

Сланевский С. И. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры)

Исследован механизм твердения кремнебетона. Установлено оптимальное соотношения между размерами частиц высококремнезёмистого щелочного стекла и молотого песка.

Установлено [1], что для обеспечения качественной цементации кремнезёмного вяжущего, крупность частиц молотого песка должна быть меньше частиц стекла в 40-60 раз. Отклонения от этого соотношения в ту или другую сторону приводят к изменению характера структуры кремнезёмного камня, выражающуюся в изменении количества и прочности связей между отдельными элементарными частицами молотого песка.

Для пояснения механизма структурообразования кремнезёмного камня при различном соотношении между крупностью частиц молотого песка и стекла на рис. 1 приведены соответствующие схемы структур исходной кремнезёмной смеси и образованного из неё кремнезёмного камня. При этом условно рассматривается однородная и максимально плотная гексагональная исходная упаковка частиц молотого песка и стекла (рис. 2), постоянная рецептура кремнезёмной смеси и, следовательно, равная суммарная пористость кремнезёмного камня.

При соотношении между крупностью частиц стекла и затравки 1:1 на стадии приготовления вяжущей смеси происходит раздвижка частиц молотого песка 1 частицами стекла 2. В результате раздвижки расстояние между частицами песка значительна и составляет 0,63 диаметра частиц. В процессе автоклавной обработки частицы стекла растворяются в воде, образуя гидросиликат натрия.

По достижению раствором насыщенного состояния растворённый кремнезём кристаллизуется на частицах молотого песка, как на затравке, образуя кристаллические кварцевые оболочки 4. Этот процесс продолжается до полного растворения частиц стекла, в результате чего образуются кварцевые сростки между отдельными близлежащими частицами молотого песка, формирующие структуру кремнезёмного камня.

Вода 3, окружающая частицы молотого песка, в процессе структурообразования постепенно оттесняется в поровое

пространство, образованное растворяющимися частицами стекла, и при понижении давления в автоклаве испаряется, оставляя поры 5, повторяющие первоначальную угловатую форму зёрен стекла.

