© Г.Г. Богачев, 2005

УДК 69.035.4

Г.Г. Богачев

ВЛИЯНИЕ ТОНКОСТИ ПОМОЛА ЦЕМЕНТА БЕТОННЫХ ОБДЕЛОК ПОДЗЕМНЫХ СООРУЖЕНИЙ НА ИХ НАДЕЖНОСТЬ И ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Несмотря на высокие требования к проектированию и производству работ при строительстве подземных сооружений их несущие конструкции обладают рядом существенных дефектов, в непродолжительное время приводящих к выходу подземных объектов из строя и дорогостоящим ремонтам.

Результаты обследования обделок подземных сооружений показывают, что появление дефектов начинается с образования мокрых пятен и, в конечном итоге, «свищей», вынос грунта через которые нарушает статическую работу колец обделки.

Анализ характера развития дефектов в бетонных обделках подземных сооружений ставит вопрос о влиянии рецептуры приготовления бетона и входящих в него компонентов на прочностные характеристики обделок, их устойчивость к агрессивным компонентам в крайне сложных горно-, гидрогеологических и геомеханических условиях их эксплуатации.

Одной из основных характеристик бетона, определяющих его прочность и структуру, а, следовательно, его устойчивость к внешним воздействиям, является тонкость помола цемента, из которого выполнен бетон обделки подземного сооружения. Для численного выражения тонкости помола цемента используют понятие **удельная поверхность цемента** – *суммарная внешняя поверхность частиц в одном грамме цемента* (см^2/г). Следовательно, чем тоньше помол цемента, тем больше его удельная поверхность.

Изначально было замечено, чем тоньше помол цемента, тем выше его прочность. Это послужило главным аргументом в пользу увеличения тонкости помола (табл. 1) [10, 11].

Согласно Шестоперову С.В. при наличии большей общей поверхности цемента, доступной для воды затворения, увеличивается скорость и степень гидратации, в результате чего уменьшается время схватывания и в начальный период твердения происходит быстрый набор прочности. Это дает сокращение сроков распалубки и уменьшения расхода цемента на 1 м^3 бетона в результате полной гидратации цементного зерна. При этом существует мнение о необходимости содержания негидратированной части цемента как резерва, как гарантии против возникновения угрозы разрушения.

Но, как следует из табл. 1 при достижении определенной тонкости помола в бетоне происходит спад прочности.

Общий вид кривой роста прочности цементного камня в зависимости от удельной поверхности цемента показан на рис. 1. Кривая может смещаться вправо или лево, а также быть более пологой в зависимости от химико-минералогического и гранулометрического состава.

Таблица 1

Цемент	Удельная поверхность *S*, см²/г	Нормальная густота	Сроки схватывания		Продолжительность твердения, сутки.			
			начало	конец	3	7	28	90
					Предел прочности при сжатии, кг/см²			
Белгородский	14730	24,0	2-55	4-25	315	398	532	631
	18600	26,0	4-50	6-40	424	471	655	737
	21050	26,5	2-40	4-05	488	592	714	810
	25260*	29,2	0-15	2-45	478	555	580	711
Броценский	13100	25,5	3-45	5-40	366	430	570	633
	15730	25,0	2-20	4-05	430	535	606	677
	18130	27,5	3-05	5-10	393	486	575	679
	20330	26,2	1-50	4-45	457	606	696	795

* По прибору Дерягина 25560 ≈ 5000 см²/г по прибору Товарова

В связи с этим возникает вопрос об оптимальных пределах тонкости помола, при котором может быть получена максимальная прочность бетонных конструкций подземного сооружения. По данным Ахвердова И.Н. [1, 2] с учетом химико-минералогичес-кого состава, условий твердения и времени оптимальная величина удельной поверхности примерно равна 6000 см²/г (по обычному прибору Торопова).

Однако, как показали исследования В.М. Москвина [5], высокая прочность бетона не является главным критерием долговечности бетонных конструкций подземных сооружений, так как основной причиной преждевременного выхода из строя бетонной конструкции является не низкая прочность, а потеря прочности в результате коррозионных процессов в бетоне под действием агрессивной среды. Им же выделено три вида коррозии.

Хотя процессы, протекающие при этих видах коррозии различны, стойкость бетона ко всем видам коррозии напрямую зависит от структуры бетона, являющимся капилярно-пористым материалом.

Тонкость помола оказывает влияние на структуру бетона (табл. 2) [9].

