

РЕГУЛИРОВАНИЕ МОРОЗОСТОЙКОСТИ БЕТОНА НА ШЛАКОПОРТЛАНДЦЕМЕНТАХ

Б.Я. Трофимов

Рассматриваются вопросы оптимизации содержания шлака в шлакопортландцементе и способы регулирования морозостойкости пропаренного бетона, применяемого для сборных железобетонных изделий.

Применение шлакопортландцементов при производстве сборного и монолитного железобетона с использованием прогревных способов ускорения твердения бетона позволяет добиваться наибольшей экономии топливно-энергетических ресурсов в связи с чем доля производства таких цементов в некоторых странах достигает 40...65% при содержании шлака до 80...90%. В ряде регионов нашей страны также высока доля потребления шлакопортландцементов, для расширения области применения бетонов на шлакопортландцементе необходимо выяснить возможность применения таких бетонов для изделий с нормируемыми требованиями по морозостойкости. Имеющиеся публикации и нормативные документы противоречивы: с одной стороны ограничивают применение таких цементов для изделий с морозостойкостью бетона марок до F 75... 100, или разрешают их применение для более высоких значений марок по морозостойкости при содержании шлака в шлакопортландцементе не более 30...35%, с другой стороны имеются сведения о возможности получения бетонов на таких цементах с маркой по морозостойкости F 500 и более.

В связи с большой эффективностью применения бетона на шлакопортландцементе для сборных железобетонных изделий особенно важно выявление возможности и пределов регулирования морозостойкости бетонов, прошедших тепловлажностную обработку. В этих условиях формируется более тонкодисперсная, повышенной стабильности при циклическом замораживании структура гидратных новообразований именно при использовании шлакопортландцементов. Следовательно, основным способом повышения морозостойкости таких бетонов должно стать уменьшение капиллярной и рост резервной пористости.

Для экспериментальной проверки морозостойкости бетона были приготовлены в лабораторной шаровой мельнице шлакопортландцементы совместным помолотом клинкера Коркинского цементного завода, кислого (Мо 1) гранулированного доменного шлака ЧМЗ и двухводного гипса. Граншлак получается мокрой грануляцией бассейновым способом и характеризуется содержанием стеклофазы в пределах 90...95% по массе, при

остаточной влажности 25...30% по массе. К основным кристаллическим фазам шлака относится мелилит ($2\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{SiO}_2$), к второстепенным – волластонит ($\beta\text{-CaOSiO}_2$) и анортит ($\text{CaOAl}_2\text{O}_3\text{2SiO}_2$), которые вяжущими свойствами в тонкомолотом виде не обладают. Изготавливались пять разновидностей цементов с различным содержанием шлака от 0 до 90%.

Введение 22,5% шлака в состав вяжущего не ухудшает его свойства, при 45% шлака на 10% снижается прочность при сжатии и незначительно (на 1,5%) при изгибе. Введение 67,5 и 90% шлака резко (более чем в 2 раза) снижает активность цемента, что, вероятно, связано с недостаточным количеством активизатора (Ca(OH)_2), необходимого для возбуждения гидравлической активности шлака.

Количество образующейся при гидратации цемента извести в процентах от массы клинкерной части

$$\text{CH} = 0,49\alpha C_3\text{S} + 0,22\beta C_2\text{S}. \quad (1)$$

Принимая после пропаривания степень гидратации алита $\alpha = 0,8$, а белита $\beta = 0,2$, из (1) получим

$$\text{CH} = 0,392C_3\text{S} + 0,044C_2\text{S}. \quad (2)$$

Количество извести, связываемое шлаком в зависимости от его активности, находится в пределах 15...25% от массы шлака. Тогда оптимальная доля шлака в составе шлакопортландцемента может быть определена из соотношения:

$$\frac{\text{CH}(0,95 - \text{Ш})}{\text{Ш}} = 15...25, \quad (3)$$

где Ш – содержание шлака в долях единицы от суммы шлака и клинкерной части в составе смешанного вяжущего;

0,95 – суммарная доля шлака и клинкерной составляющей в составе шлакопортландцемента.

Из (3) получаем:

$$\text{Ш} = \frac{0,95\text{CH}}{\text{CH} + 15...25}, \quad (4)$$

или с учетом минералогического состава клинкера:

$$\text{Ш} = \frac{0,372C_3\text{S} + 0,042C_2\text{S}}{0,392C_3\text{S} + 0,044C_2\text{S} + (15...25)}, \quad (5)$$

где C_3S , C_2S - содержание алита и белита в клинкере, % по массе.

В Коркинском клинкере содержится 57 % алита и 20 % белита. Для активации кислого доменного шлака требуется повышенное количество извести (принимается верхний предел - 25 %). Тогда оптимальная доля шлака в шлакопортландцементе Коркинского завода со шлаком ЧМЗ составит 0,457, что близко к экспериментальным результатам по прочности.

Составы бетона, использованные для изготовления образцов на цементах с различным содержанием шлака, приведены в табл. 1.

