ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 70753— 2023

БЕТОНЫ

Метод микроскопического количественного анализа структуры

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2023

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН Обществом с ограниченной ответственностью «Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и технологический институт ВНИИжелезобетон» (ООО «Институт ВНИИжелезобетон»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 22 мая 2023 г. № 337-ст

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2023

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 2
4 Метод микроскопического анализа структуры бетона с помощью интеграционного счетного устройства (Метод 1) 3
5 Контрастный метод микроскопического анализа структуры бетона с использованием системы анализа изображений (Метод 2) 9
Приложение А (справочное) Форма представления результатов расчетов параметров структуры воздушных условно-закрытых пор 11
Приложение Б (справочное) Методика расчета параметров структуры воздушных условно-закрытых пор в составе алгоритма цифрового анализа изображений 12

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

БЕТОНЫ

Метод микроскопического количественного анализа структуры

Concrete. Method of microscopic quantitative analysis of the structure of air pores

Дата введения — 2023—06—01

1 Область применения

1.1 Настоящий стандарт распространяется на все виды бетонов, применяемых в строительстве, и устанавливает методы микроскопического количественного анализа структуры воздушных условно-закрытых пор в бетоне.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 3647 Материалы шлифовальные. Классификация. Зернистость и зерновой состав. Методы контроля

ГОСТ 6824 Глицерин дистиллированный. Общие технические условия

ГОСТ 8074 Микроскопы инструментальные. Типы, основные параметры и размеры. Технические требования

ГОСТ 8930 Угли каменные. Метод определения окисленности

ГОСТ 9410 Ксилол нефтяной. Технические условия

ГОСТ 9949 Ксилол каменноугольный. Технические условия

ГОСТ 12730.4 Бетоны. Методы определения параметров пористости

ГОСТ 18384 Угли каменные. Петрографический метод определения степени обогатимости

ГОСТ 19113 Канифоль сосновая. Технические условия

ГОСТ 20477 Лента полиэтиленовая с липким слоем. Технические условия

ГОСТ 27542 Ткани суконные чистошерстяные и полушерстяные ведомственного назначения. Технические условия

ГОСТ 32833 Круги алмазные отрезные. Технические условия

ГОСТ Р 8.654 Государственная система обеспечения единства измерений. Требования к программному обеспечению средств измерений. Основные положения

ГОСТ Р 52381 (ИСО 8486-1:1996, ИСО 6344-2:1998, ИСО 9138:1993, ИСО 9284:1992) Материалы абразивные. Зернистость и зерновой состав шлифовальных порошков. Контроль зернового состава

ГОСТ Р 58399 Контроль неразрушающий. Методы оптические. Общие требования

ГОСТ Р 58514 Уровни строительные. Технические условия

ГОСТ Р ИСО 3534-1 Статистические методы. Словарь и условные обозначения. Часть 1. Общие статистические термины и термины, используемые в теории вероятностей

РСТ РСФСР 756-89 Круги войлочные. Технические условия

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный

Издание официальное

стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **аншлиф:** Тонкий непрозрачный срез материала, подготовленный для микроскопического анализа, поверхности которого пришлифованы и отполированы для изучения в отраженном свете под микроскопом или бинокулярной лупой.

3.2 **винты микронаводки:** Регулировочные винты, позволяющие помещать образец в фокус микроскопа.

3.3 **воздушные поры:** Поры, образованные включением воздуха в бетонную смесь в процессе приготовления и технологических переделов, остающиеся в уплотненной и затвердевшей бетонной смеси.

3.4 **завершенное круговое сечение:** Воображаемая окружность, вписанная в сечение поры неправильной формы.

3.5 **измерительная линия:** Линия, проходящая через анализируемую поверхность испытуемого образца, созданная движением образца относительно микроскопа во время испытания.

3.6 **интеграционное счетное устройство:** Приспособление к микроскопу, позволяющее выполнять одновременный подсчет точек, относящихся к компонентам разных категорий (поры и перегородки), обеспечивающее независимое суммирование длины отдельных однородных пор и перегородок, наблюдаемых через микроскоп.

3.7 **квантовый выход люминисценции:** Отношение числа излучаемых к числу поглощаемых квантов при преобразовании энергии источника возбуждения в энергию люминесценции.

3.8 **количественная оценка структуры:** Определение числовых значений параметров структуры.

3.9 **коэффициент, характеризующий вид функции распределения пор:** Отношение среднеквадратического отклонения радиусов пор к разности максимального и минимального радиусов пор.

