

## К вопросу о методике определений равномерности изменений об'ема (постоянство об'ема) портланд-цемента согласно общесоюзного стандарта 1927 г.\*)

Прочность искусственных камнеподобных масс, полученных склеиванием сыпучих ингредиентов (песок, гравий, щебень, камни) помощью какого-либо вяжущего вещества, существенно базируется на прочности употребленного цементирующего материала.

Портланд-цемент, широко используемый в строительной практике в качестве вяжущего материала, заслуживает в этом отношении особенного внимания. Это объясняется тем, что превращения, протекающие в сыпучих составляющих монолита, зависящие от смен температуры, влажности, химических процессов, в них крайне замедлены, тогда как в портланд-цементе, связывающем ингредиенты монолита в одно целое, протекающие в нем процессы гидратации и молекулярные перемещения совершаются неизмеримо интенсивнее и длительно, влияя на вяжущую способность цемента не всегда в положительном смысле, т. е. в сторону повышения крепости целого.

Внешним выражением протекающих в портланд-цементе процессов является изменение об'ема цементной массы, которое может быть и равномерно общим во всей массе и местным. Последнее чаще всего создает избыточные местные натяжения, превосходящие силу сцепления частиц, и ведет к разрыву сплошности.

Чрезмерно большое равномерно-общее изменение об'ема в сторону увеличения имеет следствием разрыхление цементной массы и также ослабляет установившееся связи.

Естественно, поэтому, включение во всех странах в стандарты, определяющие технические условия приемки партий портланд-цемента для работ, пункта о равномерности изменения об'ема («постоянства об'ема») с указанием тех признаков, по которым устанавливается доброкачественность цемента, годность и надежность его, как вяжущего вещества, для строительных работ. Следует отметить, что доброкачественность портланд-цемента в отношении изменения об'ема определяется по отрицательным признакам, по отсутствию деформаций, указываемых стандартами, наличие которых свидетельствует о неравномерности изменения об'ема.

Понятен также тот интерес и внимание, какие уделялись и уделяются вопросам об определении равномерности изменения об'ема п.-цемента на международных конгрессах по испытанию строительных материалов, на съездах техников и заводчиков по цементному, бетонному и железобетонному делу: правильная характеристика портланд-цемента в этом отношении гарантирует надежность и долговечность сооружения, в построении которого цементу отводится весьма ответственная роль. В журнальных статьях\*\*), трактовавших вопросы о пе-

\*) Общесоюзный стандарт. Портланд-цемент. „Технич. условия“ ОСТ. 77. „Методы механических испытаний“ ОСТ 78. Г.; общеобязателен с 1 мая 1927 г.

\*\*) „Зодчий“ 1917 г. №№ 7, 9, 10—13; 14—15; „Портланд-цемент“ №№ 5, 9—10.

решении и изменении стандартных норм в целом, определение равномерности изменения объема п.-цемента составляло один из важнейших пунктов обсуждения, как наиболее спорный.

Во всех случаях в центре внимания стоял вопрос о способе испытания, который гарантировал бы получение показаний, достаточно надежных для характеристики будущего поведения п.-цемента в отношении изменений его объема.

Из предложенных способов опробования: лепешкой в воде и при нагревании, прибором и по методу Ле-Шателье, прокаливание шарика, испытание в кипящей воде, в пару и др., ни один не получил всеобщего признания и работы по оценке способов испытания п.-цемента на равномерность изменения им объема ведутся и в настоящее время («Строит. Промышл.», 1928 г., № 1. Инж. Александров. «О равномерности изменения объема портланд-цемента»). Однако, требования строительного дела и производства п.-цемента вынуждали принять какой-либо из рекомендованных способов опробования п.-цемента в отношении равномерности изменений его объема в процессе твердения, находя такой способ по тем или иным соображениям достаточно показательным для характеристики испытываемого материала, и ввести его в стандартные нормы.

Различные страны узаконили различные приемы опробования. Общесоюзный Стандарт 1927 г. для СССР установил прежний способ испытания на равномерность изменения объема, принятый в нормах приемки п.-цемента в 1905 и 1911—1913 г.г.: опробование лепешкой в воде (27 суток) и на воздухе горячей пробой при 120°C в течение 2-х часов.

