

УДК 666.965.4

І. В. БАРАБАШ, Н. А. ЗУБЧЕНКО

Одеська державна академія будівництва та архітектури

**ВЛАСТИВОСТІ БЕТОНІВ НА АКТИВОВАНОМУ КОМПОЗИЦІЙНОМУ
В'ЯЖУЧОМУ**

Досліджено властивості бетонів на механоактивованих композиційних цементах. Проводився 4-й факторний експеримент, варіювалася кількість в'язучого, частка мікрокремнезему в в'язучому, частка введеного в в'язуче меленого гранульованого шлаку і температура ізотермічної витримки при тепло-вологій обробці бетону. Всі суміші мали рівну рухомість. Показано, що при застосуванні композиційного в'язучого можливо отримати бетони з високою міцністю вже в ранні терміни твердіння. Механоактивація в'язучого підвищує міцність бетону у 3-х денному віці на 4...8 МПа, у 28-и денному віці – на 4...6 МПа. Введення 10 % мікрокремнезему в композиційне в'язуче збільшує міцність бетону на 5...8 МПа. Склади в'язучого з вмістом шлаку 60 % і мікрокремнезему 10 % дозволяють отримувати бетони, які за міцністю і морозостійкістю не поступаються бетонам на чисто-клінкерному портландцементі. За рахунок механоактивації в'язучого морозостійкість бетонів підвищується на 50 циклів.

композиційний цемент, механоактивація, мікрокремнезем, бетон

Для будівельної галузі актуальна задача виробництва високоякісних бетонів при максимально можливому рівні використання техногенної та природної сировини, а також потенціалу в'язучих. Одним з ефективних шляхів зниження енерго- і матеріалоємності виробництва в'язучих є використання відходів металургійних виробництв – доменних шлаків.

Практика виробництва цементів показала, що найбільш перспективним методом застосування шлаків є їх використання у складі композиційних цементів [1, 2], тобто в'язучих, що містять, крім клінкеру, не менше двох основних компонентів і до складу яких входить до 80 % мінеральних добавок.

В Україні як пуцолановий компонент композиційного цементу найбільш доцільно використовувати відхід виробництва феросиліцію – мікрокремнезем [3]. Одним з ефективних методів підвищення активності цементів є механоактивація [4, 5], проте дуже мало наукової інформації про можливість застосування механоактивованого композиційного цементу. У зв'язку з цим стало актуальним дослідження композиційних активованих в'язучих на основі вітчизняної сировини і техногенних відходів у поєднанні з суперпластифікатором.

Досліджувалися властивості бетонів на композиційному в'язучому, де як компоненти використовувалися клінкер, гіпсовий камінь, доменний гранульований шлак металургійного комбінату «Запоріжсталь» і мікрокремнезем. За 25-и точковим оптимальним планом проводився 4-х факторний експеримент [6], в якому варіювалися наступні фактори складу:

 X_1 – кількість в'язучого (400 ± 100 кг/м³), X_2 – частка мікрокремнезема у в'язучому (5 ± 5 %), X_3 – частка введеного в в'язуче меленого до $S_{\text{пт}} = 400$ м²/кг гранульованого шлаку, (30 ± 30 %), X_4 – температура ізотермічної витримки твердіння бетону (50 ± 30 °С).

Тепло-волога обробка бетонів проводилася за режимом $2 + 2 + 6 + 2 = 12$ годин, при терміні ізотермічної витримки, що дорівнює 6 годин. Використовувався гранітний щебінь крупністю 5...20 мм і кар'єрний пісок з модулем крупності 2,7, добавка суперпластифікатор С-3 в кількості 1 % від маси цементу. Всі бетонні суміші мали рівну рухливість ОК = 6 ± 1 см.

Визначалася міцність матеріалу у 3-и і 28-и денному віці. Всі дослідження проводилися на двох аналогічних серіях зразків: з застосування механоактивації в'язучого тривалістю 60 сек в трибоактиваторі та виготовлені за традиційною технологією, тобто контрольної [7].