3.10 **коэффициент неравноосности:** Отношение максимального и минимального линейных размеров поры во взаимно перпендикулярных направлениях.

3.11 **люминофор:** Вещество, способное преобразовывать поглощаемую им энергию в световое излучение (люминесцировать).

3.12 **объемное содержание условно-закрытых пор в бетоне:** Отношение объема условно-закрытых пор к общему объему бетона.

3.13 **параметр структуры:** Отличительный признак пространственно-геометрического строения материала, подлежащий количественной оценке.

3.14 **перекрестие окуляра:** Взаимно перпендикулярные тонкие нити, нанесенные на линзу окуляра.

3.15 **плоскость оптического изображения устройства захвата изображения:** Горизонтальная плоскость, перпендикулярная к объективу видеокамеры.

3.16 **предметный столик:** Плоскость, на которую устанавливается срез материала (аншлиф), по размерам соответствующий расстоянию между захватами объектодержателя.

3.17 **препаратоводитель:** Приспособление к предметному столику микроскопа, обеспечивающее возможность перемещений образца под объективом микроскопа в двух взаимно перпендикулярных направлениях.

3.18 **система анализа изображений [микроструктуры объектов]:** Система, включающая в себя компьютер с программным обеспечением для анализа изображений, которое обеспечивает определение характеристик и классификацию элементов структуры образцов или изделий по цифровым изображениям, формирует отчет с результатами анализа, цифровую видеокамеру (цифровую камеру) и оптический микроскоп, с возможностью крепления видеокамеры.

3.19 **среднеарифметическая длина хорд:** Отношение суммы отрезков, образуемых от пересечения секущей, проведенной в плоскости аншлифа с периметром сечений пор, к количеству этих пор.

3.20 **среднеарифметический радиус условно-закрытых пор на плоскости аншлифа:** Отношение суммарной длины радиусов всех условно-закрытых пор на плоскости аншлифа к количеству этих пор.

3.21 **средний радиус условно-закрытых пор по объему:** Величина, характеризуемая суммарным объемом условно-закрытых пор, отнесенным к количеству этих пор.

3.22 **условно-закрытые поры:** Поры размером 10—500 мкм, образуемые включениями пузырьков воздуха, не доступные для насыщения водой при обычных условиях: атмосферное давление (750 ± 10) мм рт.ст., температура (20 ± 5) °С.

3.23 **устройство захвата изображения:** Устройство, которое с помощью определенных интерфейсов (HDMI, USB, S-Video и др.) передает видеоинформацию в цифровом виде для сохранения ее на компьютере с применением различных алгоритмов сжатия.

3.24 **фокус микроскопа:** Положение объектива микроскопа относительно образца, обеспечивающее наилучшую четкость изображения.

3.25 **хорда:** Отрезок, образуемый точками пересечения секущей измерительной линии, проведенной в плоскости среза (аншлифа), с периметром сечения (границами) поры.

3.26 **цена условной единицы измерения:** Коэффициент пересчета единиц измерения прибора в натуральные единицы длины.

4 Метод микроскопического анализа структуры бетона с помощью интеграционного счетного устройства (Метод 1)

4.1 Общие положения

Настоящий метод микроскопического анализа структуры бетона основан на измерении линейных размеров, сечений воздушных условно-закрытых пор в плоскости среза бетона (аншлифов) с помощью интеграционного счетного устройства и вычислении параметров воздушных условно-закрытых пор бетона на основании полученных результатов.

4.2 Оборудование, средства измерений и материалы

4.2.1 Камнерезный станок или пила по бетону со скоростью вращения не менее 2800 мин$^{-1}$ с алмазным режущим диском по ГОСТ 32833.

4.2.2 Шлифовально-полировальный станок для подготовки образцов в автоматическом и ручном режимах, с диском минимальным диаметром 200 мм.

4.2.3 Шлифовальные материалы на основе карбида кремния типов М28, М14, М7, М5 по ГОСТ 3647 (зернистость F60, F100, F180, F220 по ГОСТ Р 52381). Допускается использовать шлифовально-полировальные устройства, оснащенные шлифовальными кругами соответствующей зернистости.

4.2.4 Полировальные круги из войлока по РСТ РСФСР 756 или ведомственного сукна по ГОСТ 27542.

4.2.5 Химические вещества для закрепления поверхности, такие как глицерин по ГОСТ 6824, ксилол по ГОСТ 9410, ГОСТ 9949, канифоль по ГОСТ 19113, карнаубский воск.