Методологическая часть определений равномерности изменения объема п.-цемента по тому или другому способу, особенно в части распознавания деформаций, характеризующих недоброкачественный п.-цемент, на съездах и в литературе рассматривалась и устанавливалась с недостаточной полнотой.

В общесоюзном стандарте 1927 г. СССР методологические указания в части, касающейся определения признаков недоброкачественности п.-цемента и способов их распознавания дана весьма сжато. Текст гласит: «Цемент признается недоброкачественным, если на лепешках обнаруживаются заметные на глаз искривления или радиальные трещины».

При всей видимой ясности текста практика испытаний указывает, что краткая формула стандартных норм оставляет много нерешенных недоуменных случаев и должна быть, в целях определенности, разработана подробнее.

О показательности указанных в стандарте признаков неравномерности изменений объема п.-цемента: искажение формы и радиальные трещины — недоразумений не возникает, равно как и о приемах выполнения испытаний: количество образцов, приготовление лепешек, температура, выдерживание в воде. Трудности и недоумения возникают при обследовании образцов (лепешек) и распознавании деформаций.

По тексту стандарта в расчет принимаются деформации «заметные на глаз». Когда деформации того или иного рода резко выражены, констатировать их не представляет труда при простом осмотре. Но практика испытаний часто встречается с деформациями только начинающимися за установленный стандартом короткий срок испытаний (28.

дней), с трещинами на лепешках весьма тонкими, видимыми иногда лишь под лупой, а иногда обнаруживаемыми только особым приемом, основанным на волосности и описываемым далее, при опробовании водой.

При недостаточности установленного стандартом способа обследования и распознавания дефектов, разнообразие применяемых при испытании приемов прежде всего ведет к получению несравнимых данных: невооруженным глазом можно часто не рассмотреть тонкой трещины и считать цемент равномерно изменяющим объем. При более тщательном исследовании и применении иных приемов эти трещины обнаруживаются. Следует ли в этом случае признать цемент не выдержавшим испытаний? Экспериментатор остается в недоумении и в тоже время может получить упрек в том, что приемы его произвольны и он слишком переоценивает показания. Устранить несравнимость данных испытаний и видимый произвол экспериментатора при обследовании образцов может лишь прямое установление в стандарте приема распознавания тонких деформаций. Другая сторона дела: числовая характеристика наблюдаемых деформаций в стандарте отсутствует. В самом деле, как велики должны быть искажения формы, чтобы признать цемент недоброкачественным? Проф. Житкевич в своем труде «Бетон и бетонные работы» (изд. 1912 г., стр. 39) указывает такое числовое соотношение: «выпуклость лепешки или вогнутость ее, не превышающая  $\frac{1}{4}$  дюйма при диаметре лепешки 3 дюйма, может быть принята предельной для доброкачественного цемента». Не оспаривая указания проф. Житкевича, отмечу лишь его конкретное значение: толщина лепешки нормальная 10 м/м;  $\frac{1}{4}$  дюйма равна приблизительно 6 м/м; т. е. допустимое искривление, согласно проф. Житкевича, может дойти до 60%. При отсутствии прямых указаний в стандарте можно сомневаться, что экспериментаторы принимают к руководству числовое соотношение проф. Житкевича, даже если оно им известно. Научное обоснование для указанного числового соотношения подыскать трудно, а между тем можно иметь в виду и другой критерий значимости деформаций: это старое правило германских норм, составленных союзом немецких заводчиков: «цементная лепешка не должна давать абсолютно никаких искривлений и трещин по краям» (С. Naske. Произв. порт.-цемен. Русс. пер. Изд. 1913 г., стр. 303).

По Общесоюзному Стандарту 1927 г. проба партии цемента на равномерность изменения им объема производится над 4 образцами (лепешками): 2 — нагреванием; 2 — в воде 27 суток. Едва ли кто будет гарантировать, что из 2-х лепешек обязательно обе будут дефективны или обе выдержат испытание. В практике встречаются случаи и не редко, что одна лепешка дефективна, другая — нет. Какое заключение о цементе должен дать экспериментатор или приемная комиссия при наличии таких разноречивых показаний? При отсутствии в стандарте каких-либо указаний на этот случай, дело предоставляется на произвол того, кто ставит заключение об испытанной партии цемента.

