

Н. В. МИХАЙЛОВ и Е. Е. КАЛМЫКОВА

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЦЕМЕНТНЫХ ПАСТ ПРИ ПОМОЩИ ЭЛАСТОВИСКОЗИМЕТРА

(Представлено академиком П. А. Ребиндером 13 IX 1954)

Электронно-сельсинный эластовискозиметр основан на принципе сдвиговых деформаций и ламинарного течения в узком зазоре между вращающимися коаксиальными цилиндрами с автоматической регистрацией на осциллограмме времени, действующего напряжения, развития и спада деформации сдвига.

На приборе можно проводить испытания при действии не только постоянных, но и нарастающих во времени, а также пульсирующих напряжений.

Вся основная часть исследования и расчетов характерных констант проводилась по методу кинетики развития относительной деформации сдвига $\varepsilon = f(\tau)$ при постоянном заданном напряжении P , широко применявшемуся П. А. Ребиндером и его сотр. (^{1,2}).

На нашем приборе можно исследовать: 1) тиксотропные или кристаллизационно-твердеющие (^{3,4}) системы с упрочняющейся во времени структурой, так как кривую кинетики деформации возможно снять в весьма короткие промежутки времени; 2) структурированные системы при приложении постоянного, нарастающего во времени и пульсирующего напряжений в широком диапазоне, а также по методике деформирования с задаваемым постоянным градиентом скорости; 3) процессы релаксации.

Эластовискозиметр был применен нами для исследования структурно-механических свойств цементных паст (теста) в процессе схватывания. Были исследованы цементы с различным содержанием алюминатов: высокоалюминатный цемент завода «Гигант» и низкоалюминатный цемент завода «Комсомолец» с содержанием, соответственно, 13,5 и 5,3% трехкальциевого алюмината при водоцементных отношениях 0,28; 0,40; 0,50.

Кривые кинетики деформации цементного теста снимались через разное время от начала затворения. Действующее напряжение увеличивалось по мере упрочнения структуры, но сохранялось постоянным в течение всего времени снятия кривой кинетики деформации до разгрузки (1—3 сек.).

По кривым кинетики деформаций для каждого значения времени от начала затворения после разгрузки определялась скорость развития остаточной деформации сдвига $(d\varepsilon/d\tau)_{\text{ост}} = \varepsilon'_{\text{ост}}/\tau_1$ (где τ_1 — время пребывания системы под нагрузкой), т. е. градиент скорости в стационарном потоке. По графику зависимости этой величины от действующего напряжения находился предел текучести P_k для различных значений времени от начала затворения двух цементов при трех водоцементных отношениях. Характер роста предела текучести обоих цементов с увеличением времени от начала затворения виден на рис. 1.

Вначале величина $P_k(\tau)$ медленно растет, и через некоторое время скорость нарастания предела текучести достигает постоянного наиболь-

шего значения. Выход кривой на прямую для обоих цементов происходит в разное время от начала затворения и при разных значениях

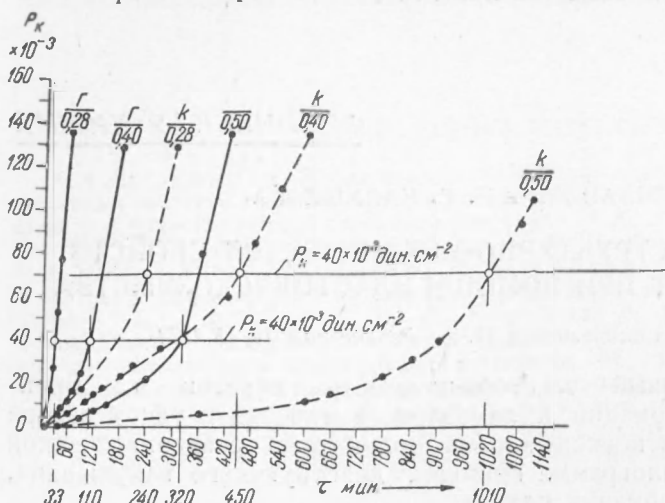


Рис. 1. Изменение предела текучести цементного теста в зависимости от времени от начала затворения при $В/Ц = 0,28; 0,40$ и $0,50$. — Высокоалюминатный цемент; --- низкоалюминатный цемент

предела текучести. Однако для разных водоцементных отношений одного и того же цемента это значение предела текучести сохраняется постоянным и изменяется только время выхода на прямую (см. рис. 1).

Наибольшее значение пластической вязкости, характеризующее предельно малую степень разрушения структуры, определенное

как $\gamma'_0 = \frac{P - P_k}{(d\epsilon / d\tau)_{ост}}$ для

$P \rightarrow P_k$ (см. рис. 2),

вначале также медленно возрастает, достигая постоянной наибольшей скорости роста в те же сроки от начала затворения, как и предел текучести (см. рис. 3).