4.2.6 Инструментальный микроскоп по ГОСТ 8074 или другие исследовательские микроскопы, обеспечивающие увеличение в отраженном свете от 50 до 125х, оборудованные постоянной цифровой видеокамерой с возможностью фиксирования на изображениях объектов структуры бетона размером 5 мкм и более.

4.2.7 Интеграционное счетное устройство типа МИУ по ГОСТ 8930, пуш-интегратор системы Глаголева по ГОСТ 8930, интеграционный столик Андина (ИСА) по ГОСТ 18384 или счетчик для определения лейкоцитарной формулы крови типа СЛФ-ЭЦ или аналогичные устройства. При выведении изображения на монитор и совмещении микроскопа с компьютером подсчет допускается выполнять с помощью клавиатуры компьютера.

4.2.8 Препаратоводитель для перемещения аншлифов.

Примечание — Рекомендуется установка препаратоводителя на трех регулируемых выравнивающих винтах для горизонтального размещения.

4.2.9 Лампа микроскопа типа спот-осветитель, предназначенная для обеспечения достаточного освещения под малым (15 ± 10)° регулируемым углом падения к поверхности. Место равномерно освещенной области на поверхности образца должно быть не менее поля обзора микроскопа.

4.2.10 Строительный уровень по ГОСТ Р 58514.

4.2.11 Допускается применять и другую аппаратуру для микроскопического количественного анализа структуры материалов при условии, что она должна обеспечивать измерения отрезков размером 5 мкм и более.

4.3 Подготовка образцов для испытания

4.3.1 У образцов бетона, отобранных для микроскопического количественного анализа структуры, определяют истинную и среднюю плотность и вычисляют объемное содержание условно-закрытых пор $П_з^о$, дол. ед., по ГОСТ 12730.4.

4.3.2 Для подготовки аншлифа из образца бетона вырезают плоскую пластину размером не менее 150 × 150 мм, толщиной не менее 1/2 наибольшей крупности заполнителя и не менее 15 мм. Исследования проводят на поверхности расположенной перпендикулярно к слоям укладки бетонной смеси.

Полученную пластинку обдирают всухую, с одной стороны, на чугунном диске вручную микропорошком М28 по ГОСТ 3647 (F60 по ГОСТ Р 52381). После этого пластинку подшлифовывают на станке вращающимся чугунным диском порошком М14 по ГОСТ 3647 (F100 по ГОСТ Р 52381), смачивая водой или керосином, а затем пластинку полируют порошком М7 по ГОСТ 3647 (F180 по ГОСТ Р 52381) или М5 по ГОСТ 3647 (F220 по ГОСТ Р 52381) с глицерином по ГОСТ 6824.

Примечание — Может быть использовано другое оборудование, применение которого обеспечивает требования к поверхности.

Полировку аншлифа выполняют войлоком или сукном.

4.3.3 Полировка считается законченной, когда поверхность аншлифа, предназначенная для микроскопического исследования, покажет отражение удаленного источника света при малом угле падения, без заметного различия рельефа между поверхностями цементного теста и заполнителя, края сечений с воздушными порами — острые, а сечения воздушных пор, включая поры размером от 10 мкм в диаметре, четко различимы.

4.3.4 При испытании бетонов прочностью менее 15 МПа поверхность образца после операции обдира на чугунном диске перед последующим шлифованием необходимо предварительно укрепить.

Укрепление поверхности может быть выполнено двумя способами.

В первом случае образец пропитывают смесью жидкой консистенции глицерина, канифоли и ксилола в соотношении 1 : 4 : 1 при температуре 70 °С не менее 4 ч, затем высушивают и приступают к дальнейшей подготовке аншлифов.

Во втором случае, после нагревания подготовленного образца бетона до температуры около 150 °С в печи, немедленно наносят на него щеткой расплавленный карнаубский воск, нагретый до той же температуры. Повторяют нанесение после того, как воск впитается в бетон, чтобы на поверхности осталась видимая пленка. После охлаждения образца, скребком очищают избыточный воск и повторяют шлифование.

После завершения шлифования удаляют остатки воска с поверхности воздушных пор повторным нагреванием бетона до температуры 150 °С, чтобы расплавленный воск впитался в образец.

Для закрепления поверхности бетона прочностью менее 10 МПа может потребоваться повторение данного процесса.

4.4 Методика проведения испытания

4.4.1 При перемещении аншлифов с помощью измерительного устройства, включающего интеграционное счетное устройство и препаратоводитель, измеряют размеры отрезков, образуемых пересечением секущей, проведенных в плоскости аншлифа с периметром сечения (границами поры). Численное значение длин хорд фиксируется с нарастающим итогом интеграционным счетным устройством. Минимальная величина измеряемого отрезка 5 мкм.

