхностной энергии, которая в дальнейшем расходуется при смешении нескольких компонентов в общую смесь для формирования изделий из смеси с протеканием реакций по поверхностям раздела.

Операцию измельчения или помола нередко совмещают с разделением получаемого продукта по крупности частиц просеиванием или сепарацией. Эта операция называется разделением сырья по фракциям.



Другой операцией является *промывка* зернистых фракционных материалов: песка, дробленого камня, гравия – в целях уменьшения количества пыли и глины в смеси. Материалы промывают чистой водой или с добавлением химических веществ. Но имеются и сухие способы очищения зернистых сырьевых материалов, что предохраняет их от смерзания в зимний период работ, например колориметрические, рентгеносепарационные и др.

Нередко исходные сырьевые материалы подвергают так называемому *обогащению,* т.е. повышению однородности по прочности и плотности и т.п. В основе обогащения лежат физические законы. В зависимости от принятого способа они могут быть законами гравитации, сепарации, флотации, упругости и др. Эффективность способа оценивают по степени обогащения, количеству обогащенного продукта и его качеству.

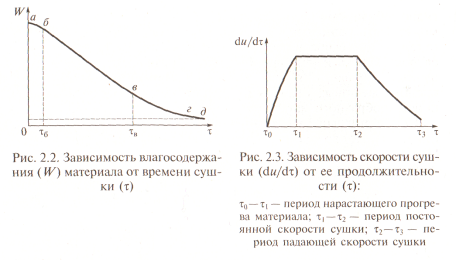
Весьма важная роль в подготовительный период отводится *тепловому воздействию* на сырьевой материал, чтобы его просушить, нагреть до необходимой температуры и даже подвергнуть кратковременному обжигу в целях, например, частичной или полной его дегидратации, аморфизации, укрупнения частиц для понижения пластичности.

Процесс *сушки* назначают с учетом особенностей исходного сырья как многокомпонентной системы, состоящей из вещества, слагающего сырьевой материал, влаги, воздуха и паров воды. Если сырьевой материал подвергнуть воздействию теплового агента или специальных источников нагрева, то с поверхности материала влага испаряется, а внутри перемещается к поверхности испарения за счет капиллярных сил, градиентов влажности и температуры.

Общее влагосодержание W после прогрева сырьевого материала уменьшается пропорционально продолжительности сушки т, т.е. по линейному закону*.* Температура поверхности материала в этом интервале остается постоянной и равна температуре адиабатического насыщения воздуха. Температура в центральных слоях материала продолжает повышаться и достигает температуры адиабатического насыщения позже, в точке *д.* На отрезках я – *б* и *в-г* уменьшение влагосодержания идет не по прямому закону.

Зависимость скорости сушки от ее продолжительности показана на рис. 2.3. После высушивания материал нагревают до необходимой температуры. Нередко сушку и нагрев совмещают в одном тепловом агрегате, например в сушильном барабане или на колосниковой решетке.

Нагревание материала, выпаривание влаги или растворителя, оказавшихся в нем, а также последующее охлаждение и другие тепловые процессы протекают в соответствии с законами теплоотдачи.



Основное уравнение теплопередачи устанавливает зависимость между тепловым потоком Qи поверхностью F теплообмена

Передача теплоты на расстояние осуществляется тремя способами: теплопроводностью, конвекцией, излучением. Эти способы теплопередачи описываются соответственно законами Фурье, Ньютона и Стефана – Больцмана. В реальных условиях теплота чаще всего передается комбинированным способом, однако один из них все же будет преобладающим.

На стадии подготовительных работ производят нередко также *физико-химическую* или *химическую обработку* сырьевых материалов. Она повышает активность подготавливаемых компонентов смеси, облегчает и ускоряет основную технологическую операцию, благоприятствует получению лучших качественных характеристик ИСК. Такая обработка заключается обычно в добавлении в смесь специальных веществ, имеющих различные или комплексные функции: уплотняющие, минерализующие, порообразующие, гидрофобизирующие, коагулирующие и т.п. Она может быть совмещена с механической обработкой, например, путем помола сырья в смеси с добавкой. Тогда свежеобразующаяся поверхность измельчаемых частиц поглощает добавочное вещество с образованием на поверхности молекулярных пленок или новых химических соединений, повышая активность порошкообразного материала.

Некоторые сырьевые компоненты находятся в жидком состоянии и вступают во взаимодействие с твердыми компонентами смеси. Поэтому, чтобы усилить их индивидуальные особенности, их, подобно твердым, подвергают нагреванию, рафинированию, электромагнитному воздействию, обогащению с введением добавочных веществ, например поверхностно-активных ингибиторов, электролитов и др.

Подготовленные сырьевые материалы *транспортируют* к местам временного накопления для последующих операций. При прогрессивной технологии транспортирование является не только перемещением, но используется так же, как дополнительный фактор, положительно влияющий на структурообразовательный процесс. В этих целях предусматриваются не только конструктивно-технологические мероприятия по защите материалов в пути, но и дальнейшая активизация материалов с помощью соответствующих агентов.

В емкостях *временного накопления* и *хранения* подготовленных сыпучих материалов возможны заторы при их перемещении с образованием устойчивых сводов. Для борьбы с образованием сводов в толще сыпучего материала используют специальные устройства.

На качество смеси изготовляемого строительного материала может сильно влиять точность *дозирования.* Если под влиянием внешних или внутренних причин нарушается точность дозирования или ритмичность перемещения отдозированных компонентов к смесительному аппарату, то в процессе перемешивания возможно снижение качества получаемой смеси и готового материала.

Для большинства технологий перемешивание отдозированных материалов является главной операцией, предопределяющей качество смеси и готовой отформованной продукции. В смесительных аппаратах, особенно при производстве безобжиговых конгломератов, возникают, развиваются, а иногда и почти полностью завершаются основные процессы структурообразования вяжущей части, в частности микрослоев. Но возможно, что перемешивание – это всего лишь обычная разновидность подготовительной работы, например, при изготовлении шихты *с* последующим нагреванием ее до расплава при производстве обжиговых изделий.

Наибольшее распространение получил способ перемешивания с введением в смесь механической энергии от внешнего источника, а среди типов смесителей – роторные принудительного действия. Механическое перемешивание осуществляется в две стадии: 1) предварительное смешение сухих компонентов; 2) смешение с жидкостью, принятой как обязательный компонент изготовляемой смеси безобжиговых ИСК или как возникающей из легкоплавких веществ при изготовлении обжиговых ИСК.