Для регулирования пористости бетона вводились пластифицирующие, воздухововлекающие и ускоряющие твердение добавки: смола воздухововлекающая (СНВ) 0,02 % от массы цемента совместно с техническим лигносульфонатом (ЛСТ) 0,25 %, суперпластификатор на нафталиновой основе С-4 в количестве 0,7 % совместно с 0,02 % СНВ, отдельно суперпластификатор С-4 - 0,7 %, этилсиликат натрия (ГКЖ-10) 0,15 %, нейтрализованный черный контакт (НЧК) 0,01 % совместно с сульфатом натрия (СН) - 1 %.

Морозостойкость бетона определялась испытанием морозостойкости образцов кубов с ребром 100 мм, которые пропаривались по режиму 4+4+8+2 при температуре изотермической выдержки 358 К для образцов на чисто клинкерном цементе и 368 К при введении шлака в состав цемента. Насыщение образцов водой проводилось в течение 4 суток, через 7 суток после пропарки образцы подвергались циклическому замораживанию по основному способу в соответствии с ГОСТ 10060. Результаты определения морозостойкости бетона на цементах с различным содержанием шлака, добавками и начальной величиной В/Ц приведены в табл. 2.

Увеличение исходного В/Ц приводит к резкому уменьшению морозостойкости бетона. Смешанное вяжущее, также как и чисто клинкерное при высоких В/Ц не позволяет получать бетоны с

Увеличение исходного В/Ц приводит к резкому уменьшению морозостойкости бетона. Смешанное вяжущее, также как и чисто клинкерное при высоких В/Ц не позволяет получать бетоны с

Принятые составы бетона на цементах с различным содержанием шлака для определения морозостойкости

Таблица 1

№	В/Ц	Количество шлака в цементе, %	Количество, кг, на 1 м ³ бетонной смеси				Средняя плотность бетонной смеси, кг/м ³
			цемента	песка	щебня	воды	
1	0,3	0	553	462	1258	166	2439
2	0,6	0	276	620	1333	166	2386
3	0,3	50	620	386	1226	186	2418
4	0,6	90	310	569	1304	186	2369
5	0,375	45	483	487	1253	181	2404
6	0,525	45	345	562	1259	181	2383
7	0,45	22,5	402	490	1319	181	2392
8	0,45	67,5	402	490	1319	181	2392
9	0,45	45	412	490	1319	181	2392

Результаты определения морозостойкости бетона с добавками

Таблица 2

Составы бетона по табл. 1	Морозостойкость бетона в циклах					
	Без добавок	СНВ+ЛСТ	С-4+СНВ	С-4	ГКЖ-10	НЧК+СН
1	430	>450	>450	>450	>450	>450
2	43	>100	101	106	106	>100
3	465	>450	>480	>480	>480	387
4	35	110	>100	75	>75	>75
5	>450	>450	>450	415	>450	>450
6	82	>150	>150	>150	>150	>150
7	154	>200	>200	>200	>200	>200
8	212	294	>200	194	>200	>200
9	158	202	>200	154	>200	>200

Примечания:

- Точное количество циклов, соответствующее 5 % падению прочности циклически замораживаемых образцов, находилось линейным интерполированием при устойчивом падении прочности в двух последних определениях с интервалом 25-50 циклов.

- Знак > обозначает, что после соответствующего количества циклических замораживаний не было падения прочности, или оно было меньше нормируемого падения.

морозостойкостью более 30...50 циклов. Уменьшение В/Ц повышает морозостойкость бетона также на обеих разновидностях вяжущего. Увеличение количества шлака в цементе с 22,5 % до 75 % при постоянных значениях начального В/Ц незначительно изменяет морозостойкость бетона (составы 7, 8, 9 табл. 2). Введение добавок, регулирующих характер поровой структуры бетона за счет водоредуцирования и воздухововлечения (СНВ + ЛСТ, С-4 + СНВ), в наибольшей мере способствует повышению морозостойкости бетона. Для бетона на цементе без шлака эффективны также гидрофобизирующие добавки (ГКЖ-10, НЧК + СН). Высокая морозостойкость пропаренного бетона может быть обеспечена на смешанном вяжущем, содержащим 90 % шлака.

Из полученных результатов следует вывод - введением добавок в состав пропаренного бетона удается значительно повысить его морозостой-

кость, причем количество шлака в цементе (вплоть до 90 %) практически не оказывает отрицательного влияния на этот показатель. Наоборот, с увеличением содержания шлака в цементе до 45 % наблюдается повышение морозостойкости бетона. И только при большем содержании шлака в вяжущем отмечается незначительное снижение морозостойкости, которая остается выше стойкости при циклическом замораживании образцов бетона на чисто клинкерном цементе.

Таким образом, проведенные исследования подтвердили возможность получения пропаренного бетона высокой морозостойкости при использовании шлакопортландцементов с содержанием кислого доменного гранулированного шлака до 90 % при неизменной условии уменьшения макропористости и создании резервной пористости бетона за счет введения пластифицирующе-воздухововлекающих добавок и снижения исходного В/Ц.