4.4.2 На предметном столике микроскопа закрепляют препаратоводитель и проверяют настройки микроскопа в комплекте с измерительным устройством в соответствии с их инструкциями.

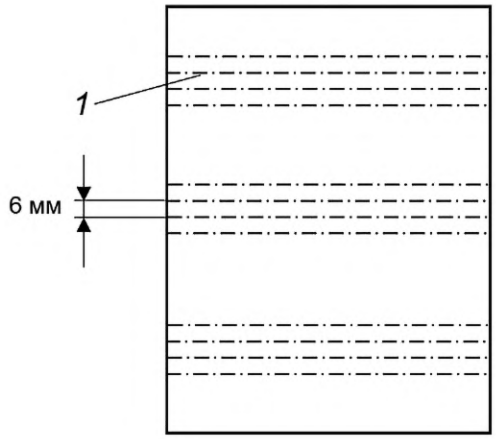
4.4.3 Подготовленный образец бетона помещают на предметный столик препаратоводителя и закрепляют в захватах объектодержателя, выравнивают подготовленную поверхность с помощью ре-

гулирующих винтов и строительного уровня по ГОСТ Р 58514 так, чтобы поверхность изучалась под микроскопом без изменения его фокуса. Подбором объективов и окуляров устанавливают заданное увеличение. Регулированием винтами грубой и микронаводки вводят аншлиф в фокус микроскопа. Увеличение микроскопа не меняют в процессе проведения анализа. Осветительную лампу настраивают так, чтобы луч равномерно освещал поле обзора микроскопа, падал на поверхность под малым углом и воздушные поры разграничивались тенью. При этом контраст изображения в соответствии с ГОСТ Р 58399 должен быть не менее 0,5. Наносят индексную точку на анализируемую поверхность. Визуальным просмотром всего поля аншлифа выбирают наиболее характерную структуру и устанавливают перекрестие окуляра на границе какой-либо поры. Устанавливают все счетчики на ноль. С помощью основного ходового винта перемещают устройство в сборе и образец в принятом направлении вдоль измерительной линии, одновременно тщательно изучая подготовленную поверхность по мере ее продвижения под микроскопом, отмечая пересечение измерительной линии со всеми границами всех пор. Измерительные линии должны быть распределены следующим образом:

- не менее четырех измерительных секущих линий проходит по ширине в верхней части измерительной поверхности. Расстояние между верхним краем образца и верхней линией составляет 6—10 мм, расстояние между следующими линиями должно быть около 6 мм;
- не менее четырех измерительных секущих линий проходит в нижней части измерительной поверхности. Расстояние между нижним краем образца и нижней измерительной линией составляет 6—10 мм. Расстояние между следующими линиями должно быть около 6 мм;
- не менее четырех измерительных секущих линий проходит с расстоянием около 6 мм в средней области тестируемой поверхности образца, чтобы достичь необходимую общую длину измерения.

4.4.4 Суммарные длины секущих измерительных линий в верхней, нижней и средней частях образца должны отличаться не более чем на 25 %.

Пример распределения измерительных линий на поверхности образца приведен на рисунке 1.



1 — измерительная линия

Рисунок 1 — Распределение измерительных линий на поверхности образца

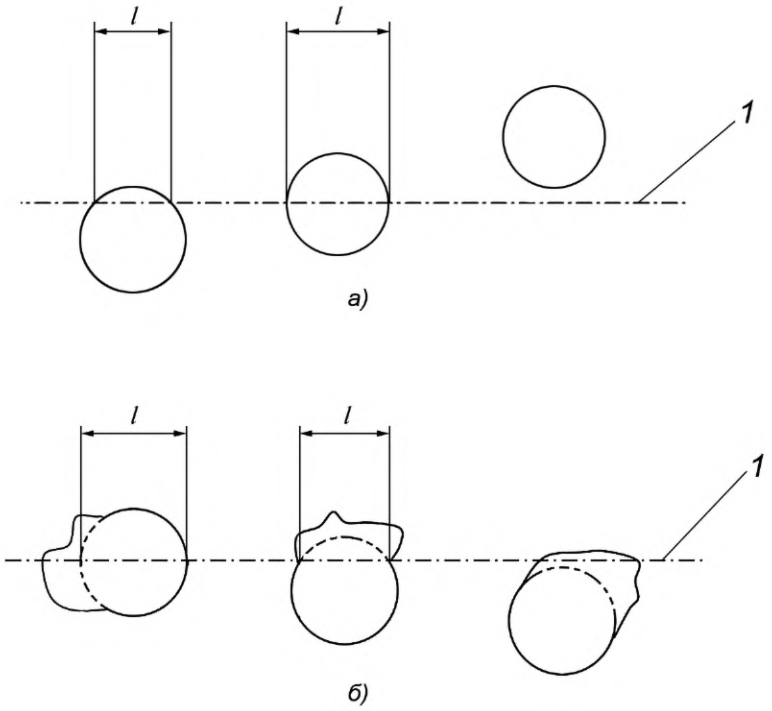
4.4.5 Нажатием соответствующей клавиши или поворотом ходового винта передвигают образец с выбранной точки отсчета до границы данной поры с другой порой. Одновременно с прохождением образца под перекрестием окуляра со счетного устройства снимают показания длин сечений пор на аншлифе в условных единицах, принятых для счетного устройства, и заносят их в журнал.