При введении в смесь жидкого компонента дальнейший процесс механического перемешивания основывается на закономерности обтекания твердых дисперсных частиц потоком жидкости. В зависимости от скорости движения частиц фазы в среде возникают ламинарные потоки или турбулентные завихрения. В последнем случае происходит отрыв пограничных слоев среды от поверхности твердых частиц. *При ламинарном режиме* перемешиваются в основном только те слои, которые непосредственно примыкают к лопастям и участвуют во вращении вместе с ними. При *турбулентном режиме* происходит более интенсивное перемешивание слоев жидкости с отрывом их от лопастей мешалки. При высокоразвитой турбулентности часто затраты на дополнительную мощность для увеличения частоты вращения вала мешалки не соответствуют получаемому эффекту перемешивания, например по значениям коэффициентов тепло- и массоотдачи.

При перемешивании в один этап жидкую среду подают в смесительный аппарат одновременно с твердыми компонентами смеси. Поверхность твердых частиц смачивается, а температура смеси выравнивается по всему объему, так как компоненты были приняты с неодинаковой температурой и, кроме того, процесс смачивания – экзотермический. Количество выделяемой теплоты смачивания может быть измерено микрокалориметрами или другими аналогичными приборами в лабораторных условиях. Оно характеризует степень интенсивности взаимодействия компонентов. Если, например, в поверхностном слое преобладают отрицательные гидроксильные ионы, то смачиваемость водой полная, количество выделяемой теплоты большое, а поверхность частиц относится к *гидрофильной.*

Если превалируют положительные ионы тяжелых' металлов то высокая смачиваемость обеспечивается при контакте с маслом, и тогда поверхность твердых частиц относится к *олеофильной.* При полном смачивании в других жидкостях частицы характеризуются как *лиофилъные,* причем независимо от разновидное™ жидкой среды полное смачивание указывает на способность твердых частиц к растворимости в ней с образованием истинных растворов как гомогенных систем. Следовательно, лиофильность связана с малым межфазным натяжением, устойчивостью поверхностей к взаимному слипанию и растворимости.

Более характерным процессом при перемешивании компонентов является формирование *гетерогенной* системы, которая отличается от *гомогенной* наличием двух или большего количества фаз, контактирующих между собой по поверхностям раздела.

Характер поверхности твердых тел можно существенно изменить добавлением поверхностно-активных веществ, когда, например, гидрофильная поверхность может стать *гидрофобной* или гидрофобная поверхность – гидрофильной. Вводимые в жидкую среду поверхностно-активные вещества широко используют для повышения смачиваемости поверхности твердых тел, что основано на снижении разности полярностей между поверхностью частиц твердого тела и жидкостью.

С увеличением интенсивности принудительного перемешивания уменьшается толщина диффузионного слоя, в пределах которого протекают процессы самопроизвольного выравнивания концентраций, ускоряется образование гетерогенной системы в целом. Эта скорость возрастает при непрерывном обновлении поверхности контакта и при возрастании поверхности твердой или жидкой фазы, например, при перемешивании по принципу противотока, к тому же нередко совмещаемого с дополнительной диспергацией твердого компонента или «кипящем слое».

Гетерогенный процесс часто сопровождается возникновением и накапливанием в смеси новой фазы в результате выделения растворенного вещества из пересыщенного раствора, протекания химических реакций, в частности в твердой фазе, с образованием соответствующих соединений, формирования пузырьков газа или пара и др. Наибольшее количество новообразований возникает под влиянием вводимых в смесь *катализаторов.* Для замедления реакций пользуются не положительными катализаторами, ускоряющими реакцию, а отрицательными – *ингибиторами.*

Среди гетерогенных процессов немалое значение в структурообразовании конгломератов имеют *физическое поглощение* и *химическое –* хемосорбция. Из окружающей среды сорбируются те вещества, которые способны уменьшить поверхностную энергию, что соответствует так называемой адсорбции. Возможен и обратный процесс – увеличение энергии, например величины поверхностного натяжения, за счет частичной десорбции, что означает отрицательную адсорбцию. Повышение температуры и понижение давления, а также снижение концентрации адсорбируемого вещества способствуют десорбции ингредиента, ранее физически поглощенного адсорбентом.

Структурообразование с участием поверхностно-активных веществ происходит с предварительным образованием на поверхности моно- и полимолекулярных слоев. Прочность фиксации адсорбционного слоя обусловлена величиной поверхностной энергии, природой адсорбента, но не величиной его поверхности. Последняя же предопределяет количество вещества, адсорбируемого из раствора. Но поверхность может не полностью покрываться адсорбционным слоем. Степень насыщения ее адсорбатом при данной температуре зависит от концентрации адсорбируемого вещества в окружающей среде.

Свежеприготовленная смесь обладает определенной удобообрабатываемостью, что выражается в ее реальной способности воспринимать технологические операции по формованию и уплотнению изделий.

Смеси с весьма малой вязкостью пракически не требуют уплотнения при формовании изделий или покрытий, что составляет значительное технологическое удобство. Для воспроизведения литьевой технологии в смесь вводят нередко соответствующие пластификаторы или даже суперпластификаторы. Введенные даже в малых количествах они способствуют резкому понижению вязкости смеси, облегчая формование изделий и в том случае, когда их очертания отличаются повышенной сложностью. Той же цели достигают дополнительным увеличением количества жидкостной среды в смеси, что должно быть каждый раз обосновано с общих позиций оптимизации структуры и требований к конкретным видам оптимальных структур.

При использовании смесей с повышенной вязкостью, обладающих на реологической кривой условным динамическим пределом текучести и предельным напряжением сдвига, важно не допустить при формовании напряжений, способных разрушить сплошность изделия. Так, например, в некоторых случаях отмечается образование дефектов структуры, если допустить

напряжение в массе, превышающее Р2. Опыт показывает, что для хорошо формующихся смесей величина отношения должна быть не ниже 10-6. Конкретные и точные пределы реологических характеристик зависят от разновидности смеси и технологического способа формования – пластичного, вибрационного без пригруза или с пригрузом и т.п.

Формование изделий сопряжено, как правило, с плотной укладкой смеси, зернистых или другого вида заполнителей.

В зависимости от разновидности смеси формование производится с использованием укладчиков, прессов, экструдеров, каландров и других машин. Выбор оптимального способа формования и уплотнения зависит от характера исходного сырья и массовости производства, требуемых свойств и вида изделий. Но при всех способах важно обеспечить связность и начальную прочность изделий с последующим упрочнением их на других стадиях обработки.