Из таблицы следует, что при увеличении тонкости помола увеличивается плотность и уменьшается общая пористость. Это говорит о необходимости увеличения удельной поверхности до максимально возможной. Однако общая пористость не дает полного представления о поровом пространстве и, следовательно, о стойкости бетона к агрессивным средам. Поэтому было предложено разделить пористость на виды – сквозную и тупиковую, а сами поры подразделить по диаметру и происхождению [3].

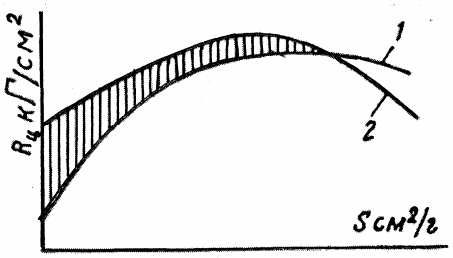

Рис. 1. Общий вид кривой роста прочности цементного камня в зависимости от удельной поверхности: 1 – в возрасте 3 суток. 2 – в возрасте 28суток

Таблица 2

Цемент	Удельная поверхность см^2/г	Объемный вес г/ см^2	Удельный вес г/ см^2	Общая пористость в %
1	3000	2,254	2,636	14,5
	4500	2,275	2,597	12,4
	6000	2,194	2,486	11,7
2	3000	2,22	2,614	15,1
	4500	2,221	5,25	13,2
	6000	2,23	2,554	12,7
3	3000	2,256	2,606	13,4
	4500	2,234	2,557	12,6
	6000	2,244	2,54	11,6
4	3000	2,22	2,606	14,8
	4500	2,278	2,565	11,2
	6000	2,276	2,533	10,1

Таблица 3

Удельная поверхность см^2/г	Суммарная пористость см^2/г	Пористость образцов при радиусе пор в %.		
		30-50 А	50-1000 А	1000-20 мк
3000	0,072	15	53	32
4500	0,049	4	55	41

Таблица 4

Удельная поверхность см^2/г	Общая пористость в %	Пористость образцов при радиусе пор в %.				
		Менее $5\cdot10^{-3}$	$5\cdot10^{-3}$ - $1\cdot10^{-3}$	$1\cdot10^{-3}$- $1\cdot10^{-2}$	Более $1\cdot10^{-2}$	Сквозная
2060	18,7	15	20,8	25,8	38,4	25,7
3400	17,4	21,4	43,2	5,9	29,5	47,8

Таблица 5

Срок твердения, сутки	Общая пористость в см^3/г	Пористость образцов при радиусе пор в %.			
		Более 10^4 А	10^4 А- 10^3 А	10^3 А-10^2 А	10^2 А-40 А
7	0,0555	16,2	15,7	26,7	41,4
28	0,0401	23,7	9,7	21,4	45,2
90	0,0322	8,4	7,4	30,9	53,2
180	0,0237	8,0	4,2	32,9	54,9

Наиболее опасной является сквозная пористость, которая позволяет коррозирующему агенту фильтроваться через все тело бетонной обделки подземного сооружения и дает возможность выноса компонентов цементного камня из бетона.

Исходя из этой классификации ряд исследователей [6, 7] при проведении экспериментов выявил, что при увеличении удельной поверхности, несмотря на уменьшение общей пористости, происходит увеличение процента сквозной порис-

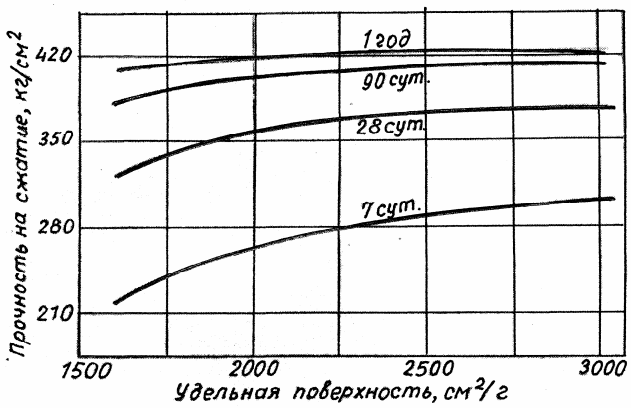

Рис. 2. Влияние удельной поверхности на прочность

тости и увеличение числа макропор (табл. 3, табл. 4).