4.4.6 Измерения выполняют до получения не менее 300 результатов или до достижения суммарной длины измерительных линий с учетом 4.4.4 — 2400 мм, после чего приступают к обработке информации и вычислению параметров структуры воздушных условно-закрытых пор.

4.4.7 Следует исключить возможность добавления поврежденной области поверхности бетона к длине измерительной линии. Если на поверхности образца имеются поврежденные участки, для обеспечения минимальной длины измерительных линий следует выполнять дополнительные линии.

4.4.8 Длина хорды l должна определяться на основе завершенного кругового сечения.

Порядок определения длины хорды приведен на рисунке 2.



а) для пор, края которых не повреждены в процессе подготовки образцов;
б) для пор, края которых повреждены в процессе подготовки образцов;
1 — измерительная линия; l — длина хорды

Рисунок 2 — Определение длины хорды l

4.4.9 Трещины на поверхности бетона не следует рассматривать как поры, и они должны быть исключены из анализа.

4.5 Обработка результатов

4.5.1 Объемное содержание условно-закрытых пор в бетоне $П_з$, определенное методом секущих, в материале, дол. ед., вычисляют по формуле

$$П_з = \frac{\sum l}{L_1}, \quad (1)$$

где l — измеряемые линейные размеры сечений условно-закрытых пор (хорд) на секущей, усл. ед. измерительного устройства;

L_1 — общая длина секущей, равная сумме длин пор и твердых частиц всех компонентов, усл. ед. измерительного устройства.

4.5.2 Объем условно-закрытых пор, размер которых меньше разрешающей способности измерительного устройства $П_{1м}$, вычисляют как разность между общим объемом условно-закрытых пор $П_з^о$ и объемом условно-закрытых пор, определенным методом секущих

$$П_{1м} = П_з^о - П_з, \quad (2)$$

где $П_з$ — объем условно-закрытых пор, определенный методом секущих, размер которых больше разрешающей способности измерительного устройства, дол. ед.;

$П_{1м}$ — объем условно-закрытых пор, размер которых меньше разрешающей способности измерительного устройства, дол. ед.

4.5.3 Количество условно-закрытых пор в единице площади плоскости аншлифа n_1, шт./мм^2, вычисляют по формуле

$$n_1 = \frac{0{,}785\sum l^{-1}}{L_1 \cdot k^2}, \tag{3}$$

где k — цена усл. ед. измерения, мм.

4.5.4 Количество условно-закрытых пор, в единице площади плоскости аншлифа, размер которых меньше разрешающей способности измерительного устройства $n_{1м}$, шт./мм^2, определяют по формуле

$$n_{1м} = \frac{П_{1м}}{\pi\rho_0^2}, \tag{4}$$

где $П_{1м}$ — объем мелких условно-закрытых пор, дол. ед., по формуле (2);

ρ_0 — минимальный радиус сечения условно-закрытых пор, мм, вычисляемый по формуле

$$\rho_0 = k/2. \tag{5}$$

4.5.5 Количество условно-закрытых пор в единице объема материала N_1, шт./мм^3, вычисляют по формуле

$$N_1 = \frac{0{,}5\sum l^{-2}}{L_1 \cdot k^3}. \tag{6}$$

4.5.6 Количество условно-закрытых пор в единице объема материала $N_{1м}$, шт./мм^3, меньших разрешающей способности измерительного устройства, определяют по формуле

$$N_{1м} = \frac{П_{1м}}{\frac{4}{3}\left(\frac{3}{2}\right)^{3/2}\pi\rho_0^3}, \tag{7}$$

где ρ_0 — вычисляют по формуле (5).

