Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. LXXXVI, 1981 г.

УДК 622.428

ВЫБОР МЕТОДА ИССЛЕДОВАНИЯ ЗОНЫ КОНТАКТА НА ГРАНИЦЕ ЦЕМЕНТНЫЙ КАМЕНЬ – ПОРОДА

Л.А.ТЕРЕЩЕНКО

Одним из резервов увеличения производительности буровых работ является повышение надежности крепления неустойчивых стенок скважин. Известно, что результаты крепления осложненных зон весьма нестабильны. В комплексе проблем, связанных с креплением неустойчивых зон, выделяется вопрос упрочнения контактных зон. Однако данному вопросу посвящено ограниченное количество работ [I-3, 6, II-I4], а основное внимание исследователи уделяют обеспечению прочности сцепления цементного камня с материалом обсадных колонн.

Прочность контакта цементный камень – порода обуславливается взаимодействием частиц вяжущих материалов с горными породами, которое определяется адгезией цементно-водной суспензии и фактической площадью контакта адгезива и поверхности цементируемых пород.

Силы, определяющие адгезионное взаимодействие, можно разделить на две группы [7]. К первой относятся силы взаимодействия частиц с поверхностью до непосредственного соприкосновения тел (молекулярные и отчасти кулоновские силы). Величина этих сил резко убывает с увеличением расстояния между контактирующими поверхностями. Ко второй группе относятся капиллярные силы и силы электрического взаимодействия. Поскольку тампонирование неустойчивых стенок скважин ведется в жидкой среде, капиллярные и электрические силы не проявляются и адгезия частиц в жидких средах обуславливается, главным образом, молекулярными силами. Молекулярное взаимодействие между контактирующими телами рассмотрено достаточно подробно [5, 7, 8, I5].

Выбор метода определяется простотой и надежностью получения результатов исследований. Выделяются четыре группы методов определения сил адгезии.

I. Метод отрыва большого числа частиц. Силы адгезии равны по значению и обратны по знаку силам отрыва. Наиболее просто и доступно определение силы отрыва частиц по углу наклона поверхности α :

$$F_{отр} = V(\rho_1 - \rho_2)\, g \sin\alpha ,$$

где V – объем частиц; ρ_1, ρ_2 – плотность частицы и жидкости соответственно.

Этот метод был использован Г.И.Фуксом [16] и применялся для определения сил адгезии в жидких средах. Необходимо отметить, что метод применим в случаях, когда сила взаимодействия частиц с поверхностью меньше веса этих частиц. Для мелких частиц (размером менее 20 мк) требуется отрывающая сила большая, чем возникающая при наклоне „запыленной" поверхности. Если размеры частиц по фракциям значительно колеблются, что наблюдается в цементном клинкере, точность метода снижается и он практически становится непригодным.

Отрыв большого числа частиц возможен центробежным способом, основанном на отрыве частиц от тела с „запыленной" поверхностью при вращении его вокруг горизонтальной или вертикальной оси. Величина силы отрыва

$$F_{отр} = V(\rho_1 - \rho_2)(\bar{j} + g),$$

где $\bar{j}$ - центробежное ускорение, $\bar{j} = \omega^2 l$; ω - угловая скорость вращения запыленной поверхности, $\omega = \frac{2\pi n}{60}$; l - расстояние запыленной поверхности от оси вращения; n - частота вращения запыленной поверхности.

При исследовании сил адгезии в зоне контакта цементный камень - порода центробежный способ может быть использован в весьма ограниченном интервале времени - в период протекания гидратационной и коагуляционной стадий структурообразования цементного камня.

2. Метод отрыва отдельных частиц. Для измерений используются два типа установок, различающихся способами отрыва частиц [7]. В установках первого типа силы адгезии определяются маятниковым способом, где к свободно висящей частице приближают вертикальную пластину до возникновения контакта. Затем пластину перемещают в направлении, перпендикулярном поверхности контакта. Отклонение (угол α) подвешенной частицы от вертикали обусловлено действием сил адгезии:

$$F_{ад} = m g \sin\alpha ,$$

где m - масса частицы.

В установках второго типа силы адгезии находятся по величине удлинения кварцевой пружины в момент отрыва частицы

$$F_{ад} = c \Delta h ,$$

где c - параметр, характеризующий жесткость пружины; Δh - удлинение пружины в момент отрыва.

Необходимо отметить, что метод может быть использован для определения сил адгезии только в атмосферных условиях, а используемая аппаратура уникальна и сложна, поэтому метод практически неприменим для исследования процессов в контактной зоне цементный камень - порода.

