

Г. Д. ДИБРОВ, М. С. ОСТРИКОВ, О. Я. ПЕЧИКИЦ, В. Н. МИРСОЯНОВ

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДАВЛЕНИЯ НАБУХАНИЯ
В ДИСПЕРСНЫХ СТРУКТУРАХ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ**

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 3 VI 1969)

Классические представления о процессе набухания (1) и механизме развития давления набухания справедливы для блочных полимеров, полученных, например, из расплавов. Однако существует много иных капиллярно-пористых систем, поведение которых при набухании свидетельствует о недостаточности осмотического фактора для объяснения всего послесольватационного этапа набухания. К ним относятся ксерогели полимеров, структуры которых возникли в жидкой среде из растворов не очень высоких концентраций и затем при высыхании сжимались силами капиллярной



Рис. 1. Давление набухания (B) и водопоглощение (A) цементного камня: 1 — В/Ц = 0,3; 4 — В/Ц = 0,5 — паренные; 2 — В/Ц = 0,3; 5 — В/Ц = 0,5 — нормального твердения в течение 28 суток; 3 — В/Ц = 0,3; 6 — В/Ц = 0,5 — нормального твердения в течение 7 суток

контракции (2) нередко до криптогетерогенного внешнего гомогенного состояния (3). Накопившиеся при этом механические напряжения, фиксированные вторичными когезионными и адгезионными связями в структуре и поэтому практически лишённые возможности релаксации, в отсутствие влаги могут сохраняться весьма длительное время в виде запаса упругой энергии (желатина, древесина, малоацетилалированный поливинилформаль, агар-агар и др.). В процессе увлажнения таких структур подвижность их элементов возрастает, структура под действием упругих напряжений расширяется, всасывая жидкую среду до максимума набухания, т. е. до первоначального напряжённого состояния.

Подтверждением рассмотренной роли напряжений в структуре в процессе набухания является обнаруженный нами эффект значительного снижения набухания желатины после мгновенной обработки ее сухих образцов кипящей водой. Причина такого

влияния заключается именно в том, что в присутствии успевшей проникнуть влаги, часть наибольших напряжений в наружных слоях образцов термически релаксировала и тем самым была устранена часть сил, вызывавших всасывание воды. Нагревание же абсолютно сухой желатины даже в течение 1—2 час. не вызывает снижения набухания и не снимает напряжений в структуре.

С другой стороны, неорганические системы с весьма жесткими и прочными структурами, как силикагели (4), пористые стекла (5), природные минералы и горные породы также способны набухать — увеличиваться

в объеме при увлажнении. Например, относительные линейные деформации при колебаниях влажности таких систем по Шуману (6) выражаются следующими цифрами: песчаник 0,06—2,0; базальт 0,23—0,5; гранит 0,06—0,15 мм/м.

Эти деформации, хотя они и очень малы, должны подчиняться общим законам, охватывающим различные по составу, строению и механическим

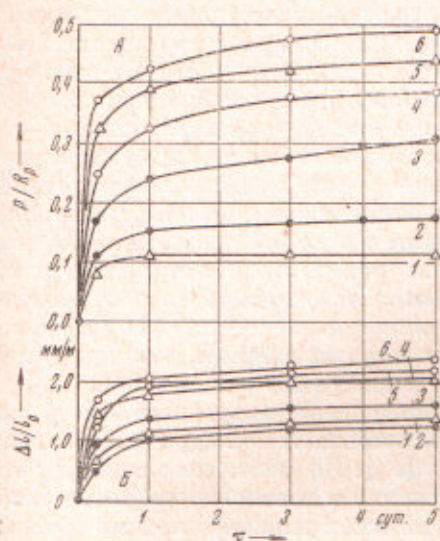


Рис. 2

Рис. 2. Кинетика набухания (А) и линейного расширения (Б) цементного камня. Обозначения те же, что на рис. 1

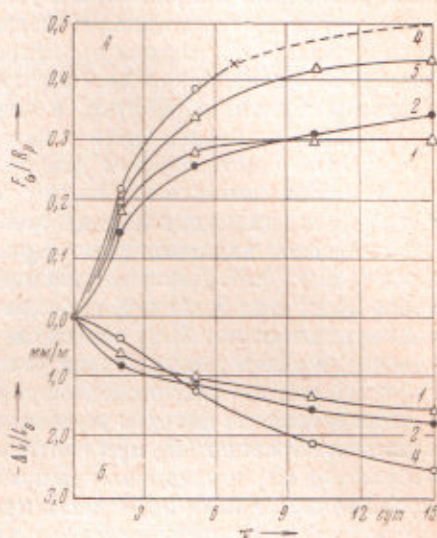


Рис. 3

Рис. 3. Кинетика развития усадочных напряжений (А) и усадки (Б) цементного камня. Обозначения те же, что на рис. 1

свойствам структуры и определяющим только количественную сторону явлений. В массивных сооружениях при колебаниях влажности эти деформации могут оказывать существенное влияние на распределение напряжений в несущих конструкциях. Весьма интересные экспериментальные результаты в этой области получены при исследовании сорбции паров воды в гидросиликатах кальция (7).