4.5.7 Суммарную поверхность условно-закрытых пор в единице объема материала S_1, мм$^{-1}$, определяют по формуле

$$S_1 = 4\frac{m_1}{k\sum l}, \tag{8}$$

где m_1 — число пересеченных пор на плоскости аншлифа.

4.5.8 Среднеарифметическую длину хорд, проходящих по сечению пор ($\overline{l}$), мм, определяют по формуле

$$\overline{l} = \frac{k\sum l}{m_1}, \tag{9}$$

где l — измеряемые линейные размеры сечений условно-закрытых пор (хорд) на секущей, усл. ед. измерительного устройства;

k, m_1 — по 4.5.3 и 4.5.7.

4.5.9 Средний радиус сечений условно-закрытых пор по объему материала $\hat{r}$, мм, вычисляют по формуле

$$\hat{r} = \left(\frac{П_з}{\frac{4}{3}\pi N_1}\right)^{1/3}. \tag{10}$$

4.5.10 Среднеарифметический радиус условно-закрытых пор в плоскости аншлифа $\bar{r}$, мм, вычисляют по формуле

$$\bar{r} = \frac{n_1}{2N_1}. \quad (11)$$

4.5.11 Среднеквадратичное отклонение радиусов пор δ_r, мм, вычисляют по формуле

$$\delta_r = r_m (Y_2 - Y_1^2)^{1/2}, \quad (12)$$

где r_m — максимальный радиус пор, мм, вычисляемый по формуле

$$r_m = \left(\frac{3}{2}\right)^{1/2} \frac{2}{\pi} l_m, \quad (13)$$

где l_m — максимальный размер хорды, мм;

Y_1 — момент непрерывного распределения пор по объему первого порядка, вычисляемый по формуле

$$Y_1 = \bar{r}/r_m; \quad (14)$$

Y_2 — момент непрерывного распределения пор по объему второго порядка, вычисляемый по формуле

$$Y_2 = l_m Y_3/\bar{l}; \quad (15)$$

Y_3 — момент непрерывного распределения пор по объему третьего порядка, вычисляемый по формуле

$$Y_3 = \frac{\Pi_1}{\frac{4}{3}\pi r_m^3 N_1}. \quad (16)$$

4.5.12 Среднюю толщину перегородок между условно-закрытыми порами $\hat{Z}$, мм, вычисляют по формуле

$$\hat{Z} = \frac{1-\Pi_3}{S_1}. \quad (17)$$

4.5.13 Коэффициент неравноосности K_H поры вычисляют по формуле

$$K_H = \frac{l_m}{l_0}, \quad (18)$$

где l_m, l_0 — соответственно максимальный и минимальный размеры поры, мм.

4.5.14 Коэффициент, характеризующий вид функции распределения пор B_e, вычисляют по формуле

$$B_e = \frac{\delta r}{r_m - r_0}, \quad (19)$$

где r_0 — минимальный радиус пор, мм, вычисляемый по формуле

$$r_0 = \left(\frac{3}{2}\right)^{1/2} \rho_0. \quad (20)$$

4.5.15 Коэффициент эксцесса функции распределения пор по размерам β_2 рассчитывают в соответствии с ГОСТ Р ИСО 3534-1.

4.5.16 Результаты расчетов параметров структуры воздушных условно-закрытых пор представляют в виде таблицы. Форма таблицы приведена в приложении А.

5 Контрастный метод микроскопического анализа структуры бетона с использованием системы анализа изображений (Метод 2)

5.1 Общие положения

В основу контрастного метода микроскопического анализа структуры бетона положено вычисление параметров воздушных условно-закрытых пор бетона специально разработанным программным обеспечением на основании обработки результатов измерений, полученных с использованием системы анализа изображений.

5.2 Оборудование, средства измерений и материалы

5.2.1 Оборудование, средства измерений и материалы — по 4.2.

5.2.2 Микроскоп, обеспечивающий увеличение в отраженном свете от 50 до 125$^{\times}$, со следующим оборудованием:

- предметный столик, способный обеспечивать размещение образца с анализируемой поверхностью перпендикулярно к оптической оси устройства захвата изображения;
- постоянная фотокамера для фиксирования на изображениях объектов структуры бетона размером 5 мкм и более.

5.2.3 Ультрафиолетовый осветитель с длиной волны, настроенной на спектральный диапазон излучения люминофора.

5.2.4 Люминофор с областью возбуждения 200—400 нм, средний размер частиц 2—4 мкм. Люминофор должен обладать квантовым выходом люминесценции, достаточным для выявления пор размером 5 мкм и более.