Итак, для разрешения недоумений, возникающих в практике испытаний цемента на равномерность изменения его объема, в методологической части стандарта следовало бы, — установив виды деформаций, характеризующих неравномерность изменения объема цемента, — сделать указания:

1. Каким способом распознавать деформации?
2. Какова предельная величина деформаций (абсолютная или относительная), выраженная числом, которым можно было бы твердо

руководствоваться при определении значимости деформаций для добротности цемента?

3. На каком числе образцов от партии обнаружение деформаций определенного числа и величины дает право считать цемент выходящим из ряда нормальных (по просту — браковать)?

В дополнение к этим указаниям в стандарте желательно присоединить и такую деталь, на первый взгляд не важную, как установление способа укладки лепешек в сушильном шкафу при горячей пробе во избежание одностороннего перегрева. Такой односторонний перегрев, напр., возможен при способе укладки лепешек в шкафу ступеньками, когда образцы установлены на ребро круто. Подобный способ был указан австрийскими нормами до 1913 г. (С. Naske. Произв. портланд-цемент. Русс. пер. Изд. 1913 г., стр. 312).

Инструкция по проведению пробы на равномерность изменения объема п.-цемента, включающая перечисленные выше желательные дополнения, предполагает наличие способов распознавания установленных стандартом признаков, гарантирующих полное выявление последних, возможность их учета и количественной оценки. Опыт испытательных лабораторий и строительной практики по цементам достаточно велик, чтобы из применяемых способов возможно было выбрать наиболее надежные и достаточно обоснованные. Так, напр. в отношении искажения формы лепешки (вспучивание, вогнутость) один из таких способов был указан американскими нормами\*): «искривление образца можно определить посредством прямой линейки». К сожалению американские нормы на этом и останавливаются, не указывая точно, всякое-ли искажение формы образца — небольшое и значительное — характеризует испытанный цемент, как недобротности. В смысле выполнения обмер деформаций — выпуклости — вогнутости — не представляет особых затруднений. Более существенным является вопрос о величине предельно-допустимой деформации.

Тексты заграничных норм, принимающих метод определения постоянства объема цемента лепешкой, не дают числовых соотношений и в смысле определенности указаний, за исключением германских норм с их категорическим требованием, не отличающимся от общесоюзного стандарта 1927 г. СССР. Лишь в странах, узаконивших в нормах метод Ле-Шателье (Англия), деформация нормируется определенным числом. Последнее обстоятельство свидетельствует, что размер допустимой деформации установить можно и его желательно выработать также и для способа опробования цемента лепешкой, что даст объективный критерий для оценки наблюдаемых при испытании показаний и сообщит опытному материалу желаемую сравнимость.

Следуя указанию общесоюзного стандарта 1927 г., определяя деформации «заметные на глаз», экспериментатор при осмотре образцов простым, невооруженным глазом вводит слишком много субъективного: прежде всего громадную роль играет острота зрения наблюдателя. Можно допустить с большой вероятностью, что, не надеясь на зрение, во многих случаях практикуют осмотр и вооруженным глазом. По мнению автора, при осмотре образцов даже с лупой нельзя в иных случаях поручиться, что картина трещиноватости образцов будет установлена полностью, разумея здесь и число трещин и величину (длину) их.

\*) С. Naske. Производство портланд-цемента. 1913 г.

Наиболее простым и надежным способом распознавания трещиноватости образцов является прием, основанный на смачивании водой, цветными растворами волосных сосудов, каковыми являются трещины на лепешках. Этим способом выявляются все трещины, какой бы величины они ни были, как по числу, так и по величине.