Аналіз міцності бетонів в 3-и денному віці дозволив зробити висновок, що збільшення кількості в'язучого в бетоні природно підвищує міцність матеріалу. Як для активованих, так і для контрольних складів при збільшенні кількості в'язучого зростає вплив частки меленого гранульованого шлаку на ранню міцність. Аналогічно більший вплив частки шлаку проявляється для бетонів, які тверділи в умовах тепло-вологої обробки. Ефективність застосування мікрокремнезему залежить від кількості в'язучого та режиму твердіння бетону. При твердінні в нормальних умовах за рахунок введення 10 % мікрокремнезему міцність бетону зростає приблизно на 2 МПа для складів з кількістю в'язучого 300 кг/м³ і на 4 МПа при використанні 500 кг/м³ в'язучого. У бетонах, що тверділи при температурі 50 °С, введення мікрокремнезему дозволяє підвищити міцність у віці 3-х діб на 3...5 МПа, а при твердінні при температурі 80 °С – на 4...6 МПа. Ефективність тепло-вологої обробки також залежить від кількості в'язучого. При кількості цементу 300 кг/м³ за рахунок підвищення температури ізотермічної витримки до 80 °С міцність бетону у віці 3-х діб підвищується на 14...16 МПа для активованих складів і на 12...14 МПа для контрольних в порівнянні з міцністю бетонів, твердіння яких проходило при t = 20 °С. При кількості в'язучого 500 кг/м³ підвищення температури до 80 °С збільшує міцність відповідно на 17...19 МПа і на 15...17 МПа.

Важливо відзначити, що для бетонів на композиційному в'язучому теплова обробка показує досить високу ефективність вже при температурі ізотермічної витримки 50 °С. Склади на активованому в'язучому після витримки при 50 С показують на 9...11 МПа більшу міцність у 3-х денному віці в порівнянні зі зразками нормального твердіння. Для бетонів, приготованих за традиційною технологією, аналогічне зростання міцності становить 8...10 МПа. Механічна активація в'язучого дозволяє додатково підвищити міцність бетону у 3-и денному віці на 4...8 МПа (30...40 %) в залежності від його складу. Таким чином, використання активованого композиційного в'язучого дозволяє отримати бетони з високими показниками міцності вже в ранні терміни твердіння. За рахунок переходу до композиційного цементу підвищується ефективність застосування шлаку у в'язучому. Механічна активація показує високу ефективність при виготовленні бетонів на композиційному в'язучому. У разі необхідності додаткового прискорення швидкості набору міцності бетонів на композиційному в'язучому, в тому числі меланоактивованого, досить ефективним є застосування тепло-вологої обробки. Причому з урахуванням необхідності економії енергоресурсів температура ізотермічної витримки може бути обмежена 50 °С.

Аналіз впливу факторів, які варіювалися в дослідженнях, на міцність бетону у 28-и денному віці показав, що режим тепло-вологої обробки не впливає на цей базовий показник якості матеріалу. На рис. 1 показана побудована за відповідними експериментально-статистичними моделями діаграма, що відображає вплив кількості в'язучого, частки мікрокремнезему і меленого шлаку в композиційному в'язучому на величину міцності при стиску бетону у 28-и денному віці.