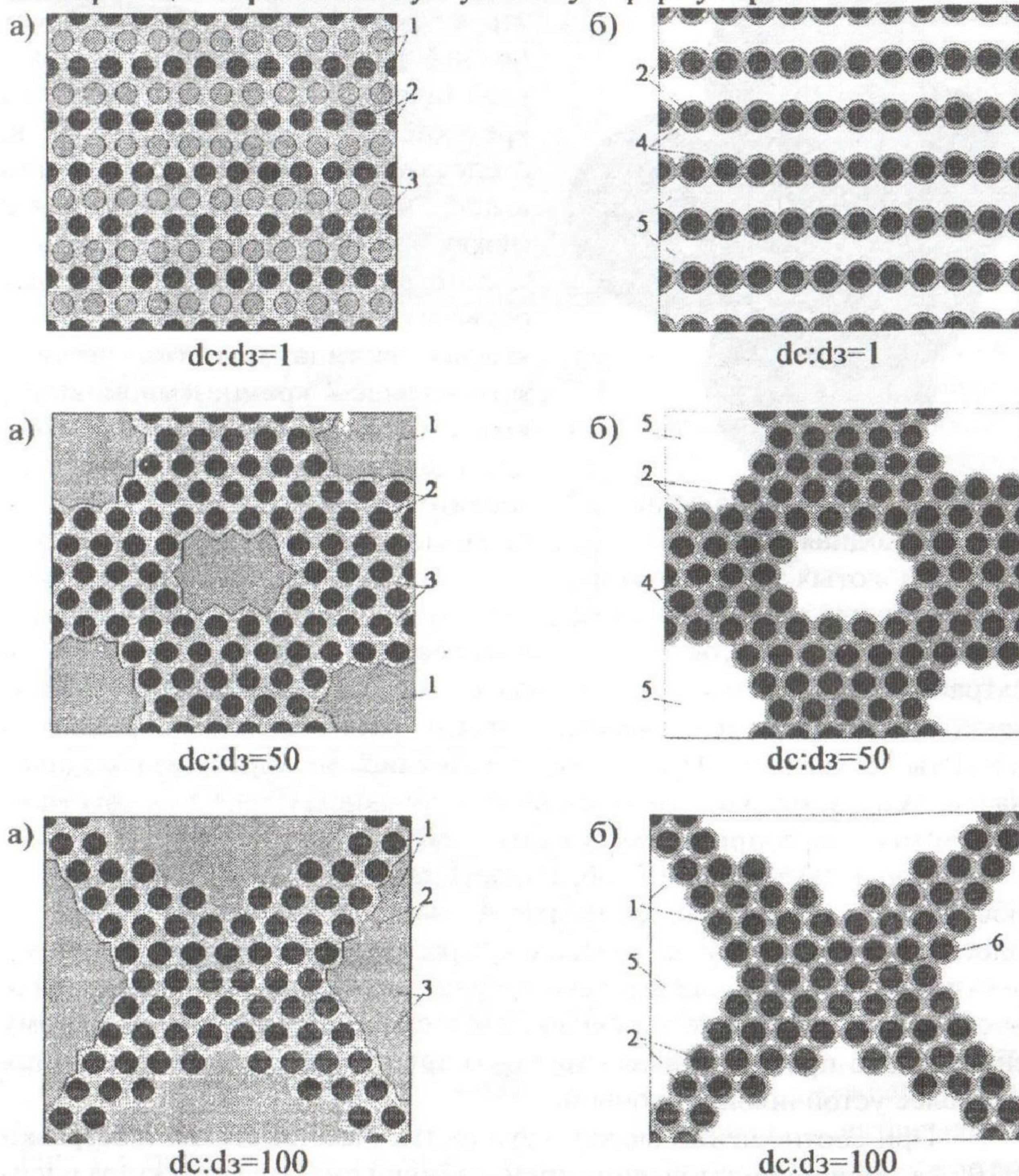


Рис. 1. Характер структур исходной кремнезёмной смеси (а) и затвердевшего кремнезёмного камня (б) при различном соотношении между крупностью частиц стекла и затравки ($d_c : d_3$): 1 – стекло; 2 – затравка; 3 – межзерновое пространство, заполненное водой; 4 – гидросиликатные оболочки, образовавшиеся в результате растворения стекла; 5 – пористость, образовавшаяся в результате растворения стекла; 6 – зона несвязанных частиц затравки.