Произвести опробование цементных лепешек водой или иной жидкостью можно различно. Простейший прием следующий: цементная лепешка на руке или подвешенная на скрещенных проволоках приводится в соприкосновение с водой стороной, которой она лежала на стекле, по возможности без смачивания краев и верхней сухой стороны. Последнее не существенно, но важно для ясности картины. При смачивании лепешки вода быстрее наполнит сквозную трещину, чем пропитается в поры по всей массе лепешки, увлажнит цементную массу по всей длине трещины и последняя выявится на сухой поверхности образца с совершенной определенностью. Вместо воды можно пользоваться цветными жидкостями (чернила синие), фенолфталеином; последним — после опыта с водой, чтобы в трещине был налицо раствор едкой извести. Соприкосновение образца с жидкостью указанным приемом можно заменить смачиванием его кисточкой с тыловой стороны.

Описанным способом выявляется полная картина трещиноватости лепешек: число трещин от значительных до ничтожных, длина их, извилистость и т. п. Обнаруженные трещины могут быть измерены по крайней мере в длину, если это необходимо.

С течением времени наполнившая трещину жидкость всасывается пористым материалом стенок и вид трещины получается расплывчатый, но во всяком случае отметить вершину трещины возможно с достаточной точностью.

Этот опыт, как само собой понятно, прямо применим к опробованию лепешек после горячей пробы. Здесь жидкостью может служить вода и лишь для фиксации как общей картины, так и размеров трещин, можно пользоваться цветной жидкостью, а также в том случае, когда желательно следить за развитием трещиноватости образцов при дальнейшем хранении.

Несколько сложнее опробование по описанному способу образцов, хранившихся в воде 28 дней. Только что вынутые из воды и лишь слегка обсушенные, они насыщены водой, которая наполняет и их трещины, если таковые имеются. Испытание водой останется без результата. Воду из трещин необходимо удалить. Сушка на воздухе в течение 1—2—3-х дней или нагревание при невысокой температуре (30—40°C) дадут уже достаточную сухость образцов, чтобы можно было опробовать их водой. Но эти приемы высушивания вводят в определение новый фактор — высыхание цементного образца, влияющее, согласно опыта автора, на увеличение трещиноватости и остается спорным, образовались ли трещины при хранении в воде или при лежании на воздухе. Для безукоризненности пробы, освобождение трещин от воды, в них заключающейся, необходимо провести приемом, не вызывающим новой или дополнительной трещиноватости. Для этого насыщенное состояние образца не должно по возможности изменяться. С некоторым успехом извлечение воды из трещин достигается выдерживанием образцов в спирте и дальнейшей обработкой их, в целях скорейшего обсушивания, эфиром, после чего следует опробование водой, как сказано выше.

Более контрастные результаты над вынутыми из воды образцами дает способ основанный на диффузии окрашивающих жидкостей или спиртового раствора фенолфталеина. Проникающая путем диффузии в трещину цветная жидкость окрашивает ее как с тыловой стороны, так и с верхней обсушенной. Следует отметить, что диффузия протекает сравнительно медленно, особенно в очень тонких трещинах и в вершинах трещин. Лепешку приходится держать смоченной цветной жидкостью или фенолфталеином минут 15 и более. Раствор краски не должен быть слишком концентрированным. Диффузия протекает более успешно, если лепешка предварительно обработана для удаления из трещин воды. Пробный цветной раствор наносится кистью на тыловую сторону лепешки. В случае, если края образца окажутся достаточно пористыми и при длительном воздействии пропитываются цветной жидкостью, что даст окрашенное поле, то трещина, если таковая имеется, выступает из общего окрашенного фона более глубокой окраской.

Картина трещиноватости образца получается достаточно рельефной, но менее отчетливой, чем при пробе водой просушенной лепешки.

Во всяком случае способ диффузии, примененный к образцам, только что вынутым из воды, исключая всякие побочные влияния на физическое состояние образца, констатирует трещины, появившиеся при хранении пробы в воде и, поэтому, показания опыта неоспоримы.

Таким образом, как в отношении искривлений образцов, так и в отношении их трещиноватости экспериментальный материал для учета дефектов может быть получен достаточно полный.

Дальнейшей задачей остается выработать числовую оценку показательности опытных наблюдений для характеристики цемента, определив, если это допустимо, предельную величину деформаций, как норму, которой экспериментатор и должен будет руководствоваться при суждении о значимости для характеристики цемента показаний его проб.