Такой ход кривых $P(\tau)$ и $\gamma'_0(\tau)$ показывает, что через некоторое

время от начала затворения характер нарастания прочности структуры резко изменяется. Предел текучести и наибольшая пластическая вязкость приобретают постоянную скорость роста и значительно

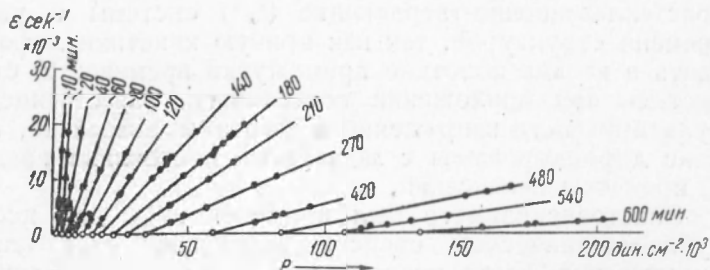


Рис. 2. Начальные участки реологических кривых $\dot{\epsilon}(P)$ для различного времени от начала затворения низкоалюминатного цемента с $В/Ц = 0,40$

повышаются их количественные значения. Однако, если в дальнейшем скорость роста P_k уменьшается и в пределе P_k принимает конечное значение, придавая кривой $P_k(\tau)$ S-образный характер, наибольшая пластическая вязкость γ'_0 стремится к бесконечности. Переход из одного состояния пластичной жидкообразной массы, имеющей низкое значение предела текучести и наибольшей пластической вязкости, в другое состояние, когда цементное тесто начинает быстро терять пластичность и приобретает прочность, что выражается в увеличении предела текучести и наибольшей пластической вязкости, происходит постепенно (см. рис. 1 и 3).

Механизм структурообразования по Ребиндеру^(3, 5) представляется как процесс пептизации и образования коагуляционно-кристаллизационной структуры. Область кривой до выхода на прямую определяет период формирования, т. е. период структурообразования, в котором преобладает образование коагуляционной структуры. В этой области структура цементного теста как бы формируется, т. е. на-

мечается число центров кристаллизации в зависимости от условий протекания процесса. Здесь возможно ее разрушение, сопровождающееся тиксотропным восстановлением.

После выхода на прямую начинается область упрочнения структуры с преобладанием процессов кристаллизации, следствием которых и является резкое увеличение предела текучести и наибольшей пластической вязкости. Разрушение структуры в этой области ведет к необратимым процессам, что говорит о наличии в системе признаков упруго-хрупкого тела. Однако не следует понимать, что области формирования и упрочнения структуры имеют четкую границу. Процессы кристаллизации начи-

наются от момента затворения цементного порошка водой, так же как и процессы коагуляционного

образования структуры имеют место долгое время в области упрочнения. Испытание на одноосное сжатие образцов, изготовленных из цементного теста, с разрушением структуры в области формирования и в области упрочнения показало, что разрушение структуры в области формирования не повлияло на прочность образцов, тогда как разрушение структуры в области упрочнения резко снизило их прочность (табл. 1).

Анализ кривых $P_k(\tau)$ и $\eta'_0(\tau)$ показал, что P_k и η'_0 в их росте в процессе структурообразования величины взаимосвязанные.

Совпадение же кривых $P_k(\eta'_0)$ для $B/C=0,28; 0,40$ и $0,50$ показывает независимость их развития от водоцементного отношения.

Зависимость $\log P_k$ от $\log \eta'_0$ выражается прямой с углом наклона, характеризующим способность цемента давать цементное тесто с различной степенью пластичности. Для высокоалюминатного цемента

эта зависимость $A = \frac{\Delta \log P_k}{\Delta \log \eta'_0} = 0,62$; для низкоалюминатного цемента $A = 0,94$.

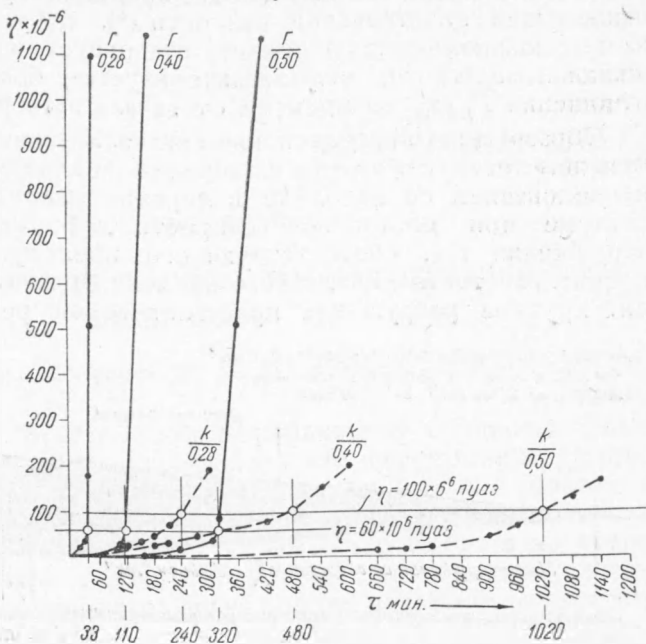


Рис. 3. Изменение наибольшей пластической вязкости в зависимости от времени от начала затворения при $B/C=0,28; 0,40$ и $0,50$. — высокоалюминатный цемент; — — — низкоалюминатный цемент