Во многих технологиях формование и уплотнение смеси совмещаются в одну операцию, в результате чего химические и физико-химические процессы, обеспечивающие структурообразование на микро- и макроуровнях, протекают также одновременно. К ним относятся тиксотропное разжижение и упрочнение, массо- и теплообмен, перемещение заполняющей и вяжущей частей относительно друг друга с образованием плотной структуры к концу выполнения такой совмещенной операции. Естественно, что в этот период не прекращаются главные структурообразующие процессы – сорбционные, растворения и другие процессы, которые, подобно тому как это было на стадии перемешивания смеси, завершаются возникновением новых соединений и фаз, хотя и в сравнительно ограниченных количествах. Гораздо в больших размерах они выделяются на последующих стадиях технологии, например при тепловой обработке отформованных и уплотненных изделий.

К весьма значительному технологическому переделу, влияющему на структурообразование ИСК, как и других материалов, относится специальная обработка отформованных и уплотненных изделий с помощью одного, двух или большего числа внешних воздействий на материал в некотором последовательном или комбинированном порядке. Обработка может быть тепловой, тепло-влажностной, химической, электрофизической, автоклавной, вакуум-пропиточной, радиационной и др. Основная цель обработок – обеспечить развитие процессов микро- и макроструктурообразования с возможно более полным переводом систем из устойчивого состояния в термодинамически устойчивое. И хотя соответствующие процессы могут продолжаться и после произведенной обработки, в том числе в эксплуатационный период работы конструкции, однако большинство их протекает на стадии обработки, реже – на стадии выдерживания изделий в обычных, «нормальных» условиях.

Эффективность обработки характеризуется постепенным или быстрым упрочнением структуры свежеизготовленных изделий с переходом ее в твердое или твердообразное состояние. Отвердевает в основном вяжущая часть, поскольку другая заполняющая часть конгломерата состоит из смеси уже твердых компонентов. В вяжущей части формируется либо одна новая фаза, либо их может быть несколько. Новая фаза в виде химических соединений, возникающих под влиянием хемосорбционных реакций на поверхности твердых частиц или в растворе, вначале появляется в виде скопления микрозародышей как центров реакции и их развития с увеличением в размерах до мельчайших кристалликов. Затем продукты химических реакций выделяются в самостоятельную фазу, концентрация которой со временем нарастает.

Кроме химических реакций к образованию новой фазы приводит кристаллизация растворенного вещества из пересыщенного раствора.

Пересыщенный раствор обладает сравнительно небольшой термодинамической устойчивостью. В соответствии с современными взглядами сначала появляются зародыши новой фазы в виде скопления малого числа молекул, образования ассоциаций частиц при столкновениях в растворе отдельных ионов растворенного вещества.

На определенном этапе частицы-зародыши достигают критического размера, при котором каждая обладает достаточной поверхностной энергией, чтобы вызвать дополнительное адсорбирование частиц растворенного вещества. Увлекаются и мельчайшие твердые частицы других веществ, находящихся в системе, в том числе частиц новообразований. Зародыши становятся, таким образом, центрами кристаллизации. Последние выделяются сначала в виде аморфных частичек, которые обычно с большой скоростью переходят в кристаллическое состояние с укрупнением за счет наслоения вещества на гранях кристалликов. Большое влияние на свойства оказывает характер установившегося контакта и связей между отдельными кристаллами, особенно когда они состоят не из одного, а из двух, трех и большего числа их видов, например, в твердых сплавах или в продуктах кристаллизации из сложных растворов. Значительное влияние на прочность, деформативность и другие свойства оказывает контактирование кристаллов или их обломков через тонкие прослойки инородного вещества, нередко находящегося в стеклообразном состоянии.

Стеклообразные вещества характеризуются, во-первых, изотропностью и, во-вторых, способностью при нагревании переходить постепенно в жидкое состояние. Известно, что кристаллическое вещество полностью переходит в жидкое состояние при одной характерной для него постоянной температуре. Возможен самопроизвольный переход вещества из стеклообразного в кристаллическое состояние, сопровождаемый выделением в небольших количествах теплоты, преодолением энергетического барьера, связанного с образованием вокруг частиц двойных адсорбционных и ионных оболочек, прослоек среды повышенной вязкости. В технологии этот барьер нередко преодолевается наложением дополнительных механических воздействий на твердеющую систему.

В различных видах вяжущего вещества устанавливаются после отвердения системы определенные соотношения объемов кристаллической и аморфной фаз, которые под действием эксплуатационных факторов могут претерпевать отклонения как за счет дополнительного выделения новообразований, так и за счет упорядочения в расположении частиц стекловатой фазы с постепенным переходом ее в кристаллическое, в той или иной мере деформированное состояние.

К процессам структурообразования и сопутствующим им явлениям относятся также контракция и усадка, экзотермический и эндотермический эффекты, релаксации и ретардации.

*Контракция* состоит в самопроизвольном сжатии системы с уменьшением ее первоначального объема в основном в связи с образованием новых химических соединений, с переходом некоторой доли объемной жидкой среды в химически связанное состояние. Поскольку продукт реакции является, как правило, новой фазой микро- и макроструктуры, то возникающая пористость оказывает существенное влияние на качество этой материальной системы.

*Усадка –* уменьшение в объеме, которое происходит под влиянием сжимающих капиллярных сил, перехода твердых компонентов в жидкое состояние с последующим заполнением пор и пустот жидкой средой, испарения части жидкой среды или ее синерсзиса, снижения температуры, в том числе вследствие эндотермического эффекта. Общая усадка состоит из физической и химической усадок.

В отдельных материальных системах вместо усадки наблюдается разуплотнение с увеличением объема конгломерата или вяжущей части. Это явление происходит вследствие набухания, полиморфного превращения, химического или физико-химического присоединения большого количества жидкой среды с увеличением в объеме аморфных или кристаллических новообразований, расширения объема при повышении температуры, в частности за счет экзотермических эффектов.

В результате усадки и набухания, тем более повторяющихся в технологический период изготовления конгломерата или в эксплуатационный период, нередко возникают самопроизвольные напряжения в материале и, как следствие, образование микротрещин с возможным ухудшением физико-механических свойств строительных изделий. Различными приемами: регулированием режима отвердения, введением дополнительных компонентов в смесь и другими – удается уменьшить или полностью исключить влияние усадочных напряжений или деформаций, связанных с разуплотнением структуры.

