

ТВЕРДЕНИЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО БЕТОНА В НАТУРАЛЬНЫХ ЗИМНИХ УСЛОВИЯХ

Описываются эксперименты, целью которых было определение влияния низкой температуры на процесс схватывания и твердения высокопрочного бетона. В декабре при окружающей температуре ниже 0 °C всякие бетонные работы обычно прерываются. Применение высококачественных морозостойких материалов привело к значительному прогрессу технологии бетонов. Это дает возможность быстро и легко приготовить высокопрочные бетоны. Надо поставить вопрос, возможно ли производство бетонов при пониженных температурах, связанное с возведением бетонных конструкций зимой.

The month of December usually means the start of freezing temperatures. That does not mean that concrete placement should be suspended during the temperature below zero. A new formulation approach by using ultra-fines materials supported by strong development of new admixtures open the way over the last years to amazing progresses in concrete technology. Rapid development of the concrete technologies gives possibility of easy preparing High Performance Concrete. There is a question if High Performance Concrete can be easily created in low temperature. This consideration gives also opinion to another examples in civil engineering realised in the conditions of temperature below zero

Последние годы – время развития производства и применения высокопрочных бетонов – HPC (High Performance Concrete). Значительный прогресс технологии производства этих бетонов расширяет область их применений. Одним из вопросов, требующих исследований, является бетонирование при пониженных температурах, связанное с возможностью возведения бетонных конструкций зимой, а также крепления выработок методом искусственного замораживания пород.

Способ получения HPC – формирование плотной бетонной смеси при уменьшении водоцементного отношения или уплотнении бетонной смеси путем ограничения капиллярных пор микрозернистой фазой. Для этого применяется добавка кремнистых пылей, летучих зол или молотый гранулированный шлак, а также принимаются низкие величины водоцементного отношения $B/C < 0,4$, которые можно получить для литьих смесей, используя разного типа пластификаторы и суперпластификаторы. Эти бетоны характеризуются

повышенной плотностью, однородностью структуры, а также высокой прочностью и долговечностью.

До сих пор не разработаны стандарты, касающиеся проектирования высокопрочных бетонов. Поэтому, устанавливая состав смесей, приходится пользоваться общими указаниями [1, 9], а также опытами и методами, рекомендованными разными исследователями [3, 6, 8]. Каждая разработанная рецептура должна подвергаться уточнению путем пробных замесов и проверки заранее предположенных свойств.

Гидратация вяжущих веществ – это экзотермический процесс, в котором большинство тепла выделяется в течение первых десятков часов после замеса.

Повышение температуры бетона вследствие реакции гидратации цемента зависит от многих факторов, таких как вид и количество использованного цемента, начальная температура бетона, свойства заполнителей, окружающей температуры, термодинамических условий твердения или геометрии и вида конструкции.

Во время ведения бетонных работ уже при температуре ниже 10 °С наступает замедление схватывания бетонной смеси, а также понижение начальной прочности. Вода, замерзая, увеличивает свой объем приблизительно на 9 %. Это может вызвать разрыхление структуры свежеуложенного бетона или даже ее сплошной разрыв. Вторым неблагоприятным эффектом замерзания воды является то, что она не принимает участия в реакции гидратации цемента, что нарушает или даже прерывает протекание этой реакции. По этой причине замораживание бетона должно произойти не раньше, чем за 24 ч. после замешивания [7]. Кроме того, разность температур в поперечном разрезе бетонированного элемента способствует возникновению температурных трещин.

Целью исследований было определение влияния низкой температуры на процесс схватывания и твердения высокопрочного бетона, рецептура которого показана ниже:

Цемент (Ц), кг/м ³	500
Микрокремнезем (МК), кг/м ³	50
Вода (В), кг/м ³	196
Суперпластификатор (СП), кг/м ³	12,5
	0-2
Заполнитель, кг/м ³	624
	2-8
	8-16
(В+СП)/(Ц+МК)	0,38

Зависимости были проверены путем исследования ранней прочности на сжатие (после двух и семи суток твердения) бетонных образцов размером $10 \times 10 \times 10$ см, твердеющих в лабораторных условиях (температура 18°C , выдерживание в воде), а также в натуральных зимних условиях, которые выступали во время исследований. В течение первых двух суток окружающая температура была равна 2°C , а затем колебалась в пределах от -4 до -8°C .