Таблица 1

Предел прочности на одноосное сжатие (кг/см^2) образцов, изготовленных из цементного теста из высокоалюминатного цемента при $B/C=0,50$

Сроки хранения в сутках	Сразу после затворения	С разрушением структуры в области	
		формирования через 200 мин. после начала затворения	упрочнения через 425 мин. после начала затворения
3	290	275	150
7	340	360	137
28	450	470	240

Как видно, пластичность цементного теста, его удобоукладываемость зависят от того, как предел текучести растет с ростом наибольшей пластической вязкости (⁵). Структура цементного теста из высокоалюминатного цемента становится жесткой раньше, чем из низкоалюминатного, что характеризуется более быстрым падением отношения P_k/γ'_0 во времени от начала затворения.

Образование коагуляционно-кристаллизационной структуры в цементном тесте с момента затворения подтверждено в наших работах исследованием по методике измерения напряжения, возникающего в системе при постоянной скорости деформации. При достижении напряжения P_m , соответствующего пределу прочности структуры цементного теста для данного времени от начала затворения, происходит хрупкое разрушение кристаллической решетки, выражающееся

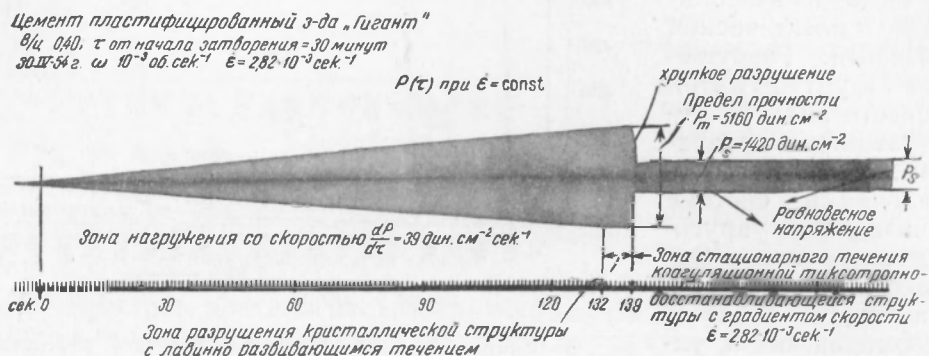


Рис. 4. Осциллограмма исследования структурно-механических свойств цементного теста $P(\tau)$ при $\dot{\epsilon} = \text{const}$

резким падением напряжения. Однако напряжение падает не до 0, как при разрыве сплошности, а до некоторого равновесного значения P_s , не зависящего от величины деформации, что является следствием наличия коагуляционной структуры, которую можно характеризовать пределом текучести P_k и наибольшей пластической вязкостью γ'_0 .

На рис. 4 приведена осциллограмма $P(\epsilon)$ для цементного теста с В/Ц = 0,40 из пластифицированного цемента завода «Гигант» через 30 мин. от начала затворения и скорости деформации $\dot{\epsilon} = 2,82 \cdot 10^{-3}$ сек⁻¹.

Явления пептизации и образования коагуляционно-кристаллизационной структуры начинаются с момента приливания воды к цементному порошку, как это видно по возрастанию P_k и γ'_0 .

Исследования структурно-механических свойств цементного теста в процессе схватывания позволили выяснить характер изменения этих свойств, получить новые количественные характеристики их, а также дать представления о механизме структурообразования, согласующиеся с представлениями, развитыми П. А. Ребиндером (^{3, 4}), и дополнить их разделением процесса структурообразования на две стадии: формирования и упрочнения структуры.

Поступило
12 VI 1954

ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- ¹ П. А. Ребиндер, Тр. Инст. физ. химии, в. 1, 5 (1950). ² Е. Е. Сегалова, П. А. Ребиндер, Колл. журн., 10, 3, 223 (1948); П. А. Ребиндер, Е. Е. Сегалова, ДАН, 71, 85 (1950). ³ П. А. Ребиндер, Е. Е. Сегалова, Природа, 12 (1952). ⁴ Е. Е. Сегалова, П. А. Ребиндер, О. И. Лукьянова, Вестн. Моск. унив., 2 (1954). ⁵ М. П. Волярович, Журн. прикл. физ., 5 (1930).