

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ БЕТОН НА МЕХАНОАКТИВИРОВАННОМ ВЯЖУЩЕМ С ДОБАВКОЙ МИКРОКРЕМНЕЗЕМА

Ксёншкевич Л.Н., к.т.н., доцент,
Барабаш И.В., д.т.н., профессор

Одесская государственная академия строительства и архитектуры
wl-ksm@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются вопросы совместного влияния механоактивации и органо-минеральной добавки (микрокремнезем + С-3) на механические характеристики бетона на рядовом портландцементе М400. Установлена возможность получения бетонов с прочностью при сжатии в 28-и суточном возрасте $80 \div 120$ МПа

Ключевые слова: механоактивация, органо-минеральная добавка, микрокремнезем, портландцемент, скоростное смешение.

ВИСОКОМЦІНИЙ БЕТОН НА МЕХАНОАКТИВОВАНОМУ В'ЯЖУЧОМУ З ДОБАВКОЮ МІКРОКРЕМНЕЗЕМУ

Ксьоншкевич Л.М., к.т.н., доцент,
Барабаш І.В., д.т.н., професор

Одеська державна академія будівництва та архітектури
wl-ksm@mail.ru

Анотація. Розглядаються питання спільного впливу механоактивації і органо-мінеральної добавки (мікр кремнезем + С-3) на механічні характеристики бетону на рядовому портландцементі М400. Встановлено можливість отримання бетонів з міцністю при стиску в 28-и добовому віці $80 \div 120$ МПа.

Ключові слова: механоактивация, органо-мінеральна добавка, мікр кремнезем, портландцемент, швидкісне змішування.

HIGH-PERFORMANCE CONCRETE ON THE MECHANOACTIVATED BINDER WITH ADDITION OF MICROSILICA

Ksenschkevich L.N., PhD, Assistant Professor
Barabash I.V. Doctor of Engineering, Professor

Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture
wl-ksm@mail.ru

Abstract. The questions of the joint effect of mechanical activation and organo-mineral additives (microsilica + C-3) on the mechanical properties of concrete on a portland cement M400. The experiment conducted in accordance with a tri-factorial D-optimum design enabled to establish an influence of independent factors (x_1 – content of microsilica in the binder - $5 \pm 5\%$; x_2 – binder consumption in concrete - 450 ± 100 kg/m³; x_3 – specific area (S_{sp}) of Portland cement - 400 ± 100 m²/kg) on physical and mechanical properties of concrete. It was established that the use of the mechanoactivated general purpose blended Portland cement with an organomineral additive (microsilica+C-3) makes it possible to obtain high-performance concretes which compression strength on the 28th day reaches 120 MPa.

Key words: mechanoactivation, organomineral additive, microsilica, portland cement, high-

speed mixing.

Введение. Активация портландцемента в процессе приготовления бетонной смеси способствует углублению его процессов гидратации, а также ускорению процессов структурообразования [1, 2]. Эффект ускорения структурообразования активацией цемента возможно усилить за счет введения в его состав органо-минеральной добавки (ОМД). Речь идет о микрокремнеземе (МК) и органическом модификаторе (суперпластификаторе С-3).

По своему химическому составу микрокремнезем состоит из аморфного SiO_2 . Размер частиц МК не превышает 0,01-0,1 мкм, что в десятки раз мельче среднего зерна портландцемента. Столь высокая дисперсность МК позволяет ему активно участвовать в процессах структурообразования твердеющего портландцемента, химически взаимодействовать с новообразованиями гидратирующего цемента [3].

Принцип действия добавки С-3 в бетоне основывается на ослаблении коагуляционного взаимодействия новообразований в цементно-водной композиции [1, 4-5].

Цели и задачи исследований. Целью исследования является повышение эффективности использования рядового портландцемента в высокопрочных бетонах за счет его механоактивации и модификации органо-минеральной добавкой. Задача исследований - изучить влияние механоактивации вяжущего (портландцемент + микрокремнезем + С-3) на механические характеристики бетона.

Объекты и методы исследований. Объект исследований - бетоны на механоактивированном портландцементе с органо-минеральной добавкой. Определение физико-механических характеристик бетона осуществлялось путем испытания образцов-кубов с ребром 10 см. Определение предела прочности при сжатии кубиков проводилось согласно методике по ДСТУ Б В.2.7-187: 2009 (Цемент. Методы определения прочности на изгиб и сжатие).

Результаты исследований. В исследованиях активация портландцемента в присутствии ОМД осуществлялась в скоростном смесителе турбулентного потока [6]. Скорость вращения рабочего органа смесителя составляла 2800 об/мин. Время активации цементосодержащей суспензии принималось равным 30 сек.