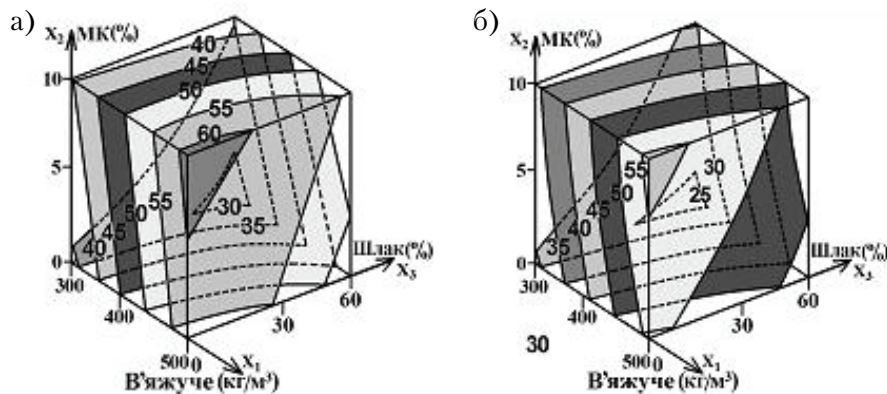


Рисунок 1 – Вплив факторів складу на міцність бетону на композиційному в'язучому у 28-и денному віці: а) склади на активованому в'язучому, б) контрольні склади.

Як видно з діаграм, характер впливу варійованих факторів складу на міцність досліджених бетонів на активованому в'язучому і приготовлених за традиційною технологією збігається.

Міцність композитів збільшується в міру підвищення кількості в'язучого і змісту мікрокремнезему в композиційному цементі. Збільшення вмісту меленого доменного шлаку в композиційному в'язучому незначно знижує міцність бетону.

Однак при кількості даного техногенного відходу до 30 % міцність всіх досліджених бетонів у 28-и денному віці знижувалася не більше, ніж на 4 МПа. При введенні 60 % шлаку рівень зниження міцності бетонів досягає 9 МПа. Важливо відзначити, що завдяки використанню композиційного в'язучого зниження міцності в результаті застосування доменного шлаку як найбільшого по кількості компонента може бути повністю компенсовано введенням мікрокремнезему, який має пуццоланову активність. Міцність бетонів на в'язучому, в якому використано до 60% техногенного відходу і 10 % мікрокремнезему не нижче від міцності бетонів на чистому клінкерній в'язучому. Таким чином, композиційне в'язучий забезпечує необхідні характеристики міцності бетону як в ранні терміни твердіння, так і в марочному віці.

Також необхідно відзначити, що і в 28-и денному віці зберігається ефективність застосування механоактивації в'язучого. Бетони на активованому в'язучому показують на 4...6 МПа більшу міцність в порівнянні з бетонами аналогічних складів, виготовлених за традиційною технологією. Більш висока міцність бетону на механоактивованому в'язучому, на наш погляд, пояснюється, по-перше, меншим водовмістом сумішей, приготовлених на активованому композиційному цементі, і по-друге, підвищенням хімічного потенціалу компонентів композиційного в'язучого в результаті механоактивації.

Також досліджувалася морозостійкість бетонів на композиційному цементі. На рис. 2 показана діаграма, що відображає вплив кількості в'язучого, частки мікрокремнезему і меленого шлаку в в'язучому на морозостійкість бетону.

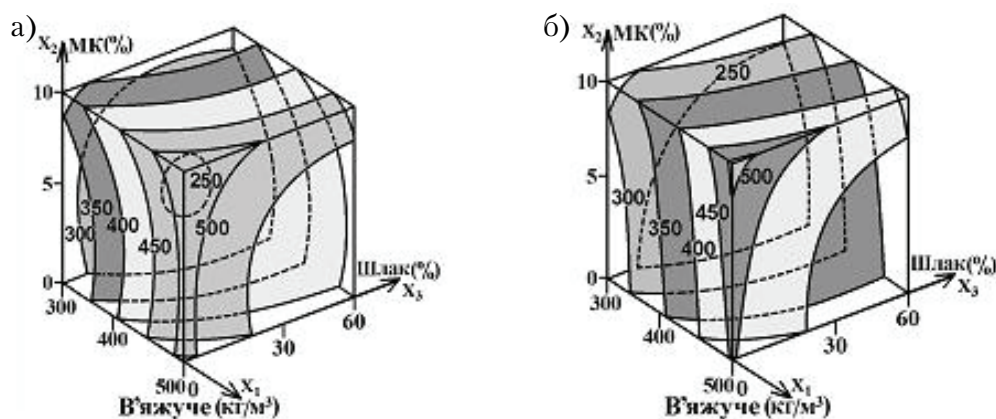


Рисунок 2 – Вплив факторів складу на морозостійкість бетону на композиційному в'язучому: а) склади на активованому в'язучому, б) контрольні склади.