Число партий цемента, дающих дефективные пробы при испытании на равномерность изменения объема в воде, заметно увеличивается, согласно наблюдений автора, если при опробовании применять описанный выше прием — пробу водой — для выявления полной картины трещиноватости. Таким образом, напряжения, ведущие к разрыву сплошности в теле цементного образца, развиваются под водой энергичнее, чем при искусственном вызревании цемента при горячей пробе, что согласуется и с ранее полученными наблюдениями. Наиболее же интенсивно эти разрушающие натяжения проявляются в пробах, выдержанных в воде 27 суток, при высыхании их затем на воздухе. Уже через 1—3—4 дня хранения на воздухе вынутых из воды проб цемента, — безразлично: выдержавших или не выдержавших нормальную пробу\*), можно было установить появление на образцах новых трещин. При дальнейшем выдерживании на воздухе и повторных испытаниях лепешек водой через различные сроки: неделя, две, месяц и т. д., регулярно приходилось констатировать следующие изменения:

1. Число лепешек с трещинами увеличивается.
2. Умножается число трещин на одних и тех же образцах.

\*) Опробованные партии цемента все выдержали нормальную пробу в воде. Дополнительные испытания были произведены над долго лежалым цементом, не обнаруживающим постоянство объема.

3. Самые трещины увеличиваются; особенно легко отметить их удлинение. Длина трещин наблюдалась до 5 сантим., т. е. полдиаметра плитки.

Некоторые из опробованных таким образом партий дали, согласно наблюдений, уже через 2 месяца по затворении до 90% трещиноватых лепешек (16 из 18-ти. Партии по 3000 бочек). Просохшие лепешки легко опробуются водой, выявляя при этом полную картину развивающейся трещиноватости.

На лепешках, опробованных нагреванием, — дефективных и выдержавших пробу, — развития трещиноватости не замечалось.

Наблюдения велись над пробами 12 партий цемента, испытанных в течение года. К сожалению автор имел в руках цемент одного лишь завода. Проверить наблюдением над цементами других заводов, насколько обще отмеченное явление вне возможности автора; поэтому пока приходится говорить о наблюдаемом, как о частном случае.

Изучение отмеченного явления над цементами различных заводов представляет интерес в том отношении, что, в случае получения аналогичных с описанными результатов у ряда цементов разных заводов, можно было бы поставить вопрос, не является ли свойством портланд-цемента его склонность давать разрыв сплошности после схватывания под водой при службе на воздухе и искать генетическую связь между этим свойством и трещиноватостью бетонов, так озабочивающую практиков бетонного и железобетонного строительства\*). В самом деле, при производстве бетонных сооружений, предназначенных к службе на воздухе, бетонная кладка некоторый срок выдерживается во влажном состоянии (аналогия с выдерживанием цементных образцов в воде) с целью дать возможность цементу схватиться в нормальных условиях. После этого начинается процесс высыхания сооружения на открытом воздухе, как раз тот процесс, который, при испытании цементных образцов на равномерность изменения объема, наступает при хранении их на воздухе. Результаты последнего описаны выше и заключаются они в развитии трещиноватости у цементных плиток при высыхании.

Аналогично строительная практика отмечает изменение объема бетона при высыхании с появлением трещин на поверхности.

Бесспорно, трещиноватость бетонов — явление, зависящее не от одних свойств цемента. Значительную роль играет здесь растяжение и сжатие при смачивании и высыхании и переменах температуры, по видимому, мертвого материала — балласта. Наличие последнего в бетонах обуславливает полную неоднородность массива, при которой трудно ждать согласованности в движении материала при тех или иных изменениях физического состояния. Но если разрыв сплошности вследствие протекающих при высыхании на воздухе процессов неизбежно дает тот материал, назначение которого связать в монолит все введенные в бетонную массу компоненты, то вопрос о трещиноватости бетонов при службе на воздухе получает новое освещение.

Отсюда существенно важны определения равномерности изменения объема цементов на воздухе при различных условиях предварительного хранения образцов, что также должно быть учтено и регламентировано общесоюзным стандартом СССР.

---

\*) Портланд-цемент 1918 г. № 1—3. Проф. Куницкий. К вопросу о долговечности железобетонных сооружений. *Perkhun. Zeitschrift für Bauwesen* 1916. Н. 1—3.