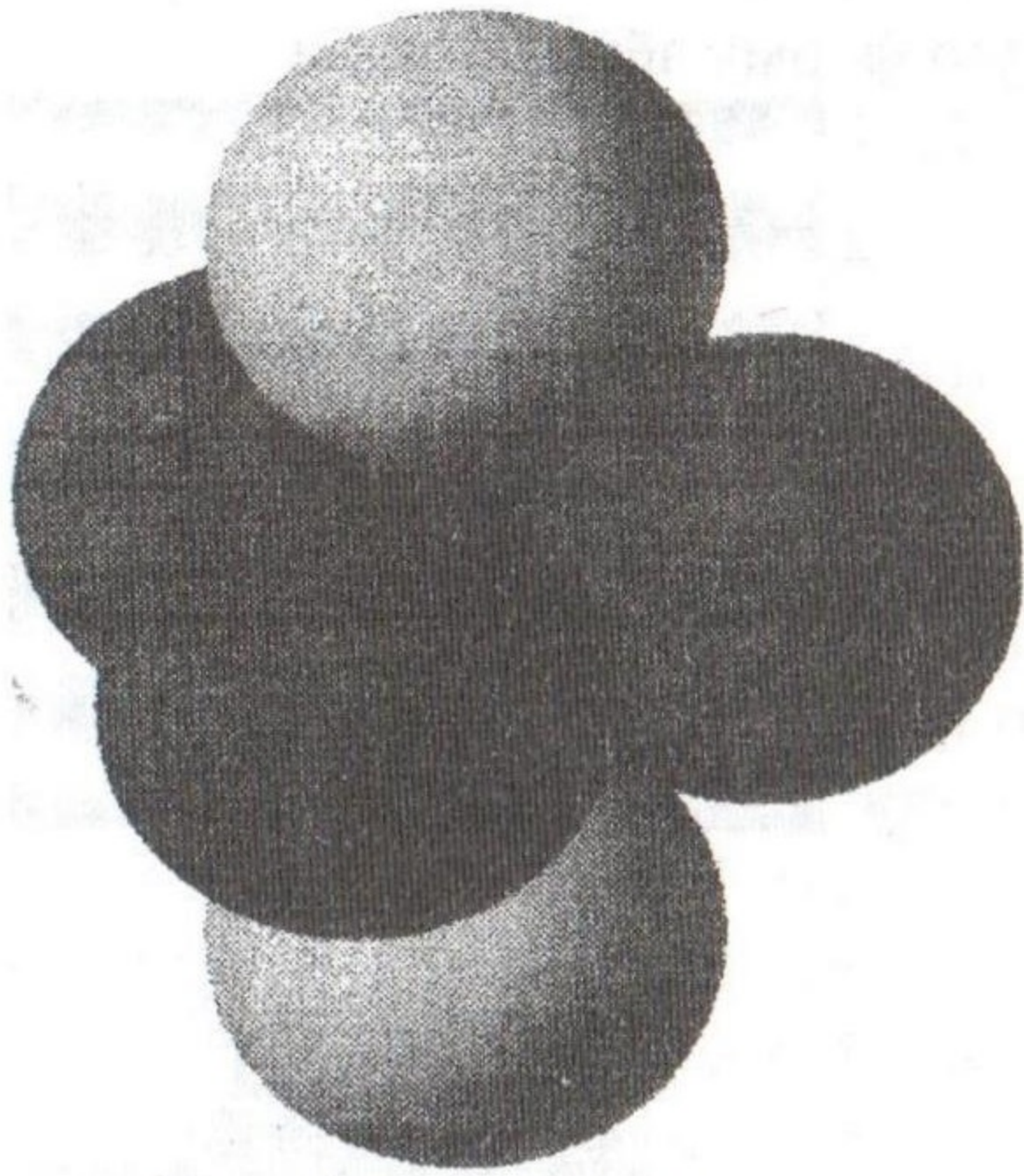


Рис. 2. Гексагональная исходная упаковка тонкомолотых зёрен песка и стекла: светлые шары – стекло; тёмные – песок

затравки 1:50 в процессе приготовления кремнезёмной смеси частицы молотого песка 1 укладываются отдельными массивами, раздвигая частицы стекла 2. При этом расстояние между близлежащими частицами затравки, минимально возможное, так как частицы молотого песка соприкасаются между собой.

После автоклавной обработки каждая частица затравки 2 посредством кварцевых оболочек 4 имеет в объёме 12 связей (в плоскости видны 6) и, поскольку расстояние между соседними частицами затравки значительно меньше, чем в первом случае, связи носят в этом случае не точечный, а плоскостной характер и поэтому значительно прочнее. Такая структура кремнезёмного камня является наиболее устойчивой и прочной.

При соотношении между крупностью частиц стекла и затравки 1:100 на стадии приготовления кремнезёмной смеси её структура идентична со структурой, рассмотренной выше, и отличается только размером частиц стекла и, следовательно, объёмом пространства, заключённого между ними. С увеличением крупности частиц стекла межзерновой объём, заполненный смесью молотого песка 2 с водой 3, пропорционально возрастает, что приводит к неравномерной его цементации и образованию в центре зон слабосвязанных и несвязанных частиц затравки 6.

При данном механизме структурообразования при всех прочих равных условиях, физико-механические свойства кремнезёмного камня и, следовательно, бетона, будут тем выше, чем прочнее будут связи между отдельными частицами молотого песка. При одинаковых размерах частиц стекла и песка каждая частица молотого песка в затвердевшем кремнезёмном камне имеет в объёме 6 связей (в плоскости видны 4), причём вследствие значительной раздвижки, связи не прочные, носят точечный характер.

В отличие от рассмотренной структуры, при соотношении между крупностью частиц стекла и

затравки 1:50 в процессе приготовления кремнезёмной смеси частицы молотого песка 1 укладываются отдельными массивами, раздвигая частицы стекла 2. При этом расстояние между близлежащими частицами затравки, минимально возможное, так как частицы молотого песка соприкасаются между собой.

После автоклавной обработки каждая частица затравки 2 посредством кварцевых оболочек 4 имеет в объёме 12 связей (в плоскости видны 6) и, поскольку расстояние между соседними частицами затравки значительно меньше, чем в первом случае, связи носят в этом случае не точечный, а плоскостной характер и поэтому значительно прочнее. Такая структура кремнезёмного камня является наиболее устойчивой и прочной.

При соотношении между крупностью частиц стекла и затравки 1:100 на стадии приготовления кремнезёмной смеси её структура идентична со структурой, рассмотренной выше, и отличается только размером частиц стекла и, следовательно, объёмом пространства, заключённого между ними. С увеличением крупности частиц стекла межзерновой объём, заполненный смесью молотого песка 2 с водой 3, пропорционально возрастает, что приводит к неравномерной его цементации и образованию в центре зон слабосвязанных и несвязанных частиц затравки 6.