В данной работе с помощью динамометрического контрактометра и с приставкой-реверсом к нему (8) исследована кинетика развития давления набухания в образцах цементного камня с В/Ц = 0,3 и 0,5 (рис. 1, Б) и кинетика водопоглощения (рис. 1, А), а также кинетика линейного расширения при набухании (рис. 2, Б). Кроме того, прослежено развитие усадочных напряжений и усадочных деформаций при высыхании.

Образцы портландцементного камня размерами 2 × 2 × 12 см и 2 × 2 × 2 см готовились в трех сериях: а) подвергались гидротермальной обработке, б) выдерживались под водой для твердения в течение 7 суток, в) твердели под водой 28 суток. Перед испытанием все образцы обезвоживались спиртом (1 сутки), выдерживались в эфире (2 часа) и сушились в термостате при 60° до постоянного веса.

Очевидно, что для песчаника, гранита, базальта, как и для других подобных материалов, характерно полное отсутствие осмотического фактора в механизме набухания и главная роль здесь принадлежит механическим свойствам структур в капиллярных процессах при колебаниях влажности. Этого нельзя сказать о цементном камне. Однако приведенные на рис. 1 экспериментальные результаты свидетельствуют о том, что и здесь в цементном камне в условиях значительного давления набухания при линейном

расширении образцов только по продольным осям обнаруживается высокая прочность основного скелета — кристаллического сростка. Иначе, т. е. в случае преобладания пластичности структуры, давление набухания в направлении продольной оси не могло бы обнаруживаться при отсутствии ограничения в поперечных направлениях.

Данные рис. 1—3 подтверждают, что гидротермальная обработка снижает усадочные напряжения и усадку. С этим хорошо согласуются впервые полученные количественные данные о давлении набухания цементного камня (рис. 1, *Б*). В этом проявляется прежде всего развитие кристаллизационных высокодисперсных жестких структур, быстро образующихся при гидротермальной обработке, и определяющих действие сил капиллярной контракции при высыхании и давление набухания — при увлажнении.

Участие осмотического давления в развитии давления набухания при увлажнении цементного камня, очевидно, определяется концентрацией гидроокиси кальция, как наиболее растворимой составляющей (0,02 мол/л). Осмотическое давление такого раствора не могло бы превысить 1,35 или даже 0,45 кГ/см². Давление же набухания (рис. 1) достигает в ряде систем более 25 кГ на образец, т. е. более 6 кГ/см². Отсюда ясно, что осмотическое давление не может быть основным источником давления набухания. По-видимому, и здесь также играет роль запас упругой энергии, возникшей при действии сил капиллярной контракции в процессе высыхания.

Представляло интерес выяснить, какую долю от разрушающей нагрузки влажных образцов (R_p при растяжении) составляют исследуемые давления набухания (P) и усадочные напряжения (F_c). По числовым значениям эти относительные величины дают представление о соотношении молекулярных сил, противостоящих друг другу в процессах увлажнения и высыхания.

При сопоставлении кривых рис. 2, *А* и 3, *А* видна хорошая согласованность указанных относительных величин для давления набухания и усадочных напряжений. Действительно, давление набухания при увлажнении должно быть тем больше, чем больше напряжения, созданные в структуре силами капиллярной контракции и силами адгезионно-когезионного взаимодействия в предшествовавшем процессе высыхания.

Ростовский-на-Дону
инженерно-строительный институт

Ростовский-на-Дону
государственный университет

Поступило
30 VI 1969

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ А. А. Тагер, Физико-химия полимеров, М., 1968, стр. 358. ² М. С. Остриков, Г. Д. Дибров, Сборн. Проблемы физико-химической механики волокнистых и пористых дисперсных структур и материалов, Рига, 1967, стр. 205. ³ Г. М. Силицына, И. Н. Влодавец, П. А. Ребиндер, ДАН, 175, 399 (1967). ⁴ М. С. Остриков, Г. Д. Дибров, Сборн. Физико-химическая механика дисперсных структур, «Наука», 1966, стр. 32. ⁵ С. Amberg, R. McIntosh, Canad. J. Chem., 30, 1012 (1952). ⁶ Е. Мейер, Р. Нильсон, II Международн. конгресс по бетону, М., 1960, стр. 132. ⁷ К. Г. Красильников, Н. Н. Скоблинская, ДАН, 184, № 1, 151 (1969). ⁸ Г. Д. Дибров, М. С. Остриков и др., ДАН, 187, № 2 (1969).