5.2.5 Программное обеспечение системы анализа изображений, способное выводить на экран изображение с видеокамеры, для последующей обработки. Абсолютная погрешность программного обеспечения системы анализа изображений при определении сегмента изображения должна быть не более 0,5 мкм.

Программное обеспечение системы анализа изображений должно:

- соответствовать ГОСТ Р 8.654;
- обеспечивать ввод данных о происхождении образца, исследовательском оборудовании, дате исследований и других сведений по требованию заказчика;
- управлять системой анализа изображений, включая построение изображения, в том числе в автоматическом режиме при использовании моторизованного столика с автофокусом;
- предоставлять все необходимые инструменты анализа изображений для вычленения изображения условно-закрытых пор;
- проводить обработку необходимого числа измерений, включая расчет параметров структуры условно-закрытых пор в соответствии с поставленной задачей и разработанным алгоритмом расчета (приложение Б);
- сохранять результаты всех измерений, полученных на образце;
- завершить измерения и опубликовать отчет с результатами измерений.

5.2.6 Устройство запоминания изображений, обеспечивающее хранение цифрового изображения образца в постоянной памяти устройства, обрабатывающего изображение, или на информационном носителе до завершения анализа.

5.3 Подготовка образцов для испытаний

Подготовка аншлифа проводится методом люминесцентного контрастирования: на поверхность аншлифа наносится люминофор, заполняющий пустоты образца, избыток которого удаляется с помощью скребка или полиэтиленовой лентой с липким слоем по ГОСТ 20477. На входе регистрирующего устройства (видеокамеры) устанавливается интерференционный светофильтр, настроенный на спектральный диапазон излучения люминофора. Образец закрепляется на предметном подвижном столике установки, поверхность образца устанавливается горизонтально.

5.4 Методика проведения испытания

5.4.1 Регистрация изображений поверхности образца проводится в ультрафиолетовом свете при увеличении не менее 50 крат. Подготовленный образец бетона помещают на столик микроскопа. Исследуемую поверхность выравнивают в плоскости оптического изображения устройства захвата изображения, определяют область анализа и получают цифровое(ые) изображение(я) образца. Для представления всей анализируемой области может использоваться одно изображение, если выполняется условие 5.2.2 (достаточное разрешение изображений для фиксирования объектов длиной 5 мкм), или несколько объединенных изображений. Все перемещения образца должны выполняться в плоскости оптического изображения устройства захвата изображения.

5.4.2 Предварительные данные с цифрового изображения фиксируются числом пикселей. Размер пикселя R в направлении измерения должен быть предоставлен изготовителем или установлен оператором перед проведением анализа, чтобы выразить длину линии в микрометрах (мкм) или миллиметрах (мм). В случае если R — неизменяемая величина для устройства захвата изображения, то ее необходимо устанавливать один раз перед проведением анализа. В случае если R — изменяемая величина (т. е. у устройства захвата изображения нет фиксированного увеличения), то R необходимо устанавливать для каждого анализа с помощью калибровочного стандарта.

5.4.3 Перемещением образца по двум координатным осям под объективом установки обеспечивают отсутствие пересечений регистрируемых изображений поверхности.

5.4.4 Выполняют необходимые этапы по обработке цифрового изображения(й) образца, включающие бинаризацию с последующей сегментаций исследуемых частиц.

5.4.5 В ходе цифрового анализа производится дифференцирование пор, пустот и трещин, принадлежащих как цементному камню, так и заполнителю. Трещины исключаются из расчетов, но, при необходимости, могут быть рассчитаны как любой другой элемент строения.

5.4.6 В результате анализа формируется отчет в электронном виде с помощью технических средств, содержащий полные количественные характеристики объекта исследования. При необходимости отчет должен сохраняться в виде файла в формате, удобном для его дальнейшей обработки.

5.4.7 Методика расчета параметров структуры воздушных условно-закрытых пор приведена в приложении Б.

5.5 Отчет о результатах испытаний

Отчет в результате обработки файла должен обеспечивать получение следующих данных:

$П_з$ — объемное содержание условно-закрытых пор в материале;

S_n — общая площадь условно-закрытых пор в плоскости аншлифа, мм^2;

N_1 — количество условно-закрытых пор в единице объема материала, шт./мм^3;

S_1 — суммарная поверхность условно-закрытых пор в единице объема материала, мм$^{-1}$;

P — общий периметр условно-закрытых пор в плоскости аншлифа, мм;

$\hat{Z}$ — средняя толщина перегородок между условно-закрытыми порами, мм;

$S_{ср}$ — средняя площадь условно-закрытых пор, мм^2;

$P_{ср}$ — средний периметр условно-закрытых пор, мм;

D_1 — приведенный средний диаметр условно-закрытых пор по объему, мм$^{-2}$.