Представлял интерес выяснить совместное влияние механоактивации вяжущего и органо-минеральной добавки на прочность бетона при сжатии (f_{cube}).

С этой целью был поставлен трехфакторный эксперимент, в котором варьировались следующие факторы: X_1 – содержание микрокремнезема (МК) в портландцементе (по массе) – $5 \pm 5\%$; X_2 – расход вяжущего в бетоне – $450 \pm 100 \text{ кг/м}^3$; X_3 – удельная поверхность ($S_{\text{уд}}$) портландцемента – $400 \pm 100 \text{ м}^2/\text{кг}$.

В исследованиях использовался микрокремнезем Никопольского завода ферросплавов. Портландцемент готовился путем помола клинкера Одесского цементного завода с гипсовым камнем до удельных поверхностей 300, 4000 и $500 \text{ м}^2/\text{кг}$. Для пластификации в бетонной смеси использовался разжижитель С-3 в количестве 1% (в пересчете на сухое вещество) от массы вяжущего.

В качестве заполнителей использовался кварцевый песок с $M_{\text{кр}} = 2,2$ и гранитный щебень фракции 5...20 мм.

Бетонные смеси готовились как по отдельной технологии (РТ) с предварительной активацией вяжущего, так и по традиционной технологии (ТТ). Активация вяжущего осуществлялась путем последовательной загрузки в смеситель отдозированных количеств воды затворения, добавки С-3, портландцемента и микрокремнезема.

Для контроля готовились бетонные смеси на немеханоактивированном вяжущем без добавки микрокремнезема. Затворялись такие смеси обычной водой без добавки С-3. Равноподвижность бетонных смесей достигалась корректировкой расхода воды затворения. Формование образцов-кубов с ребром 10 см производилось на лабораторной виброплощадке. Твердение образцов происходило в нормальных условиях при температуре $18-20^\circ\text{C}$ и относительной влажности воздуха не менее 95%.

Показатели прочности бетона при сжатии (в 28-ми суточном возрасте) приведены в таблице 1.

Таблица 1 – План эксперимента и механические характеристики бетона

№ п/п	Уровни варьирования			МК, %	Расход вяжущего, кг/м ³	Цемент S _{уд.} , м ² /кг	Отклики			
	x ₁	x ₂	x ₃				f _{cube} ^к , МПа	f _{cube,вод} ^к , МПа	f _{cube} ^а , МПа	f _{cube,вод} ^а , МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-	-	0	350	300	43,6	41,8	59,7	56,4
2	+	-	-	10	350	300	52,3	43,3	73,2	60,6
3	-	+	-	0	550	300	53,9	49,5	75,5	64,4
4	+	+	-	10	550	300	69,5	61,4	97,3	85,9
5	-	-	+	0	350	500	52,7	44,8	68,5	58,2
6	+	-	+	10	350	500	64,3	51,3	90	71,8
7	-	+	+	0	550	500	72,8	69,3	98,3	90,1
8	+	+	+	10	550	500	88,4	71,3	123,8	99,8
9	-	0	0	0	450	400	64,9	55,9	84,4	72,7
10	+	0	0	10	450	400	81,4	67,5	105,8	94,5
11	0	-	0	5	350	400	61,6	57,6	83,2	77,8
12	0	+	0	5	550	400	75,2	66,1	101	89,2
13	0	0	-	5	450	300	53,9	50,4	72,8	68,0
14	0	0	+	5	450	500	58,1	50,5	78,4	68,2
15	0	0	0	5	450	400	73,4	63,5	99,1	89,8