3. Методы, моделирующие адгезию. Адгезия частиц в жидких средах исследуется методом плоскопараллельных дисков [7, 16]. При этом используется прибор для определения силы взаимодействия коллоидных частиц. В этом случае исследуется влияние жидкой фазы и величины зазора на силу адгезии между контактирующими телами. Недостатком метода является возникновение вибраций и трения в сопряженных узлах прибора.

4. К о с в е н н ы е м е т о д ы. Они позволяют оценить качество контакта на границе цементный камень - порода без определения количественных значений сил адгезии. Методы основаны на изучении структурно-механических свойств контактной зоны и позволяют установить связь между свойствами, структурными изменениями, составом и параметрами цементных смесей. К косвенным методам относятся: методы дефектоскопии, электронной и оптической микроскопии, микротвердометрии.

К наиболее распространенным методам дефектоскопии относится рентгенографический контроль, основанный на воздействии рентгеновских или гамма-лучей, прошедших через контролируемое соединение, на фотопленку. Метод требует сложной аппаратуры, эффективной защиты и специальных лабораторий.

В настоящее время широко применяется ультразвуковой метод неразрушающего контроля, обеспечивающий высокую чувствительность к выявлению дефектов. Известно, что ультразвуковые волны отражаются и преломляются на границах раздела твердых тел, имеющих различные акустические сопротивления. Цементы и горные породы относятся к материалам с высоким коэффициентом затухания ультразвуковых волн. Естественно, что ультразвуковой контроль соединений тампонажных материалов с горными породами следует проводить на низких частотах, поскольку затухание ультразвука на низких частотах менее интенсивно, чем на высоких. Из существующих методов ультразвуковой дефектоскопии материалов с высоким коэффициентом затухания наиболее приемлемыми являются теневой и импульсный эхометоды. Для ультразвукового контроля следует использовать дефектоскопы, позволяющие работать на частотах до I МГц.

Метод ультразвуковой дефектоскопии также имеет практическое применение при исследовании контактной прочности сцепления цементного камня с породами непосредственно в разведочных скважинах.

Для изучения возникновения новообразований в зонах контакта на границе цементный камень - заполнитель в бетонах проведены работы с применением электронной и оптической микроскопии [9]. Метод позволяет наблюдать возникновение на поверхности заполнителя (кварца) как подложки высокодисперсных „вторичных" кристаллов новообразований, различных по форме и дефектности. В частности, отмечено, что на поверхности скола и $\bar{1}0\bar{1}0$ кварца на начальных стадиях растворения C_3S при высоких пересыщениях SiO_2 и максимальной скорости кристаллизации выделяются дисковидные кристаллы, которые в дальнейшем при понижении пересыщений вырастают в волокна, ориентированные параллельно друг другу и нормально к поверхности подложки. В этом случае волокнистые кристаллы „сшивают" контактный слой вяжущего с поверхностью зерна заполнителя, обеспечивая высокую прочность межфазного контакта в результате срастания, а не просто механического сцепления фаз.

Полученные данные дают представление о механизме влияния заполнителей на кинетику кристаллизационного структурообразования при твердении минеральных вяжущих веществ. Это влияние обусловлено ролью заполнителей как подложек для зародышей новой гидратной фазы. Исходя из аналогии систем цементный камень - заполнитель и цементный камень - порода, метод

представляется перспективным при изучении вопросов упрочнения контактных зон вяжущих с породами стенок скважин.

Метод микротвердометрии позволяет определить прочность и структуру контактной зоны путем микроскопических наблюдений с одновременной регистрацией механических свойств цементного камня в объеме. При этом зоной контакта следует считать микрообъем вблизи поверхности раздела цементный камень - порода, включающий поверхностный микрослой зерна породы и прилегающий к нему микрослой вяжущего [10]. В большинстве случаев контактные микрослои цементного камня и породы отличаются по своим механическим свойствам от свойств материала в объеме. Их прочность характеризуется величиной микротвердости, которая для цементного камня изменяется аналогично его объемной прочности в зависимости от состава и дисперсности исходного цемента, водоцементного отношения, условий и длительности твердения.

Микротвердость определяется на приборе ПМТ-3 по отношению нагрузки на алмазную пирамиду к длине диагонали отпечатка, который образуется при вдавливании пирамиды. Метод микротвердометрии широко применяется в минералогических исследованиях и при изучении кинетики твердения бетонов. Наиболее отвечающей задачей исследований контактной зоны является методика, впервые предложенная Т.Ю.Любимовой [4].

В соответствии с этой методикой исследуемые образцы твердеют в гидравлических условиях, периодически изготовляются аншлифы, плоскость которых пересекает как цементный камень, так и породу. Наименьшее расстояние от границы раздела фаз, на котором возможны измерения микротвердости, определяется высотой и формой рельефа зерна, размерами и ориентацией отпечатка относительно границы. Практически всегда имеется недоступная для измерений область контактного слоя непосредственно вблизи зерна (шириной от 5 до 10 мк). Параллельно проводятся две серии опытов: 1) аншлифы делаются на одном и том же образце, при каждом новом испытании поверхность аншлифа обновляется, причем с нее снимается слой толщиной 0,3-0,5 мм; 2) испытания проводятся каждый раз на новом образце-близнеце, твердевшем до испытания под парафином.