При оценке влияния тонкости помола на поровую структуру бетонных обделок подземных сооружений необходимо учитывать влияние других факторов, таких как водоцементное отношение, условия твердения и химико-минералогический состав.

Как следует из работы Стольникова В.В. [6], увеличения удельной поверхности цемента дает положительный эффект. Так для цементного камня с удельной поверхностью цемента 1950 см^2/г размер среднего диаметра макропор составлял 25 мк, а для цементного камня с $S_{уд}$ = 3000 см^2/г размер макропор снизился до одного микрона. При этом не учитывалось водоцементное отношение, которое составляло от 0,7 до 1 и во много превышало максимально оптимальную величину равную 1,67 $K_{н.г.}$ (0,4-0,45) [2], что должно негативно сказаться на структуре бетона.

По данным В.М. Москвина [5] при В/Ц >0,7 в цементном камне образуется непрерывная система капилляров достаточно больших для проникновения ртути. Как следствие при высоких (более 0,7) В/Ц не могут быть получены бетоны стойкие к агрессивной среде. Поэтому необходимо подвергнуть сом-нению результаты, полученные Стольниковым В.В.

Необходимо также учитывать фактор времени. Как следует из табл. 5 со временем в цементном камне с малой удельной поверхностью вследствие продолжающейся гидратации происходит переход макропор в капиллярные и гелевые. В результате этого повышается стойкость бетона конструкций подземных сооружений к агрессивным средам. При этом в цементном камне на тонкомолотых цементах количество макропор остается прежнем, так как зерна цемента уже полностью прогидрати-ровали.

В результате продолжающийся гидратации происходит повышение прочности бетона, которая со временем приближается к прочности бетонов на цементах с большей удельной поверхностью (рис. 2).

Тонкость помола цемента взаимосвязана с гранулометрическим составом и оказывает на него влияние. Так при увеличении тонкости помола цемента происходит увеличение процента частиц цемента с диаметром менее 5μ, которые быстро гидратируют, давая высокую начальную прочность, но и большую усадочную деформацию и, быстро распадаясь, приводят к спаду прочности.

Поэтому необходимо регулировать количество таких частиц, и единственно возможный путь для повышения прочности бетонных конструкций подземных сооружений – это изменение тонкости помола цемента при изготовлении бетонных смесей.

Основными выводами являются:

1. Тонкость помола цемента является важной характеристикой бетона, которую необходимо учитывать при проектировании состава бетона для конструкций подземных сооружений.

2. Величина удельной поверхности цемента определяется исходя из конкретных условий: назначения конструкции подземного сооружения, ее необходимой прочно-

сти, агрессивности внешней среды, возможности дополнительной защиты от коррозии с учетом вводимых добавок и может составлять от $S_{уд}$ = 1000–1500 см^2/г до $S_{уд}$ = =3000–3500 см^2/г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ахвердов И.Н.* Высокопрочный бетон. – М.: Стройиздат, 1961.
2. *Ахвердов И.Н.* Основы физики бетона. – М.: Стройиздат, 1981.
3. *Иванов Ф.М.* Долговечность железобетона в агрессивных средах. – 1990.
4. *Ли Ф.М.* Химия цемента. – 1962.
5. Москвин В.М. Коррозия бетона и железобетона. Методы их защиты. – М.: Недра, 1980.
5. *Стольников В.В.* Исследования по гидротехническому бетону. – 1962.
7. *Чеховский Ю.В.* О кинетике формирования поровой структуры цементного камня. – М.: Энергия, 1974.
8. *Шейкин А.Е.* Структура и свойства цементных бетонов. – М.: Стройиздат, 1979.
9. *Шейкин А.Е. Олейникова Н.И.* Влияние тепловлажностной обработки и тонкости помола цемента на структуру и свойства цементного камня. – 1964.
10. *Шестоперов С.В.* Долговечность бетона. – 1955.
11. *Шестоперов С.В.* Долговечность бетона транспортных сооружений. – 1966.

Коротко об авторах

Богачев Г.Г. – аспирант, кафедра «Строительство подземных сооружений и шахт», Московский государственный горный университет.

ДИССЕРТАЦИИ

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
РЫБАК Лев Владимирович	Совершенствование организации работы карьерного автотранспорта на основе компьютерных технологий	05.02.22	к.т.н.
СЕЛЕЗНЕВА Дарья Александровна	Экономическое обоснование оперативных производственных программ камнеобрабатывающих предприятий	08.00.05	к.э.н.