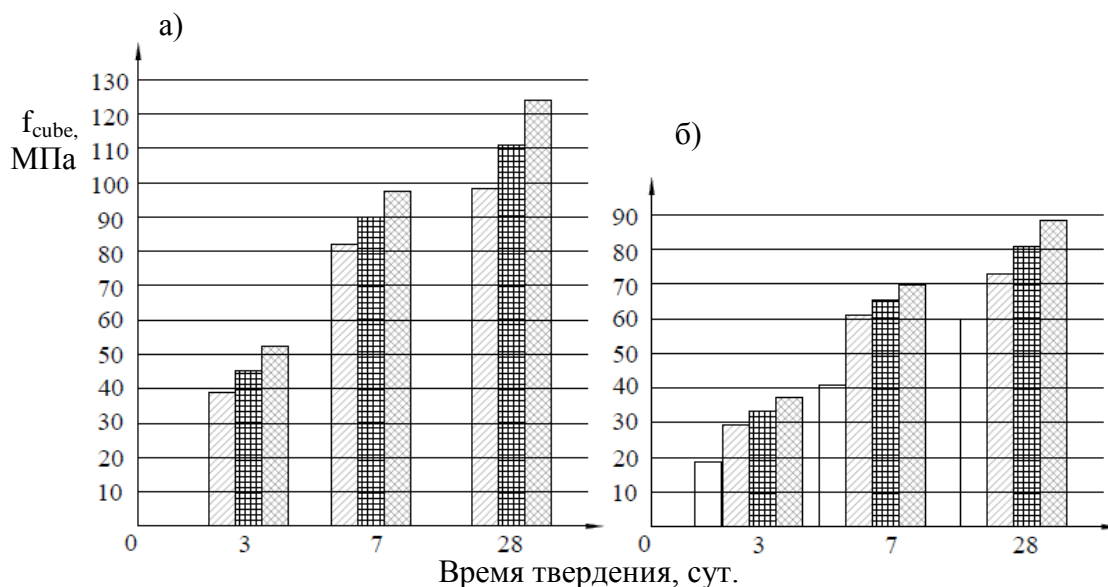


Рис. 1. Влияние концентрации микрокремнезема на f_{cube} бетона (расход вяжущего 550 кг/м³, S_{уд.} = 500 м²/кг):

- а) бетон на механоактивированном вяжущем;
- б) бетона на немеханоактивированном вяжущем
- ▨ - содержание микрокремнезема 0%;
- ▩ - содержание микрокремнезема 5%;
- ▧ - содержание микрокремнезема 10%;
- - контроль (С-3=0; МК=0%, без активации)

Експериментально встановлено, що введення в склад вяжущого мікрокремнезема призводить до збільшення міцності бетону. Це характерно як для бетону на механоактивованому вяжущому так і для бетону, вяжущого якого не підвергалося активації.

Підтвердженням цьому являються графічні зображення міцності бетону при стисненні в 3-х, 7-и і 28-и добовому віці, рис. 1.

Механоактивація портландцементу з 10%-им вмістом мікрокремнезема в присутності суперпластифікатора С-3 дозволяє досягати бетоном в 3-х добовому віці міцність при стисненні вище 50 МПа. К 7-и добовому віку міцність бетону практично удвоюється, а к 28-и добовому віку досягає значення 124 МПа.

Аналогічно впливає мікрокремнезем на міцність бетону з витратою механоактивованого портландцементу 450 і 350 кг/м³.

Наведені графічні залежності свідчать про те, що керуючи технологією приготування бетонної суміші (активація, контроль), а також вмістом мікрокремнезема в вяжущому, удільною поверхнею портландцементу і витратою вяжущого, можна регулювати міцність бетону від 60 до 120 МПа.

Досягнення бетоном міцності (50 МПа) в віці 3-х діб дозволяє рекомендувати його як ремонтний, в тому числі і для асфальтобетонних покриттів автомобільних доріг (усунення появи вибоїн, колесобрання, тріщин і інших деформацій).

Висновок. Механоактивація портландцементу з органічно-мінеральною домішкою дозволяє збільшити міцність бетону в 28-и добовому віці в 1,9÷2,2 рази порівняно з контролем.

Література

1. Барабаш І.В. Механохімічна активація мінеральних в'язючих речовин / І.В. Барабаш. – Навчальний посібник. – Одеса. Астропрінт, 2002. – 100с.
2. Выровой В.Н. Механоактивация в технологии бетонов / В.Н. Выровой, И.В. Барабаш, А.В. Дорофеев и др. // Моногр. Одесса: ОГАСА, 2014. – 148с.
3. Каприелов С.С. Влияние структуры цементного камня с добавками микрокремнезема и суперпластификатора на свойства бетона / С.С. Каприелов, А.В. Шейнфельд, Ю.Р. Кривобородов // Бетон и железобетон. – №7. – 1992. – С.4-7.
4. Ramakrishnan V. Workability and strength of superplastified concrete/ V. Ramakrishnan, W. Coyle, S. Pande // Indian Concrete J. – 1980. – Vol. 54. – №1. – P. 23-26.
5. Constitutive modeling of high strength/high performance concrete, FIB Bulletin 42, Sprint-Digital-Druck, Stuttgart, 2008, 125 p.
6. Ксєншкєвич Л.Н. Високопрочні бетони на механоактивованому вяжущому: дис. канд. техн. наук: 05.23.05: Одеса, 2013, 145с.