Каждое значение микротвердости есть среднее из 15-18 измерений, разброс отдельных значений характеризуется средним квадратичным отклонением, которое колеблется от ± 1 до ± 6 % в объеме и от ± 4 до ± 12 % в зоне контакта. В процессе измерений устраняется возможность высыхания образца, что проверяется сравнением микротвердости одних и тех же участков в начале и в конце измерений.

Таким образом, метод микротвердометрии может быть принят за основной, как наиболее используемый с хорошо разработанной методикой, дающий вполне удовлетворяющие задаче исследований погрешности измерений. Кроме того, применяемая при исследованиях аппаратура проста в эксплуатации и недефицитна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аветисов А.Г., Бондарев В.И., Динмухаметов Д.Х. и др. Прогнозирование качества контакта цементного камня с обсадной колонной. М., РНТС ВНИИОЭНГ. 1977, сер. Бурение, вып. 3.

2. Вязельщиков В.М., Пустовалов В.И. Исследование зоны контакта цементного камня с солями методом микротвердометрии. – В кн.: Бурение глубоких скважин на Приволжской моноклинали и в Прикаспийской впадине. – Тр. ВОЛГОГРАДНИПИнефть, Волгоград, Нижне-Волжское книжное изд-во, 1973, вып. 20.

3. Газизов А.Ш. Влияние полимерных добавок на основе смол ФР-12 и ТСД-9 на герметичность контакта цементного камня с горными породами. – В кн.: Техника и технология бурения скважин в осложненных условиях. – Тр. ТатНИПИнефть. Казань, 1973, вып. 23.

4. Горелышев М.В., Любимова Т.Ю., Агапова Р.А. Физико-химические методы характеристики свойств и структуры дорожно-строительных материалов. М., Автотрансиздат, 1961.

5. Горелик В.Н., Смилга В.П. Вычисление силы взаимодействия микроскопических тел, разделенных тонкой пленкой раствора электролита. – Коллоидный журнал, 1972, т.34, № 5.

6. Долгих Л.П., Шилов А.М., Поплаухин А.М. Исследование сцепления цементного камня магнезиальных вяжущих с минеральными солями и металлом. – В кн.: Бурение глубоких скважин на Приволжской моноклинали и в Прикаспийской впадине. Волгоград, Нижне-Волжское книжное изд-во, 1978.

7. Зимон А.Д. Адгезия пыли и порошков. М., Химия, 1976.

8. Зимон А.Д., Серебряков Г.А. Адгезия на шероховатой поверхности. – Журнал физической химии, 1971, т. 45, № 1.

9. Любимова Т.Ю., Ребиндер П.А. Исследование кристаллизационной структуры твердеющих минеральных веществ в зоне контакта с заполнителями методами электронной и оптической микроскопии. ДАН СССР, М., 1971, т. 201, № 5.

10. Любимова Т.Ю. Особенности кристаллизационного твердения минеральных вяжущих веществ в зоне контакта с различными твердыми фазами (заполнителями). – В кн.: Физико-химическая механика дисперсных структур. М., Наука, 1966.

11. Нурыев Т. Исследование прочности сцепления цементного камня с обсадными колоннами. – В кн.: Материалы X научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава Туркменского политехнического института, Ашхабад, 1976.

12. Пермин С.М., Вахаб А., Фадил А.Р. Определение прочности связи стеклопластиковой обсадной трубы с цементным камнем. – В кн.: Физико-химическая механика материалов. Киев, Наукова Думка, 1973, т. 9, № 3.

13. Прасолов В.А., Голышкина Л.А., Овенкина А.И. и др. Сопротивляемость контакта „цемент – труба" механическим нагрузкам в зависимости от времени твердения тампонирующих смесей. – В кн.: Техника и технология бурения скважин в осложнейных условиях. – Тр. ТатНИПИнефть. Казань, 1973, вып. 23.

14. Рахимов А.К. Исследование сил сцепления цементного камня с горными породами. – В кн.: Некоторые вопросы строительства скважин в осложненных условиях Узбекистана. Ташкент, САИГИМС, 1972, вып. 6.

15. Шелудко А.Д. Новое в исследованиях тонких слоев. – В кн.: Успехи коллоидной химии. М., Наука, 1973.

16. Фукс Г.И. О силах контактных взаимодействий твердых частиц в жидкой среде. – В кн.: Успехи коллоидной химии. М., Наука, 1973.