Як видно з діаграм, найбільш істотний вплив на морозостійкість бетонів має кількість в'язучого – при збільшенні його дозування з 300 до 500 кг/м³ рівень F зростає на 150 циклів і більше. Склад в'язучого також має відчутний вплив на морозостійкість бетонів. При збільшенні кількості шлаку до 60 % рівень F для досліджених бетонів знижується приблизно на 50 циклів. Проте практично аналогічне підвищення морозостійкості бетону відбувається в результаті введення в композиційне в'язуче мікрокремнезему. Тобто склади, приготовлені на в'язучому з кількістю клінкерної складової близько 30 %, при використанні відповідно 60 % шлаку і 10 % пуццоланового компонента мають рівень морозостійкості, який практично рівний морозостійкості складів на чисто-клінкерному цементі. Цей факт говорить про високу ефективність застосування композиційних цементів з точки зору використання техногенних відходів у складі в'язучого без зниження якості кінцевого продукту.

За рахунок застосування механоактивації в'язучого морозостійкість бетонів підвищується на величину до 50-ти циклів. Це можна пояснити двома ефектами: зниженням водовмісту сумішей рівної рухливості за рахунок застосування активованого в'язучого і підвищенням потенціалу самого в'язучого.

Таким чином, застосування композиційних цементів дозволяє забезпечити високу міцність бетону і його довговічність в умовах знакозмінних температур при високій частці використання в в'язучому техногенних відходів, і в першу чергу, доменного шлаку. За рахунок механоактивації в'язучого

міцність і морозостійкість бетонів може бути додатково підвищена. При необхідності додаткового прискорення швидкості набору міцності бетонів на композиційному в'язучому ефективно застосування тепло-вологої обробки, причому з урахуванням необхідності економії ресурсів, температура ізотермічної витримки може бути обмежена 50 °С. Отримані в'язучі значно підвищують ефективність застосування відходів металургійної промисловості за рахунок механоактивації та раціонального підібраного складу композиційного цементу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Соболев, Х. С. Концепція застосування модифікованих композиційних цементів у будівельному виробництві [Текст] / Х. С. Соболев // Вісник національного ун-ту «Львівська політехніка». – 2004. – № 520. – С. 179–182.
2. Дворкін, Л. Й. Композиційні в'язучі низької водопотреби, що містять цементний пил [Текст] / Л. Й. Дворкін, О. Л. Дворкін, І. В. Чорна // Вісник ОДАБА. – Одеса : Зовнішрекламсервіс, 2012. – Вип. 48, Частина 1. – С. 121–129.
3. Фесенко, В. А. Микрокремнезем как активная минеральная добавка [Текст] / В. А. Фесенко // Химические и минеральные добавки в бетон / Под. ред. А. Б. Ушерова-Маршака. – Харьков : Колорит, 2005. – С. 57–60.
4. Барабаш, І. В. Механохімічна активація мінеральних в'язучих речовин [Текст] : навч. посібник / І. В. Барабаш. – Одеса : Астропринт, 2002. – 100 с.
5. Барабаш, І. В. Влияние микрокремнезема и молотого шлака на свойства композиционных цементов [Текст] / І. В. Барабаш, Н. А. Зубченко // Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди. – Рівне : НУВГП, 2013. – Випуск 26. – С. 25–30.
6. Вознесенский, В. А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ [Текст] / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко, Б. Л. Огарков. – К. : Вища школа, 1989. – 327 с.
7. Зубченко, Н. А. Снижение энергоемкости производства цемента за счет повышения эффективности использования доменного шлака [Текст] / Н. А. Зубченко // Энергоэффективные технологии в городском строительстве и хозяйстве / Одесская государственная академия строительства и архитектуры. – Одеса : ОДАБА, 2013. – С. 200–205.