Тепловые эффекты обусловлены химическими реакциями и физическими модификациями. Эндотермические эффекты возникают при разрушениях кристаллической решетки или испарении жидкости, полиморфных превращениях вещества. Экзотермические эффекты и реакции обусловливаются образованием новых фаз, сопровождаются поглощением газовой среды, переходом неустойчивого аморфного состояния в кристаллическое.

*Релаксация* и *ретардация* – соответственно процессы самопроизвольного снижения напряжения при фиксированной деформации и изменения деформации при фиксированном внутреннем напряжении. И то и другое происходит под влиянием перемещений атомов, ионов, молекул, отдельных звеньев молекулярных цепей. В структурообразовании ИСК эти спонтанные процессы имеют как положительное, так и отрицательное значение. Во всех случаях эти процессы и характеризующие их параметры учитываются в расчетах ползучести и прочности элементов строительных конструкций.

Таким образом, комплекс сложных процессов и явлений, возникающих и развивающихся в период технологических переделов до определенного уровня, а затем постепенно угасающих, позволяет получать изделие из подготовленных и отдозированных компонентов. Подавляющее количество процессов и явлений из этого комплекса характерно для вяжущей части конгломерата, поскольку именно ее компоненты к моменту объединения наиболее активны. Структурообразование ИСК условно возможно расчленить на множество более простых процессов и явлений, подобно тому как сложные химические реакции представляют собой определенное параллельное или последовательное – сочетание простых реакций. Преобладающую роль в структурообразовании играют процессы, обеспечивающие формирование и отвердение вяжущей части, т.е. микроструктуры конгломерата. На стадии макроструктурообразования особая роль принадлежит процессам взаимодействия по границам раздела структурных элементов с отвердением всей системы ИСК и с оформлением готового изделия. Структура такого изделия отныне становится единой, монолитной. В расчетных схемах ее нередко условно представляют как состоящую из микро- и макроструктурных частей.

Чтобы технологические переделы были эффективными, а качество продукции более высоким, обосновывают их оптимальные режимы и параметры на всех основных стадиях производства. Обычно их устанавливают опытным путем, хотя этот метод становится недостаточным при возрастании габаритов выпускаемой продукции. Поэтому вводят определенные расчетные модели, в которых имитируют состояние и поведение реальных конгломератных смесей. Основной реологической характеристикой в этих расчетах и исследованиях служит вязкость предельно разрушенной или полностью ненарушенной структуры, а также частично разрушенных структур. Вторая реологическая характеристика – предельное напряжение сдвига – позволяет описывать уравнением напряженное состояние смеси при оптимизации технологических режимов и параметров.

Спонтанно протекающим в технологическом процессе переделом является отвердение конгломератной системы, в первую очередь ее вяжущей части. Но отвердение, являясь комплексом сложных процессов, остается мало доступным для визуальных наблюдений. Поэтому разработана гипотетическая общая теория отвердения ИСК.

*Отвердевание –* сложный процесс перехода матричного вещества ИСК из жидкого или жидкообразного состояния в твердое. У безобжиговых конгломератов вяжущая часть обнаруживает первые признаки отвердевания еще на стадии ее перемешивания, когда возникают ассоциации молекул или химических соединений, которые сопутствуют структурообразованию на последующих этапах технологии. Лавинный характер нарастания симптомов начавшегося и развивающегося отвердевания характерен для этапа специальной обработки. У обжиговых конгломератов процесс отвердевания занимает, как правило, укороченный период времени по сравнению с безобжиговыми и проходит в основном при охлаждении изделий, отлитых или отформованных полностью или частично из расплава, а также спекаемых при обжиге. Но и здесь образование отдельных структурных элементов и химических соединений происходит еще на стадии расплавов с переходом их в отвердевший сплав.

Каждая разновидность неорганических и органических вяжущих веществ отвердевает под влиянием специфических факторов. Все вяжущие вещества отвердевают под влиянием ряда общих факторов, что придает процессу отвердевания закономерный характер, позволяет направленно управлять им и структурообразованием в целом. Сформировавшееся твердое тело характеризуется стабильностью структуры и фиксированным положением в нем частиц на достаточно малых друг от друга расстояниях.

В сложном процессе отвердевания вяжущих веществ, составляющих матричную часть структуры конгломератов, можно условно выделить две стадии, характеризуемые прямо противоположными изменениями в отвердевающей системе: диспергирование – на первой стадии, конденсацию и консолидацию – на второй. Теоретически вторая стадия во времени следует за первой, но практически нельзя провести четкой границы между ними, так как многие явления, характерные для второй стадии, нередко сопутствуют первой, и наоборот. Обе стадии в какой-то мере накладываются одна на другую, хотя и имеют ярко выраженные отличительные особенности.

Первая стадия процесса отвердевания отличается массовым переходом твердого или твердообразного вещества, входящего в компоненты матричной части ИСК, в состояние высокой дисперсности до размеров молекул, атомов, ионов или более крупных макромолекул, ассоциатов атомов, агрегатов и т.п. Такое диспергирование благоприятствует переводу частиц в системе в наименее устойчивое, метастабильное и в то же время в наиболее энергетически активное состояние. Эти условия способствуют свободному перемещению частиц с неизбежным тепловым движением их в окружающей среде, образованию при столкновениях под действием энергии активации ранее отсутствовавших соединений, ассоциаций и агрегатов, новых фаз и других микроструктурных элементов. Новообразования возникают нередко столь быстро, что они появляются и накапливаются в системе на первой стадии массового диспергирования.

Переход веществ в состояние высокой дисперсности в технологический период производства ИСК происходит под влиянием различных факторов: химических, механических, тепловых, физико-химических, электрических и др. Наиболее характерными для вяжущих веществ оказываются: растворение в жидкой среде, расплавление при высокой температуре, механическое измельчение. При всех методах перевод вещества в новое агрегатное состояние обычно сопровождается расходом энергии от внешнего источника и частичным ее поглощением возникающей новой дисперсной системой. Эта система становится более энергетически активной с возрастанием неуравновешенности ее состояния. Подобные высокодисперсные системы образуются в виде истинных и коллоидных растворов, суспензий или суспензоидов, гомогенных и гетерогенных расплавов, иногда – эмульсий и эмульсоидов, а также пен. Еще большее значение для первой стадии имеет не различие в агрегатном состоянии частиц, а характер и интенсивность взаимодействия их с молекулами дисперсионной среды.

Вторая стадия отвердевания является основной и характеризуется постепенным или ускоряющимся процессом перехода неуравновешенной системы в новое качественное состояние – твердый камневидный продукт с относительно стабильной и упорядоченной микроструктурой с частичным формированием кристаллической фазы. По мере упорядочения структуры с укрупнением микрочастиц до макроскопического размера уменьшается свободная энергия системы. При стабильном кристаллическом состоянии отвердевшего матричного вещества она становится минимальной, оставаясь более значительной в аморфном веществе. Но стремление системы к минимуму сохраняющейся в ней свободной энергии за счет перехода в кристаллическое состояние не всегда остается реализованным в технологических условиях.

Процессы, происходящие в основных высокодисперсных системах, на обеих стадиях отвердения имеют различия.

Система с полностью растворенным твердым веществом типа электролита.Эта система представляет собой молекулярно-дисперсные растворы, в которых частицы представлены атомами, ионами, молекулами растворенных или ассоциированных вяжущих веществ, к которым относятся соли и основания. Для истинных растворов наиболее типичным растворителем служит вода, в которой частицы растворенного вещества распределены равномерно и составляют одну фазу, т.е. образуется гомогенная система.

Растворимость твердых частиц в среде увеличивается с повышением температуры, а сам процесс растворения должен быть эндотермическим и сопровождаться поглощением энергии. В реальных условиях, однако, при переходе некоторых вяжущих веществ в истинный раствор часто наблюдается энергетический эффект, выражающийся, например, в повышении температуры раствора.

Это свидетельствует о том, что в системе происходят не только агрегатные превращения, но и химическое взаимодействие вяжущих веществ с растворителем. Повышение температуры вызывает увеличение беспорядочности теплового перемещения частиц раствора и способствует новому взаимодействию между самими диспергированными частицами, а также между последними и растворителем.

Возникают новые соединения и фазы, которые хотя и появляются на первой стадии отвердевания, но более типичны для второй. Образующиеся химические соединения и фазы характеризуются различными типами связи, что зависит от состава растворенного вещества и реагирующей с ним среды. Наиболее типичными для этих систем являются ионные и ковалентные связи с формированием при кристаллизации соответствующих кристаллических решеток.

Кристаллическая фаза формируется постепенно. Процесс ее образования начинается с появления микрозародышей как центров реакции и их развития с увеличением в размерах до выделения на более позднем этапе мельчайших кристалликов. На поверхности этих кристалликов, или зерен, как своеобразной подложке, возникают новые кристаллические образования того же или другого химического состава. Закономерное нарастание кристаллического вещества на подложке известно как проявление так называемой *эпитаксии.* Другой вариант формирования устойчивой микроструктуры – кристаллизация из перенасыщенных растворов. Выделению кристаллов предшествует стадия появления зародышей в виде упорядоченного скопления небольшого числа атомов и ассоциаций молекул, которые становятся центрами, из пересыщенных растворов.

При охлаждении жидких растворов образуются кристаллы, в узлах решеток которых располагаются попеременно частицы различных растворенных веществ. При сходстве кристаллических составляющих веществ частицы растворимы друг в друге в твердом состоянии. При неполном взаимном растворении веществ в твердом состоянии возникает неоднородный конгломерат из двух или большего количества твердых фаз.

Кроме кристаллической фазы могут образовываться твердые фазы с менее упорядоченным или вовсе неупорядоченным расположением микрочастиц. В них сохраняется избыточный запас свободной энергии и, следовательно, имеется тенденция к дальнейшему упорядочению микроструктуры при благоприятных к тому условиях.

Система типа коллоидных растворов.Эти растворы чаще называются *золями,* а при наличии водной среды – гидрозолями. Они состоят из частиц размерами до 2–10-7 м и представляют собой микрогетерогенные системы с огромной суммарной поверхностью частиц. Поверхность служит границей раздела с растворителем и обусловливает развитие внутри системы адсорбционных процессов. Характерным для коллоидных растворов является взаимодействие их частиц с молекулами жидкой среды. В процессе диспергирования вяжущего вещества до коллоидных размеров в жидкой среде возможна *коагуляция,* которая более типична для второй стадии отвердения. Она означает самопроизвольное укрупнение частиц в агрегаты, вследствие чего происходит некоторое наложение процессов первой стадии отвердения на процессы второй стадии, подобно тому, как это наблюдается в истинных растворах. Конденсация этих систем связана с постоянной тенденцией к снижению большого запаса свободной поверхностной энергии за счет агрегирования частиц в основном посредством молекулярных сил связи. Естественно, что процесс конденсации происходит самопроизвольно и сопровождается отдачей энергии. Побудителем к отвердению коллоидного раствора может быть снижение температуры, при которой появляется состояние перенасыщения раствора, возникают зародыши в виде аморфных микрочастиц. Они с большей или меньшей скоростью переходят в относительно упорядоченное положение. Рост частиц новой фазы сопровождается тем, что среда по отношению к ним становится перенасыщенной, вследствие чего возрастают скорость и интенсивность укрупнения частиц и структурирования всей системы.

Система типа суспензий.Относятся к более грубодисперсным взвесям, чем коллоидные растворы. В них твердая фаза – диспергированные частицы – остается в твердом состоянии в виде мелких кристаллов, а чаще – в виде обломков кристаллических и аморфных веществ, практически нерастворимых или труднорастворимых в жидкой среде. Концентрированные суспензии обычно называют пастами или тестом.

Твердая фаза суспензий может осаждаться в жидкой среде с тем большей скоростью, чем ниже концентрация суспензии, больше размеры частиц, ниже плотность и вязкость среды, выше температура. Явление осаждения твердой фазы известно под названием *седиментации,* которое может предотвращаться перемешиванием. Если твердые частицы представлены неоднородными агрегатами, то возможно их селективное растворение в среде с распадом агрегатов на составные мелкие части, которое сопровождается переходом их в молекулярно-дисперсное или коллоидное состояния с последующей электролитической диссоциацией молекул на ионы.

Под влиянием внешних факторов и в большей мере самопроизвольно лавинно развивается комплекс химических реакций с образованием новых соединений и фаз. Возникают кристаллические и аморфные вещества, которые в совокупности формируют отвердевший микроконгломерат. В нем обычно представлены различные новообразования в виде кристаллов и геля при их определенных соотношениях по массе. Последнее зависит от исходного вяжущего вещества, концентрации суспензии, внешних условий и др. Возможен переход некоторой части исходных твердых веществ в микроконгломерат как матрицу конгломерата без заметного изменения состава. Следует отметить, что типичными представителями веществ, отвердевающих по этой схеме, являются портландцемент и его разновидности.

Система расплавов.Расплавы представляют собой жидкости, получаемые при высокотемпературном нагревании силикатов, алюмосиликатов, фосфатов или иных исходных твердых веществ с переходом в другое агрегатное состояние либо полной их массы, либо только ее легкоплавкой части.

Нагревание и плавление сырьевых продуктов приводит к термической диссоциации молекулярных соединений, радикалов и других частиц на более простые. Они приобретают повышенную активность к последующему взаимодействию между собой с образованием новых соединений и фаз.

Важную роль играет вязкость расплава, зависимая от состава сырья и температуры. С понижением вязкости расплав теряет в возрастающей мере первоначальную упорядоченность структуры и вместе с тем в нем ускоряется перемещение микрочастиц. Расплав становится высокотемпературным вяжущим веществом; в нем повышается уровень свободной и поверхностной энергий.

При последующем понижении температуры в расплаве возникают более устойчивые соединения, из которых формируется кристаллическая фаза, массовое образование которой относится ко второй стадии отвердевания.

Кристаллизация охлаждающего расплава начинается при определенной температуре, соответствующей температуре плавления данного вещества и появлению наибольшего количества микрозародышей.

Из расплава в первую очередь выделяется избыточный компонент в виде новой кристаллической фазы. Его концентрация в расплаве при дальнейшем постепенном понижении температуры соответствует составу эвтектики. В эвтектических точках возможна одновременная кристаллизация двух-трех фаз и более. При этом сначала кристаллизуются вещества, содержащие ионы высокой валентности с малыми радиусами, обеспечивающими наиплотнейшую упаковку в кристаллических решетках.

При отвердении расплавов проявляется закон эвтектики: стремление к такой смеси, которая обеспечивается переходом расплава в твердый сплав при самой низкой температуре.

В расплавах, как и в растворах, может присутствовать газовая фаза как основной или побочный продукт химических реакций. Она может появиться также под влиянием порообразующих добавок, испарения и т.п. В этих случаях поры вяжущего вещества в большей или меньшей мере наполняются газом, что может сопровождаться новыми химическими реакциями с выделением новых фаз.

Система вяжущих контактного твердения.Включает в себя вяжущие аморфной и нестабильной кристаллической структуры, которые способны конденсироваться в момент возникновения контактов между частицами при сближении их на расстоянии поверхностных сил притяжения. Окаменение этих вяжущих не связано с химическими процессами и изменением объема твердой фазы. Обеспечение более прочных контактов между частицами вяжущего вещества достигается приложением внешнего давления. При малых давлениях полезно в системе присутствие очень малых количеств жидкой среды как своеобразной смазки. Самым важным для этой системы является получение вещества в кристаллическом или аморфном состоянии. Поэтому на первой стадии отвердевания производятся технологические операции, обеспечивающие образование неупорядоченной структуры. С этой целью в зависимости от вида исходного сырья применяют термическую обработку до удаления кристаллизационной воды и максимальной аморфизации вещества, глубокую гидратацию без образования кристаллической фазы и др. Отвердевание порошкообразного вяжущего происходит в момент возникновения прочных связей между частицами аморфного вещества и упорядочения структуры по границам контакта с переводом метастабильного состояния в устойчивое.

На второй стадии отвердевания матричного вещества во всех возможных системах, к которым относятся реальные вяжущие вещества в микро- и макроструктурных строительных конгломератах, процессы завершаются большим или меньшим упорядочением, снижением энтропии, переходом системы в относительно более устойчивое по возможности в кристаллизационное состояние. К завершающему этапу отвердевания количество жидкой среды в системе становится минимальным, а количество твердой фазы – максимальным, т.е. величина отношения с/ф постепенно уменьшается, приближаясь к некоторому оптимальному значению.

Существенно изменяются и их качественные характеристики. Часть жидкой среды из свободного состояния переходит в химически связанное, коллоидно-сольватированное, переохлажденное состояние, парогазообразную фазу и др. Некоторая часть оставшейся жидкости в свободном состоянии растворяет лиофильные ингредиенты смеси, становясь метастабильным раствором. Твердая фаза изменяет свой молекулярный состав и микроструктуру с переходом, как правило, к другим типам связи по сравнению с исходным твердым веществом. Она в различных системах может находиться в кристаллическом, кристаллитном, аморфном, стеклообразном или гелеобразном состояниях. Иногда возможно удаление некоторой части твердого вещества из системы за счет сублимации. Качественные и количественные изменения приводят к возрастанию концентрации твердой фазы, уменьшению средних расстояний между частицами, уплотнению и упрочению структуры, т.е. к консолидации твердеющего вещества.

Отвердевшие матричные вещества, т.е. перешедшие в камневидное состояние, например цементный камень, гипсовый камень, асфальтовое вяжущее вещество, наполненный полимер, цементы высоких температур – керамика, стекло, шлаки, каменное литье и т.п., занимают определенную часть структуры в соответствующих искусственных конгломератах, выполняя в них функцию цементирующей связки. Крупнозернистая или иного характера минеральная или органическая смесь, составляющая гораздо большую часть объема ИСК и выполняющая в нем функцию заполнителя, скрепляется, цементируется, образуя с вяжущей частью, как с матрицей, единый монолит. Небольшая доля вяжущего вещества непосредственно примыкает к поверхности крупных и мелких зерен заполнителя, образуя тонкий контактный слой, именуемый адсорбционно-сольватной оболочкой. Она обладает повышенной плотностью и твердостью по сравнению с остальной матричной частью. Контактный слой составляет в структуре ИСК непрерывную пространственную сетку вяжущего вещества, или матрицу конгломерата.

**2. Структура строительных материалов и изделий**

Под *структурой,* или внутренним строением строительных материалов, как и других физических тел, понимают пространственное расположение частиц разной степени дисперсности, находящихся в устойчивых взаимных связях с определенным порядком сцепления их между собой. В понятие структуры входят, кроме того, размер и расположение пор, капилляров, поверхностей раздела фаз, микротрещин и других элементов. В структуре ИСК имеются микродисперсная и макродисперсная части.

Под *микроструктурой* подразумевается расположение, взаимоотношение и взаимосвязь различных или одинаковых по размеру атомов, ионов и молекул, из совокупности которых слагаются вещества в определенных агрегатных состояниях. Сформировавшееся атомно-молекулярное строение, находящееся в относительно устойчивом равновесии, предопределяет макроскопические особенности материала. На макроскопическом уровне также устанавливается в той или иной мере устойчивое расположение, взаимосвязь и порядок сцепления макромолекул, их скоплений, кристаллов, кристаллических обломков и сростков, аморфных и других сравнительно крупных частиц и элементов, составляющих материалы, а также соотношения компонентов, фаз и поверхностей раздела более сложной материальной системы – конгломерата.

Основной формой расположения микрочастиц в пространстве является *кристаллическая решетка.* Каждому типу связи соответствует свой характерный тип кристаллической решетки, а именно: ионная решетка; молекулярная, или поляризационная решетка, формирующаяся с помощью ван-дер-ваальсовых сил; атомная с резко выраженной ковалентной связью; металлическая; решетка с водородными связями. Особенностью твердых тел является взаимозависимость, или корреляция, положений соседних атомов с ближним и дальним порядками. В кристаллических решетках дальний порядок распространяется на большие области, а ближний – на окружение данного атома. В реальных условиях у кристаллов обычно имеются отклонения от идеальной геометрической формы вследствие ряда побочных явлений в процессах отвердевания.

Твердые вещества, не обладающие кристаллической структурой, относятся к *аморфным.* Самый распространенный представитель аморфных тел – стекло. Беспорядочное расположение атомов и молекул в аморфных телах усложняет их структуру. О ней нередко судят по некоторым косвенным показателям. Так, например, аморфные вещества при нагревании в отличие от кристаллических способны плавиться постепенно, не имея определенной температуры плавления; они обладают изотропностью, т.е. одинаковыми свойствами во всех направлениях. Упорядоченность расположения частиц наблюдается только в небольших элементах объема. В этих зонах структура именуется как кристаллитная: между кристаллами, занимающими микрообъемы, находятся прослойки полностью аморфного вещества.

У кристаллических твердых тел имеются весьма значимые их признаки: *фиксированная температура плавления* – полного перехода в жидкое состояние; *определенная геометрическая форма кристаллов,* которая остается характерной для данного вещества; *анизотропия,* выраженная в неодинаковых свойствах по различным направлениям. Тепловой эффект кристаллизации – основной критерий этого фазового превращения.

Кристаллическое и аморфное строения могут быть присущи одному и тому же веществу, например, кристаллический кварц и кварцевое стекло имеют общий химический состав 8Ю2. Одно и то же кристаллическое вещество может находиться в различных формах существования кристаллов, что известно под названием *полиморфизма.* Полиморфизм вызывает изменение свойств при сохранении постоянным состава вещества, что лишний раз указывает на важнейшую роль структур в становлении качества материала. Так, например, алмаз и графит, являясь кристаллическими модификациями углерода, обладают различной твердостью: алмаз применяют при бурении прочных горных пород; графит – мягок, он используется как смазка или стержень карандаша

Структура не остается неизменной, застывшей. Она непрерывно претерпевает изменения в пространстве и во времени. Этому способствует, в частности, постоянное движение элементарных частиц, взаимодействие материала с окружающей средой, переход вещества из одного состояния в другое под влиянием перераспределения связей между атомами в молекулах, изменения в структуре молекул и других химических форм движения элементарных частиц. Относительная стабильность структуры и внешней формы макроскопических тел обусловлена определенными связями и отношениями структурных элементов, а формы изменений и переходов их состояний проявляются в неизбежных тепловых, тепломассообменных явлениях, процессах кристаллизации и т.п.

Микроструктура и ее изменение изучаются с помощью оптических методов, электронной микроскопии, дифференциально-термического анализа, рентгенографии и др. На основании сравнительно простого измерения, произведенного на плоскости наблюдения, расчетным путем устанавливается содержание основного ключевого элемента структуры в объеме материала.

В зависимости от характера связей контактируемых частиц однородные микроструктуры подразделяются на коагуляционные, конденсационные и кристаллизационные.

*Коагуляционными* называют структуры, в образовании которых участвуют сравнительно слабые силы молекулярного взаимодействия между частицами – вандерваальсовы силы сцепления, действующие через прослойки жидкой среды.

*Конденсационными* называют структуры, возникающие при непосредственном взаимодействии частиц или под влиянием химических соединений в соответствии с валентностью контактирующих атомов или под влиянием ионных и ковалентных связей.

*Кристаллизационными* называют структуры, образовавшиеся путем выкристаллизовывания твердой фазы из расплава или раствора и последующего прямого срастания отдельных кристаллов в прочный их агрегат, в том числе под влиянием химических связей.

Академик П.А. Ребиндер, разделивший микроструктуры на эти три разновидности, отмечал возможным, и даже более типичным, образование смешанных структур как совокупности двух или трех однородных, например кристаллизационно-коагуляционной структуры и т.п. При определенных условиях возможен самопроизвольный переход с различной скоростью коагуляционной структуры в конденсационно-кристаллизационную и т.п. С реальным характером микроструктур связаны в известной мере представления об их качественных характеристиках. Так, например, при коагуляционных структурах почти всегда наблюдается пониженная прочность вещества, способность к самостоятельному восстановлению структуры, разрушенной под влиянием механического воздействия, например вибрирования. Конденсационные и особенно кристаллизационные структуры придают веществу повышенную прочность, но вместе с тем усиливают его хрупкость, снижают тиксотропность. Некоторые модификации кристаллов одного вещества могут иметь низкую и очень высокую твердость и прочность.

Микроструктура в ИСК распространяется на вяжущую часть. Для придания вяжущему веществу необходимого качества вводят дополнительные активные компоненты – добавки. Размеры их частиц соизмеримы с размерами частиц исходных вяжущих веществ и возникающих новообразований, поэтому они являются элементом микроструктуры ИСК.

Иногда весьма значительный объем в микроструктуре занимают поры – замкнутые и сообщающиеся, или те и другие одновременно. Поры могут быть различного происхождения, что зависит от разновидности цементирующего вещества. Поры бывают мелкими, например до *2 –* 10-9 м, как правило, замкнутыми, возникшими в результате усадочных явлений; более крупными после, например, испарения капиллярной влаги с размером в поперечнике до 5–10-5 м, открытыми или сообщающимися между собой; еще более крупными, условно принимаемыми сферической формы, размером 5–10-6-5–10-3 м.

Число крупных пор зависит от того, как они возникли в вяжущем веществе: непроизвольно или преднамеренно. При непроизвольном вовлечении воздуха в период приготовления смесит их число обычно невелико от объема. Если они возникают под влиянием специально вводимых воздухововлекающих или порообразующих добавок, то в поризованном вяжущем веществе может сосредоточиваться до 50% и более по объему сферических пор, чаще всего замкнутых.