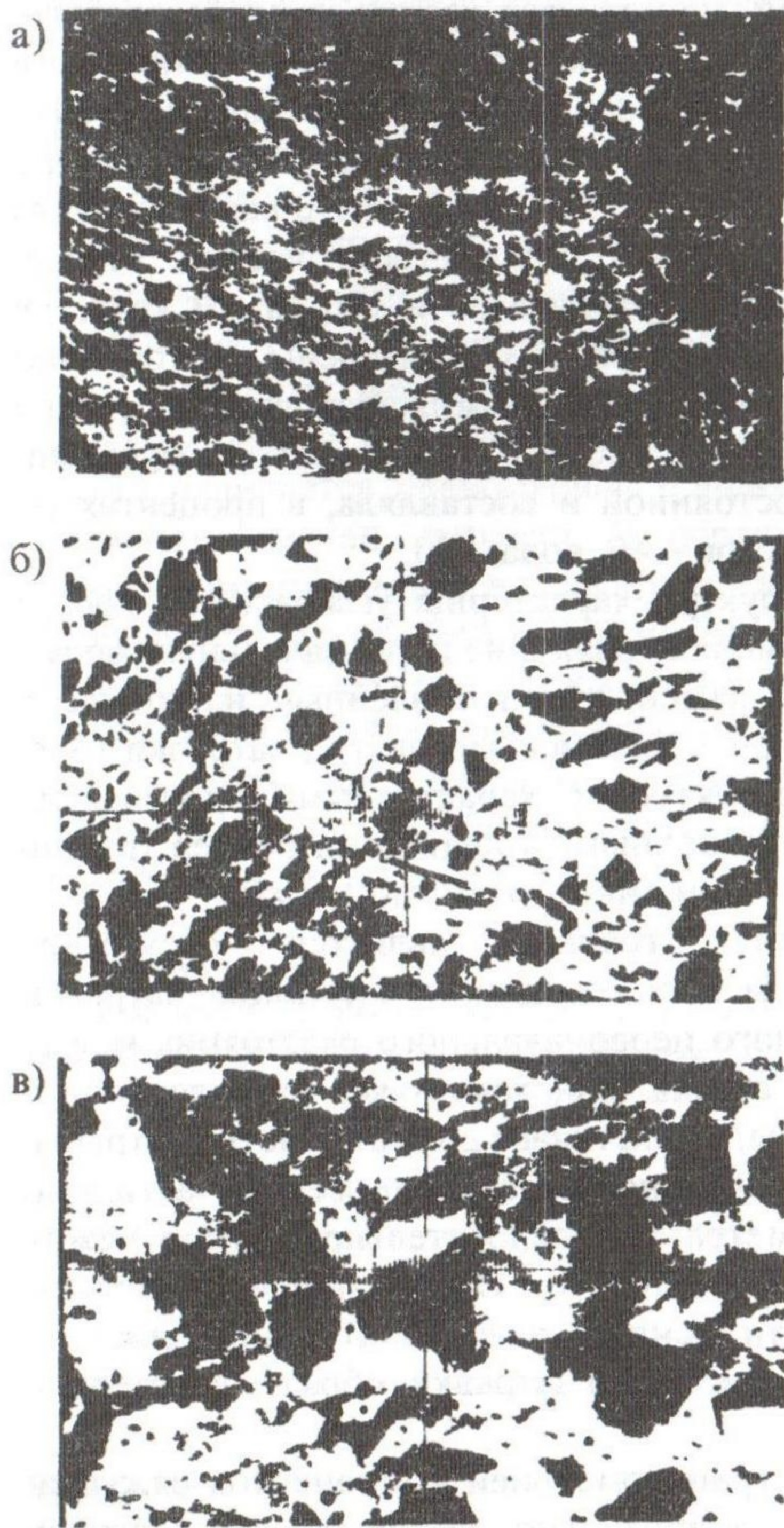


Рис. 3. Структура кремнезёмного камня при различном соотношении между крупностью частиц стекла и затравки ($d_c:d_z$). при $d_c:d_z$: а – 1: б – 50: в – 100. $\times 10$

является недостаточно связанной и, следовательно, недостаточно плотной и прочной и по сравнению со структурой, рассмотренной выше, обладает сравнительно низкими прочностными свойствами.