Отримано 02.12.2014

І. В. БАРАБАШ, Н. А. ЗУБЧЕНКО СВОЙСТВА БЕТОНОВ НА АКТИВИРОВАННОМ КОМПОЗИЦИОННОМ ВЯЖУЩЕМ

Одесская государственная академия строительства и архитектуры

Исследованы свойства бетонов на механоактивированных композиционных цементах. Проводился 4-й факторный эксперимент, варьировалось количество вяжущего, доля микрокремнезема в вяжущем, доля введенного в вяжущее молотого гранулированного шлака и температура изотермической выдержки при тепло-влажностной обработке бетона. Все смеси имели равную подвижность. Показано, что за счет применения композиционного вяжущего можно получить бетоны с высокой прочностью уже в ранние сроки твердения. Механоактивация вяжущего повышает прочность бетона в 3-х дневном возрасте на 4...8 МПа, в 28 дневном – на 4... 6 МПа. Введение 10 % микрокремнезема в композиционное вяжущее увеличивает прочность бетона на 5...8 МПа. Составы вяжущего с содержанием шлака 60 % и микрокремнезема 10 % позволяют получать бетоны, по прочности и морозостойкости не уступающие бетонам на чисто-глинчатом портландцементе. За счет механоактивации вяжущего морозостойкость бетонов повышается на 50 циклов.

композиционный цемент, механоактивация, микрокремнезем, бетон

IVAN BARABASH, NATALIA ZUBCHENKO PROPERTIES OF CONCRETE ON ACTIVATED COMPOSITE BINDERS Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture

The properties of concrete on the mechanically activated composite cements have been analyzed. The 4 factorial experiment has been carried out, amount of binder, the proportion of micro silica in the binder, the binder proportion of the ground granulated slag were varying. Also changed the temperature of isothermal holding during the heat treatment of concrete. All blends had the same mobility. It is shown that through the use of composite binding can get concrete with high strength at an early age. Mechanical activation of the binder increases the strength of concrete in 3 days of age at 4...8 МПа, in 28 day of age at 4...6 МПа. Introduction of 10 % micro silica in the composite binder increases the strength of concrete at 5...8 МПа.

When used with a binder content of 60 % slag and 10 % micro silica can be obtained concrete, strength and frost-resistance are not inferior concrete on pure Portland cement. When using mechanical activation binder concrete frost resistance increased by 50 cycles.

composite cement, mechanical activation, micro silica, concrete

Барабаш Іван Васильович – доктор технічних наук, професор, проректор Одеської державної академії будівництва і архітектури, завідувач кафедри міського будівництва і господарства. Наукові інтереси: підвищення ефективності використання в'язучих за рахунок механоактивації.

Зубченко Наталія Анатоліївна – аспірант кафедри міського будівництва і господарства Одеської державної академії будівництва і архітектури. Наукові інтереси: підвищення ефективності використання в'язучих за рахунок механоактивації.

Барабаш Иван Васильевич – доктор технических наук, профессор, проректор Одесской государственной академии строительства и архитектуры, заведующий кафедрой городского строительства и хозяйства. Научные интересы: повышение эффективности использования вяжущих за счет механоактивации.

Зубченко Наталья Анатольевна – аспирант кафедры городского строительства и хозяйства Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Научные интересы: повышение эффективности использования вяжущих за счет механоактивации.

Barabash Ivan – DSc (Eng.), Professor, Vice Rector, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, the Head of the Urban Construction and Management Department. Scientific interests: more efficient use of binders due to mechanical activation.

Zubchenko Natalia – post-graduate student, Urban Construction and Management Department, Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture. Scientific interests: more efficient use of binders due to mechanical activation.