Приложение А
(справочное)

Форма представления результатов расчетов параметров структуры воздушных условно-закрытых пор

Таблица А.1

Наименование исследуемого материала, его характеристики и общая пористость	Номер пришлифовки	$П_з$	$П_{1м}$	$\overline{l}$, мм	n_1,шт./мм^2	$n_{1м}$, шт./мм^2	ρ_0, мм	N_1, шт./мм^3

Продолжение таблицы А.1

Наименование исследуемого материала, его характеристики и общая пористость	Номер пришлифовки	$N_{1м}$, шт./мм^3	S_1, мм$^{-1}$	r_m, мм	$\overline{r}$, мм	r_0, мм	$\hat{r}$, мм	δ_r, мм	$\hat{Z}$, мм	K_H	B_e

Приложение Б
(справочное)

Методика расчета параметров структуры воздушных условно-закрытых пор в составе алгоритма цифрового анализа изображений

Б.1 Методика расчета применима для бинарных (черно-белое) изображений, сформированных по оптическим признакам.

Б.2 Исходные параметры, рассчитанные по бинарному изображению

Б.2.1 $П_з$ — объемное содержание условно-закрытых пор, дол. ед.;

Б.2.2 Ω_i — площадь i-й условно-закрытой поры в сечении аншлифа, мм^2;

Б.2.3 N — общее количество условно-закрытых пор в плоскости аншлифа;

Б.2.4 S — общая площадь аншлифа, мм^2;

Б.3 Формулы для расчета параметров структуры воздушных условно-закрытых пор

Б.3.1 $R_i = \sqrt{\frac{\Omega_i}{\pi}}$ — эффективный радиус i-й поры, мм. (Б.1)

Б.3.2 $P_i = 2\sqrt{\pi\Omega_i} = 2\pi R_i$ — периметр поры, мм. (Б.2)

Б.3.3 Объемное содержание условно-закрытых пор $П_з$ в материале, дол. ед.:

$$П_з = \int_0^\infty \frac{4\pi R^3}{3} \cdot n(R)dR = \frac{1}{S}\sum_{i=1}^{N}\Omega_i. \quad (Б.3)$$

Б.3.4 Общая площадь условно-закрытых пор в плоскости аншлифа S_n, мм^2:

$$S_n = \sum_{i=1}^{N}\Omega_i. \quad (Б.4)$$

Б.3.5 Суммарная поверхность условно-закрытых пор в единице объема материала S_1, мм$^{-1}$:

$$S_1 = \int_0^\infty 4\pi R^2 n(R)dR = \frac{8}{S}\cdot\sum_{i=1}^{N}R_i. \quad (Б.5)$$

Б.3.6 Общий периметр условно-закрытых пор в плоскости аншлифа P, мм:

$$P = \sum_{i=1}^{N}P_i. \quad (Б.6)$$

Б.3.7 Количество условно-закрытых пор в единице объема материала N_1, шт./мм^3:

$$N_1 = \int_0^\infty n(R)dR = \frac{1}{\pi S}\cdot\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{R_i}. \quad (Б.7)$$

Б.3.8 Средняя толщина перегородок между условно-закрытыми порами $\hat{Z}$, мм:

$$\hat{Z} = \frac{1-П_з}{S_1}. \quad (Б.8)$$

Б.3.9 Средняя площадь условно-закрытых пор $S_{ср}$, мм^2:

$$S_{ср} = \frac{S_n}{N}. \quad (Б.9)$$

Б.3.10 Средний периметр условно-закрытых пор $P_{ср}$, мм:

$$P_{ср} = \frac{P}{N}. \quad (Б.10)$$

Б.3.11 Приведенный средний диаметр условно-закрытых пор по объему D_1, мм$^{-2}$:

$$D_1 = \frac{N_1}{S_1}. \quad (Б.11)$$

УДК 691.32:620.17:006.354 ОКС 91.100.30

Ключевые слова: аншлиф, условно-закрытая пора, микроскопический количественный анализ

Редактор *Г.Н. Симонова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *И.Ю. Литовкиной*

Сдано в набор 24.05.2023. Подписано в печать 25.05.2023. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч-изд. л. 2,12.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.

gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru