

потока через горло капилляра, что способствует интенсификации процесса контактной конденсации. С другой стороны, происходит кольматация капилляров и возрастает ширина самой перемычки, что увеличивает её сопротивление деформации. Деформация матрицы перемычки в виде уменьшения её пористости под действием нагрузки также увеличивает её сопротивление. Со временем окончание продвижения жидкости через перемычку будет означать завершение процесса контактной конденсации в горле капилляра.

В связи с предложенной схемой формирования контактно-конденсационной перемычки нами разработана следующая классификация фазовых необратимых контактов между структурными элементами [2]:

а) классическая односторонняя, которая возникает при одностороннем движении потока из области истока в сток;

б) двухсторонняя с пробкой (жидкость, газовая фаза); в этой схеме сжимаемая фаза играет деструкционную роль в прочности контакта. Такая схема возникает в том случае, когда два соседних истока разделены капилляром-горлом и среды вязущего движутся навстречу друг другу;

в) двухсторонняя с центральной областью касания, которая возникает при встречном движении дисперсионных потоков, однако из центральной зоны газ и разупрочённый фильтрат уходят в более мелкие капилляры.

Моделирование гетерогенной среды через капиллярно-пористое тело достаточно проработано в трудах П.Г. Романкова, И.М. Федоткина, Ю.И. Капанова и др. Процесс движения двухфазной гетерогенной среды через капиллярно-пористое тело моделируется в общем виде совокупностью уравнений материального баланса по твердой фазе, нелинейного уравнения фильтрации, кинетики отложения твердой фазы в капиллярах. Зона капиллярно-пористой перемычки является основным элементом в процессе контактной конденсации, так как на её основе формируются элементарные силовые звенья, совокупность которых (в виде перколяционного кластера) и будет формировать силовой каркас сыра изделия. Предлагаемые подходы к моделированию позволят проследить влияние гидродинамических и силовых полей на ширину этой зоны, степень её пористости для различных частных случаев. Так, учет переменного давления позволяет выявить динамику развития капиллярно-пористой перемычки и оптимальное время для прессования. Рассмотренная выше модель должна быть дополнена краевыми условиями (без учёта кольматации конденсационной перемычки) [2]. Реализация модели позволит оценить динамику наращивания прочности единичного контакта.

*В рамках гранта, финансируемого Министерством образования и науки Самарской области в 2006 г., наименование НИР: "Моделирование механизма твердения нестабильного сили-*

*катного вяжущего на мезоуровне системы" (раздел - 364Т3.13 П).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Рахматулин Х.А. Основы гидродинамики взаимопроницаемых движений сжимаемых сред. // ПММ. – 1956. - №20. - С.185-191.
2. Сидоренко Ю.В. Моделирование процессов контактно-конденсационного твердения низкоосновных гидросиликатов кальция: Дисс. ... канд. техн. наук. - Самара, 2003. - 217 с.
3. Хавкин Л.М. Технология силикатного кирпича. – М.: Госстройиздат, 1982. – 384 с.
4. Урьев Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. – М.: Химия, 1980. - 320 с.
5. Урьев Н.Б. Физико-химические основы технологии дисперсных систем и материалов. - М.: Химия, 1988. -256 с.
6. Долгонос Б.М. Механическое истирание твердых частиц при столкновениях со стенкой в турбулентном потоке. // Коллоидный журнал.- 1991.- Т.53, №5. - С. 843-849.
7. Долгонос Б.М. Параметры равновесного спектра частиц в коагулирующей системе с распадом агрегатов. // Коллоидный журнал.- 2001.- Т. 63, № 1. - С. 39 – 42.
8. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред.– М.: Наука, 1987. - 360 с.
9. Николаевский В.Н. и др. Механика насыщенных пористых сред. – М.: Недра, 1970. - 339 с.
10. Марцулевич Н.А., Островский Г.М. Моделирование процесса фильтрования с образованием сжимаемого осадка. // ТОХТ.- 1999. - Т.33. - №2. - С.136 - 139.
11. Федоткин И.М., Воробьев Е.И., Вьюн В.И. Гидродинамическая теория фильтрования суспензий. – Киев: Вища школа, 1986. - 166 с.

Работа представлена на заочную электронную конференцию «Новые технологии, инновации, изобретения», 15-20 июля 2006 г.

#### МЕХАНИЗМ ФОРМИРОВАНИЯ ПЕРЕМЫЧКИ МЕЖДУ СТРУКТУРНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ НА МЕЗОУРОВНЕ СИЛИКАТНОЙ СИСТЕМЫ

Сидоренко Ю.В.

*Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Самара*

Межзёрновая область является наиболее напряжённым элементом в системе вяжущих, подвергающихся деформации (например, силикатные безавтоклавные изделия), так как в ней происходит передача усилий между структурным элементом соответствующего уровня и несущей дисперсионной средой. Роль внешних воздей-

вий сводится к структурированию и перекомпоновке этой области, усилению влияния поверхностных сил и связанных с ними нелинейных процессов и фазовых переходов. В применении к вязущим веществам межграничные области рассматривались в трудах Д.И. Штакельберга, М.М. Сычёва, В.И. Соломатова, И.А. Рыбьева, В.М. Ентова, Р.М. Мусина и других исследователей.

В основе представляемого нами механизма формирования контакта между частицами в межграничной области находятся явления разделения фаз с образованием необратимого осадка. Роль разделителя выполняет динамическая мембрана.

Теоретические основы образования динамических мембран в баромембранной технологии из дисперсных фаз суспензий рассматривались А.Б. Марцинковским, Ю.И. Дытнерским, С.С. Духиным, Г.А. Мартыновым, Н.В. Чураевым, С.И. Васиным, В.М. Старовым и В.В. Голубевым, В.А. Жужиковым, М.Т. Брык и Е.А. Цапюк, С. Coy, G.B. Tanny, H.K. Lonsdale, A.S. Michaels, M.W. Chudacek, A.G. Fane и другими исследователями.

Поляризационные явления на уровне обратного осмоса и ультрафильтрации приводят к образованию на фильтре-подложке динамической мембраны. В её основе - наличие двух слоёв: концентрационного и гелеобразного. Под действием перепада давления гелевый слой сжимается и теряет часть осмотической воды. Его сопротивление и селективность растут. Граница концентрационного и диффузного слоя соответствует точке гелеобразования.

В [1] рассматривается формирование динамической мембраны, состоящей из двух слоёв - подвижного и неподвижного. Приводится условие формирования неподвижного слоя, учитывающего наряду с гидродинамическими факторами и расклинивающую силу. Рост селективности динамической мембраны авторы [1] объясняют переупаковкой частиц, т.е. усилением роли плотного неподвижного слоя. Авторы полагают, что если в нижних слоях перепад давления превосходит расклинивающее давление, то образуется необратимый осадок.

В работе В.М. Старова и В.В. Голубева [2] рассматривается влияние гидродинамических факторов на формирование мембраны для режимов микро- и ультрафильтрации. В качестве предельного условия нахождения частицы на поверхности мембраны (с учётом поверхностных электростатических и ван-дер-ваальсовских сил) принято условие, что тангенциальная сила должна быть меньше прижимающей силы. В работе С.И. Васина и В.М. Старова рассматривается аналогичная задача при формировании мембраны с неньютоновскими реологическими свойствами в условиях подвижной твёрдой фазы. Переупаковка наблюдается и для слабо флокулирующих частиц. Особенности применения жидких мем-

бран в разделении веществ рассматриваются также Г.С. Дьяконовым [3].

М.Т. Брык и Е.А. Цапюк [4] отмечают, что формирование осадков из неорганических коллоидных гелей всегда сопровождается коагуляцией, гетерокоагуляцией и адагуляцией. На это же обратили внимание С.Т. Хванг и К. Каммермейер [5].

Исследуя фильтрацию неорганических коллоидов, М.Т. Брык и Е.А. Цапюк, R.J. Vaker, A.G. Fane, M.W. Chudacek отмечают, что увеличение перепада на мембране приводит к увеличению удельного сопротивления, что авторы связывают с коагуляционными процессами в мембране. По мнению Ю.И. Дытнерского и G.B. Tanny, динамические мембраны образуются и при режимах микрофильтрации с диаметрами пор до 5 мкм. Наметилась тенденция использовать промышленные отходы для формирования динамических мембран, так как они содержат высокодисперсную составляющую.

Впервые на существование уплотнённого и рыхлого слоёв для микрофильтрационных систем указывали Г.М. Знаменский и Ф.А. Редько, причём они отмечали, что толщина уплотнённого слоя возрастает, а рыхлого - остаётся постоянным. Это явление объясняют превышением давления над силами трения между частицами.

Образование необратимых осадков в баромембранных технологиях рассматривается как нежелательное явление, и высокодисперсные компоненты, образующие их, удаляются частично на предыдущих технологических операциях. В качестве мембранообразующих используются бентониты, глинистые дисперсии, гидроксиды многозарядных металлов, которые имеют низкую контактно-конденсационную способность и поэтому формируют обратимые мембраны. В теоретическом плане многие исследователи применяют аппарат гидромеханики двухфазных сред, рассматривая формирование идеальной мембраны, т.е. без учёта необратимой коагуляции.

Проведённый анализ данных актуален в плане обоснования механизма необратимой фазовой перемены между структурными элементами на модели мезоуровня рассматриваемой системы.

Возникновение между структурными элементами капиллярно-пористой силовой перемены из нестабильных гидросиликатов можно представить как последовательность следующих временных интервалов:

#### Индукционный период.

При выдавливании вязущего из объёмной поры в сужающийся капилляр продвижение потока должно удовлетворять следующему силовому условию:  $\tau(\varphi) > \tau_0(\varphi)$ .

С ростом объёмной концентрации частиц твёрдой фазы по длине канала увеличивается и предельное напряжение сдвигу  $t(j)$ . Одновре-

менно уменьшается радиус поперечного сечения, и при определённом давлении прессования происходит остановка переднего фронта движущейся вязкой массы. Усилению “затвердевания” потока способствует появление в некоторый момент электростатической компоненты расклинивающего давления, которая создаёт эффект “распора” и ещё более усиливает напряжения трения о стенки канала. Последний фактор обусловлен избыточным отрицательным электрокинетическим потенциалом гидросиликатов кальция и частиц кремнезёма в межзёрновой области. У фронта потока образуется первоначальная динамическая мембрана из твёрдой фазы, которая играет роль подложки - фильтра. Движущей силой процесса является фильтрат, сбрасываемый через поры в объёмную область стока.

#### Основной квазистатический период.

В процессе движения гетерогенной смеси на фильтре происходит её разделение на свободную жидкость (фильтрат) и твёрдую фазу, которая при конденсации образует необратимую перемычку. Увеличение перепада давления в межчастичной области компенсируется ростом сопротивления, и расход можно принять приближённо постоянным.

#### Заключительный период.

Увеличение сопротивления системы, как за счёт длины капиллярно-пористого тела, так и кольматации его пор, приводит к снижению движущей силы - расхода фильтрата, и в результате - к завершению контактно-конденсационных процессов в граничной области [6].

По длине канала, в зависимости от реологии, можно наметить несколько областей:

область сжимаемого осадка (в этой области поверхностные эффекты незначительны и поэтому ими можно пренебречь);

область фронта перколяции, где при достижении нестабильной фазой концентрации, равной критической, происходит структурный фазовый переход в виде образования бесконечного перколяционного кластера из сросшихся необратимо частиц; фронт перколяции перемещается навстречу набегающему потоку к объёмной области;

область капиллярно-пористого тела; через него в процессе фильтрации жидкости происходит кольматация капилляров остатками частиц, не вошедших во фронт перколяции.

В рассматриваемой схеме формирование перемычки связано с более плотной переупаковкой частиц в зоне осадка. Прилегающая к фронту перколяции область обладает сильной нелинейностью, что связано с действием поверхностных сил. Если перепада давления достаточно, то происходит преодоление расклинивающего давления и частица попадает в ближнюю потенциальную яму, где и происходит необратимая конденсация.

Таким образом, в межграничной области под действием гидродинамического перепада

осуществляется механический синерезис жидкости в объёмную область стока.

В зависимости от реологии вязущего (суспензия в режиме фильтр-прессование) мы допускаем и несколько иную картину образования перемычки: при выжимании суспензионного потока сжимаемый осадок будет состоять из двух областей: зоны подвижного и неподвижного осадков. В пристеночных областях будет особенно сильное изменение градиента скорости

$$\Gamma = \frac{\partial V_x}{\partial y},$$

что увеличит градиентную коагуляцию в виде налипающего на стенки осадка и приведёт к сужению капилляра транспортного типа. Вязущая среда, проходя между частицами, осуществляет силовое воздействие и раздвигает их. При этом интенсивность эпюры силовых воздействий на частицу по длине капилляра будет переменной [7]. Вязущее, находящееся ближе к вертикальной оси симметрии, будет подвергаться большим деформациям, чем располагающееся ближе к объёмной фазе, пористость также будет убывать. Объёмное содержание твёрдой нестабильной фазы  $\bullet^*_t$  начинает увеличиваться, пока не достигнет порога перколяции  $\bullet^*_t$ . Для системы случайно упакованных сфер, согласно данным G.D. Scott, J.D. Bernal, J. Mason, критическая концентрация срастания  $\bullet^*_t = 0,64$ . Размер зоны сросшихся частиц по продольной координате будет характеризовать степень проведения контактной конденсации. Процесс перехода частицы из области дальнего энергетического минимума в область ПКС II связан с возникновением неустойчивости и увеличения степени чувствительности системы.

Уоллис при анализе уравнений неразрывности и движения в процессе осаждения твёрдой фазы приходит к выводу, что значительное изменение концентрации твёрдой фазы ведёт к потере устойчивости течения. Дополняя эти сведения, И.М. Федоткин [8, 9] уточняет, что данный процесс зависит от соотношения скоростей статической и динамической волн.

Рассматривая процесс формирования необратимого контакта с точки зрения аналогизации фазовых переходов (кристаллизации, адсорбции, полимеризации и т.д.), необходимо отметить, что принцип “узкой” зоны часто используется на практике (так, Я.Б. Зельдович и Д.А. Франк-Каменецкий применяют его для анализа фронта пламени в газе, Б.В. Новожилов – для горения ракетного топлива). При этом считают, что химические превращения происходят при наибольшей температуре, полагая, что ширина зоны стремится к нулю, т.е. заменяют реальный профиль температурной кривой разрывной функцией. Ряд процессов полимеризации сопровождается диффузионными процессами и отверждением тонких слоёв. Процесс контактной конденсации является не термодинамическим переходом,

а структурным, топологическим. Ему соответствует скачок вязкости / модуля упругости, теплопроводности в связи с переходом от дискретной совокупности к связанной. Таким образом, рассматривается процесс создания контактно-конденсационной перемычки как уплотняющееся движение многофазной среды по длинному сужающемуся каналу.

Объёмная область и область входа в капилляр характерны явлениями разупрочнения как на межагрегатном, так и внутриагрегатном уровнях, что связано с поступлением свободной воды в область из мелких капилляров при их деформации. Поступающая свободная жидкость оказывает различное действие на агрегат:

на первоначальном этапе возникает химический градиент давления между дисперсионной средой внутри кластерных частиц и внешней средой, что приводит к оттоку жидкости из кластера и сближению его частиц;

позднее кластер будет пронизываться свободной жидкостью, что приведёт к возникновению гидродинамической составляющей, стремящейся раздвинуть частицы кластера.

Знак суммарной расклинивающей компоненты для области дальней энергетической ямы будет определяться тремя составляющими - молекулярной, ионно-электростатической и гидродинамической.

Гетерогенный поток, проходя ряд последовательных зон, под действием силовых деформаций претерпевает существенные реологические изменения, которые имеют как эволюционирующий, так и пороговый характер. Поэтому оправдано применение подхода, когда процесс расчленяется на элементарные области и моделируется каждая из них в отдельности со стыковкой граничных условий по каждой из зон.

*В рамках гранта, финансируемого Министерством образования и науки Самарской области в 2006 г., наименование НИР: "Моделирование механизма твердения нестабильного силкатного вяжущего на мезоуровне системы" (раздел - 364ТЗ.13 П).*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Духин С.С., Рулев Н.Н., Димитров Д.С. Коагуляция и динамика тонких пленок.- Киев: Наук. думка, 1986. - 229 с.
2. Старов В.М., Голубев В.В. Формирование динамической мембраны в условиях тангенциального потока // Коллоидный журнал.- 1995.- Т.57, №6. - С.857-861.
3. Дьяконов Г.С. Физико-химические основы применения жидких мембран в процессах разделения веществ: Дис. ... д-ра хим. наук: - Казань, 1994. - 399 с.
4. Брык М.Т., Цапюк Е.А. Ультрафильтрация. – Киев: Наукова Думка, 1989. – 292 с.

5. Хванг С.Т., Каммермейер К. Мембранные процессы разделения.- М.: Химия, 1981.- 463 с.

6. Сидоренко Ю.В. Моделирование процессов контактно-конденсационного твердения низкоосновных гидросиликатов кальция: Дис. ... канд. техн. наук. - Самара, 2003. - 217 с.

7. Коднир Д.С. Контактная гидродинамика смазки деталей машин. – М.: Машиностроение, 1976. - 304 с.

8. Федоткин И.М. Интенсификация технологических процессов. – Киев: Вища школа, 1979. - 342 с.

9. Федоткин И.М., Воробьев Е.И., Вьюн В.И. Гидродинамическая теория фильтрования суспензий. – Киев: Вища школа, 1986. - 166 с.

Работа представлена на заочную электронную конференцию «Новые технологии, инновации, изобретения», 15-20 июля 2006 г.

#### О МЕТОДАХ, УЛУЧШАЮЩИХ УСТОЙЧИВОСТЬ И СТРУКТУРУ "ЛЕГКИХ" ПЕНОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ

Сидоренко Ю.В., Стрелкин Е.В.

*Самарский государственный архитектурно-строительный университет, Самара*

Как было отмечено ранее [1-4], в индукционном периоде подготовки "легкой" пенобетонной смеси она представляет собой 3-х фазную гетерогенную систему взаимодействующих континуумов – газового, жидкого и твердого. При плотности менее 500 кг/м<sup>3</sup> в процессе подготовки смеси система может терять устойчивость, т.е. расслаиваться на отдельные фазы. Причина заключается в наличии свободной жидкости (воды), которая выполняет важную роль в технологическом процессе. Под действием гравитационного синерезиса [5] свободная вода стекает по стохастической системе капилляров. Чем больше стеkanie, тем система быстрее расслаивается.

В процессе движения свободной воды перемычки между газовыми порами теряют прочность, и происходит объединение пузырей, как на принципах коалесценции, так и ковалуции. Имеющиеся мелкие твердые частицы не в состоянии связать всю жидкую фазу, т.к. количество пустот между ними будет ограничено. При уходе воды из перемычки за счет явлений экстракции микрокластеры начнут уплотняться и ослаблять воздушные поры.

В технологии легких пенобетонов предложено немало методов стабилизации структуры – применение пластификаторов, введение армирующих элементов, предварительная гидратация цемента; наиболее эффективным и простым способом является применение микронаполнителей и уменьшение дисперсности твердой фазы, что приводит к повышению упруго-вязких свойств межпоровой перегородки [6, 7, 8 и др.].