Для проведения исследований была изгото-
влена цилиндрическая модель диамет-
ром 22 см. Для измерения температур был
использован восьмиканальный термометр
LB-711. Это современная конструкция, ос-
нованная на продуктивном и энергетически
экономном микропроцессорном командо-
контроллере и точном аналого-цифровом
преобразователе А/С.

Наблюдения за ходом температуры во времени позволили ответить на вопросы: не наступило ли чрезмерное охлаждение бетона и как протекает процесс гидратации. Во время проведения исследования наступило значительное замедление процесса схватывания, но этот процесс протекал плавно.

Бетон достиг максимальной температуры за 24 ч, а затем постепенно охлаждался вплоть до отрицательной температуры. Кроме того, в бетонном элементе не наблюдается больших разностей температур, за исключением показаний крайних датчиков. Результаты зарегистрированных температур внутри бетона, а также окружающих температур представляют кривые температур, а также поле распределения температур после первого часа.

Результаты исследований ранней прочности на сжатие показаны ниже:

Условия твердения	Прочность на сжатие, МПа	
	2 суток	7 суток
Лабораторные	36,5/38,6	48,0/45,0
Зимние	17,4/20,1	36,5/36,5

Проведенные исследования прочности высокопрочного бетона на сжатие в лабораторных и зимних условиях, в которых трудно предвидеть изменения окружающей температуры, показали, что существует тесная зависимость между нарастанием прочности и температурой, при которой твердели образцы бетона. Следует отметить, что эти образцы замерзли после 12 ч от начала понижения окружающей температуры ниже 0 °С и после 60 ч от момента их изготовления.

Анализ результатов исследования прочности указывает на то, что процесс гидратации и повышение прочности под влиянием понижения температуры ниже 0 °C не прерывался полностью и протекал дальше, что согласуется с результатами исследований других авторов [7]. Это можно объяснить тем, что в бетоне осталась капиллярная вода и вода, участвующая в процессе гидратации, которые не подверглись замерзанию.

Выполненные исследования дали начальную информацию о способе схватывания и твердения высокопрочного бетона, твердеющего в условиях натуральных зим-

них температур. Для полного описания процесса твердения бетона необходимо исследовать прочность на сжатие после 28 суток твердения. Следует отметить, что качество бетона зависит, кроме прочих факторов, от его температуры. Большое значение имеют размер элемента, способ выдерживания, а также применение плотных покрытий или изоляционных оболочек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Czarnecki L. i inni – Beton wg normy PN-EN 206-1 – komentarz. Polski Cement, Kraków, 2004.
2. Garbacik A., Spyryka J. – Ciepło twardnienia jako kryterium doboru cementów krajowych do betonów. Cement – Wapno – Gips, nr 2/2000.
3. Grodzicka A. – Wybrane zagadnienia z betonu wysokowartościowego – Konferencja Dni Betonu, Tradycja i Nowoczesność, Wisła, 2004.
4. Instrukcja ITB Instrukcja ITB nr 356/98 Stosowanie cementu powszechnego użytku wg PN-B-19701:1997 w budownictwie.
5. Kaszyńska M. – BWW: możliwości, cechy, zastosowania. XII Ogólnopolska Konferencja «Warsztat pracy projektanta konstrukcji», Ustroń, 2002.
6. Larrard F. de – Naukowa metoda ustalania składu mieszanki betonowej – Konferencja Dni Betonu, Tradycja i Nowoczesność, Wisła, 2004.
7. Neville A. – Właściwości betonu. Polski Cement, Kraków, 2000.
8. Nocuń – Wczelik W. – Przyczynek do badań kinetyki I mechanizmu oddziaływanie mieszanek do betonu – Konferencja Dni Betonu, Tradycja i Nowoczesność, Wisła, 2004.
9. Polska Norma PN-EN ISO 6946:1999. Komponenty budowlane i elementy budynku. Opór cieplny i współczynnik przenikania ciepła. Metoda obliczania.