Причиной этого является то, что в процессе автоклавной обработки растворившийся кремнезём, диффундируя, кристаллизуется в первую очередь на близлежащих частицах молотого песка. Последние, увеличиваясь в объёме, срастаются, что, с одной стороны, структурирует кремнезёмный камень, а с другой – кальмативует ещё не до конца растворившиеся частицы стекла. Это приводит вначале к замедлению, а затем и к полному приостановлению диффузионного процесса и, следовательно, приостановлению структурообразования кремнезёмного камня.

Такая структура кремнезёмного камня характерна и для кремнебетона с пониженным расходом стекла и с сокращённым временем автоклавной обработки. Она также как и структура, образующаяся при соразмерных частицах стекла и затравки,

Таким образом, изменяя содержание пылевидных фракций стекла, мы изменяем средний диаметр его частиц и, следовательно, изменяем характер структуры кремнезёмного камня. С понижением содержания пылевидных фракций средний диаметр частиц стекла повышается, а с повышением - понижается, соответственно приближаясь к структурам, изображенным на рис. 1 с соразмерными частицами стекла и затравки и с диаметром частиц стекла, превышающим диаметр частиц затравки в 50 и 100 раз. В качестве документальной иллюстрации на рис. 3 приведены фотографии соответствующих структур кремнезёмного камня. Исходная рецептура кремнезёмных смесей, также как и время изотермической выдержки, равное 12 часам, принята постоянной и составляла, в процентах по массе: стекло – 40, молотый песок – 40, вода – 20.

Для приведенных структур характерны угловатые микро- и макропоры, по размеру и форме повторяющие первоначальную форму зёрен стекла. Кремнезёмный камень, приготовленный на стекле с крупностью зёрен, соразмерной с крупностью частиц затравки (рис. 3а), имеет мелкопористую структуру с характерными произвольно ориентированными в объёме усадочными трещинами. Размер трещин по длине от 1-2 до 10-15 мм и по ширине – от 0,1 до 1,5 мм.

Причиной появления трещин является отсутствие непосредственного контакта между соседними частицами затравки вследствие достаточно большого первоначального расстояния между ними. Растворившееся зерно стекла, кристаллизуясь на поверхности частицы затравки в виде кварца, увеличивает диаметр частиц затравки в 1,25 раза. А так как первоначальное расстояние между частицами затравки составляло 0,63 диаметра, то, следовательно, контакт между соседними частицами затравки отсутствует. Освободившиеся частицы под воздействием силы тяжести и сил межчастичного взаимодействия устремляются к близлежащим частицам затравки, образуя кластеры и поверхности раздела.

Кремнебетон с такой гранулометрией компонентов вяжущей смеси по своим свойствам значительно уступает кремнебетону оптимального состава и характеризуется следующими показателями: прочность при сжатии – 5-10 МПа; водостойкость – 20-25 %; водопоглощение – 10-15 %.

Неоптимальной является также и крупнопористая структура, характерная для кремнебетона на кремнезёмном вяжущем с зёрнами стекла, превышающими по диаметру частицы затравки в 100 и более раз (рис. 3в). Поры такой структуры, образовавшиеся в результате растворения стекла, с внутренней стороны окаймлены оболочкой

неосвоенного высокомолекулярного гидросиликата натрия – продукта взаимодействия стекла с водой, что является причиной наличия в межпоровом пространстве зон слабосвязанных и несвязанных частиц затравки и свидетельствует о недостаточной связанности структуры. Кремнебетон с такой крупностью стекла по своим свойствам также уступает кремнебетону оптимального состава. Он обладает прочностью при сжатии 50-60 МПа, водостойкостью 40-50 % и характеризуется водопоглощением 6-8 %.

Структура кремнезёмного камня, характерная для стекла с крупностью зёрен, превышающей крупность частиц затравки в 50 раз (рис.3б) отличается равномерной цементацией и высокой степенью связанности частиц затравки. В порах такой структуры остатков неосвоенного стекла, как в виде зёрен, так и в виде гидросиликата, не наблюдается. Кремнебетон такой структуры обладает высокими строительно-техническими свойствами. Прочность при сжатии составляет 100-130 МПа, водостойкость – 80-90%, водопоглощение – 2-3%. Рецептура кремнебетона с крупностью частиц стекла, превышающей крупность частиц затравки в 40-60 раз, по прочностным показателям может быть признана оптимальной.

Литература

1. Химически стойкий кремнебетон на дисперсном вяжущем /В. П. Кирилишин, Э. Н. Репьёв, С. И. Сланевский, В. И. Мартынов. Инф. листок Одесского МТЦНТИ, № 86-031, 1986. - 3 с.