В микроструктурах могут встречаться другие виды неплотностей. Их относят обычно к дефектам микроструктуры, которые отрицательно влияют на качество материала. Среди них: дефекты кристаллической решетки в виде так называемых вакансий, вызванных «испарением» атома из узла решетки, или в виде дислоцированных атомов, т.е. перемещенных в междоузлии кристаллической решетки, или в виде примесей в кристаллической решетке со значительным искажением качества вещества по сравнению с чистыми и сверхчистыми веществами. Особо опасными являются дефекты *в* виде микротрещин, способных под нагрузками расти и переходить в макротрещину или магистральную трещину, схватывающую макрообъемы кристаллических агрегатом

«Укладка» микрочастиц происходит компактно по известному физико-химическому принципу наиболее плотной упаковки. Этот принцип характеризуется тем, что при укладке атомов, ионов или молекул в кристалле возникает наименьшее остаточное, свободное пространство. Однако такой принцип применим не ко всем видам кристаллов, так как при плотной упаковке может возникнуть меньшая устойчивость равновесия, которая зависит от направления валентностей контактируемых частиц.

Макроструктура ИСК различима невооруженным глазом. Она образована под влиянием цементирующей способности вяжущего вещества, благодаря чему полизернистые или иной формы частицы заполнителя – волокнистые, пластинчатые, угловатые, шарообразные – скрепляются между собой в общий монолит. В макроструктуре содержится также капиллярно-поровая часть, причем макродисперсные поры и капилляры в ячеистых бетонах в виде замкнутых ячеек, заполненных газовой или воздушной средой, являются как бы своеобразной разновидностью заполнителя. Подобно компактной упаковке дискретных частичек в микроструктуре вяжущих веществ смесь грубозернистых заполнителей подбирают с наименьшим объемом межзерновых пустот, что позволяет экономить на расходе связующих веществ как наиболее дорогостоящих компонентов и уменьшать усредненную толщину континуального слоя вяжущего вещества в конгломерате.

Если крупные частицы, например щебня и гравия, сближены в такой мере, что контактируют непосредственно друг с другом или через тонкие прослойки вяжущего вещества, то сформировавшаяся структура называется контактной. Если частицы разделены прослойками вяжущего вещества значительной усредненной толщины, то макроструктуру принято именовать *порфировой.*



В первом приближении оценить вид структуры можно по коэффициенту упаковки. Под коэффициентом упаковки *Ку* понимают величину, получаемую делением размера проекции расстояния между соседними крупными зернами на плоскость к их диаметрам:



где l – проекция расстояния между центрами соседних зерен; d – диаметр частиц, для которых вычисляется этот коэффициент, а если частицы имеют разный диаметр, то *d=r1+r2* где r1и r2 – радиусы соседних частиц.

Положительные значения коэффициента упаковки характеризуют порфировую структуру, а отрицательные – контактную структуру. При *Ку =* 0 наблюдается соприкосновение частиц друг с другом без зацепления, т.е. без захода их одна за другую.

При максимально плотной упаковке частицы шарообразной формы и одного диаметра занимают 74% от объема всего вещества; коэффициент упаковки равен 0,1. Увеличение количества частиц в конгломерате приводит к дальнейшему росту отрицательной величины коэффициента упаковки, т.е. к большему зацеплению или заходу щебенок друг за друга, что характеризует законтактную структуру. Однако на величину коэффициента упаковки влияет не только количество, но и размер крупнообломочных частиц. Чем крупнее зерна, тем меньшее количество щебня требуется для того, чтобы коэффициент упаковки оказался отрицательной величиной.

При оценке характера структуры вместо коэффициента упаковки можно пользоваться числовой величиной отношения объема заполняющей части к объему конгломерата. При отношениях, близких к единице, структура является контактно».

Кроме заполнителя в смесь нередко добавляется порошкообразный материал, частицы которого соизмеримы с размерами частиц используемого в ИСК вяжущего вещества и новообразованиями – кристаллическими, аморфными, кристад. литными и т.п. Их называют наполнителями.

Заполнители и наполнители могут быть активными, неактивными или малоактивными. К активным принадлежат те, которые при добавлении к вяжущему веществу повышают прочность ИСК оптимальной структуры хотя бы по одному виду напряжений – сжатию, растяжению, сдвигу и т.п.

Упрочнение вяжущего вещества при использовании активного заполнителя происходит под влиянием дополнительных физико-химических или химических взаимодействий контактируемых веществ или вследствие армирующего эффекта.

Единая и монолитная структура конгломерата может быть оптимальной и неоптимальной.

*Оптимальная* структура характеризуется:

• равномерным распределением по объему заполнителя, фаз, компонентов, пор и других составляющих ее элементов;

• отсутствием или минимальным содержанием дефектов как концентраторов напряжений или аккумуляторов агрессивной среды;

• наличием непрерывной пространственной сетки, или матрицы, из вяжущего вещества;

• минимальным значением отношения массы среды к массе твердой фазы, именуемого условно как фазовое отношение;

• наибольшей плотностью упаковки твердых частиц как в микро-, так и в макроструктурной частях. Если в материале отсутствуют вяжущие прослойки, то одним из условий оптимальности структуры служит наибольшая поверхность контактирования и взаимосвязи твердых частиц или ее уменьшение, если химические связи, например вандерваальсовы, не обеспечивают эффективного упрочнения контактов.

Не всегда изделие обладает одинаковой оптимальной структурой во всех своих деталях, например поверхностный слой может отличаться от его внутренней части. Однако оптимальная структура всегда является отражением принятых технологических особенностей формирования ее в производственных условиях.

*Неоптимальными* называют структуры, которые не удовлетворяют хотя бы одному из указанных обязательных условий оптимальности.

При одинаковой технологии изготовления смеси и изделия, других одинаковых условиях можно получить неограниченное количество неоптимальных структур, гораздо меньше – оптимальных и одну-две – рациональных. К последним относятся оптимальные структуры, при которых конгломерат в полной мере соответствует заданным и притом экстремальным показателям качества, а также реальным параметрам производства. При проектировании важно остановиться на составе, при котором структура, сформировавшаяся при данной технологии и принятых режимах, является не только оптимальной, но и рациональной.

В теории ИСК разработан и используется в практике общий метод проектирования оптимальных составов и оптимальных структур различных безобжиговых и обжиговых материалов. С его помощью получают из принятых компонентов материал, удовлетворяющий заданным техническим требованиям при оптимальной структуре, т.е. экстремальным показателям качества.

**Список литературы**

1. Материаловедение в строительстве: учеб. пособие для студ. М34 – М.: «Академия» 2007