

*О. І. Башиїнський, канд. техн. наук, доцент, М. З. Пелешко, канд. техн. наук,
Т. Г. Бережанський (Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ВІБРОАКТИВОВАНІ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТИ ТА ЇХ МІЦНІСТЬ ЗА РІЗНИХ ТЕМПЕРАТУРНИХ РЕЖИМІВ

Стаття присвячена питанням вивчення впливу способу механоактивації портландцементів в апаратах різної дії на гранулометричний склад, дисперсність частинок, величину міцності цементного каменю та швидкість її наростання. Показано, що віброактивація є одним із ефективних шляхів максимального використання потенційних можливостей звичайного портландцементу в умовах високих температур, а також одним із найбільш ефективних способів механічної активації, який при значному скороченні енергетичних витрат дасть змогу розробляти ефективні композиційні в'язучі.

Ключові слова: вібромлин, механоактивація, дисперсність, гранулометричний склад.

Сучасний стан. Розробка якісних ефективних в'язучих речовин пов'язана з їх більш тонким подрібненням до питомої поверхні 450-500 м²/кг, що забезпечує краще використання потенційних можливостей цементу та його економію. За даними [1], підвищення активності цементу на одну марку шляхом більш тонкого його подрібнення рівноцінне збільшенню об'єму виробництва на 15%. На основі досягнень сучасної механохімії можна зробити висновки [2], що механічний вплив на тверді матеріали суттєво впливає на їх фізико-хімічні та технологічні властивості, а також на термодинаміку хімічних процесів. Так, в результаті механічної дії на тіло, частина енергії, яка залишається в твердому тілі як надлишкова, забезпечує підвищення хімічної активності механічно оброблених систем.

Мета роботи: дослідження впливу способу механоактивації на оптимальний гранулометричний склад, дисперсність частинок, величину міцності цементного каменю та швидкість її наростання в умовах нормальних та високих температур.

Виклад основного матеріалу. Механоактивацію здійснювали ударно-стираючим і стираючим способами відповідно у кульовому й вібраційному млинах. Як вихідні матеріали використано портландцементи Миколаївського заводу (ПЦ П/А-К-300) з питомою поверхнею 310 та 265 м²/кг.

Аналізуючи криві зростання питомої поверхні матеріалу залежно від тривалості домелювання (рис.1), можна відзначити таку закономірність: при питомій поверхні 509 м²/кг крива 1' починає вирівнюватись і спостерігається припинення приросту питомої поверхні. Отже, подальший процес домелювання у кульовому млині є недоцільним. Це пояснюється тим, що при тонкому подрібненні цементу, починаючи з деякої тонини розмелювання матеріалу, порушується пропорційність між енергією (ΔE), що витрачається, та приростом нової поверхні ($\Delta S_{\text{пит}}$), внаслідок агрегації дрібних частинок (закон Ритингера) [3].

Відомо [1], що при тонкому подрібненні, явища налипання і агрегування можуть призвести не тільки до припинення росту питомої поверхні, але і до її зменшення. Вся енергія, яка витрачається на подрібнення, іде на утворення агрегатів. Агрегати високодисперсних частинок утворюються в результаті запресовки дуже невеликих кількостей порошку під дією напружень у місцях контакту шарів. Якщо при цьому сили зчеплення між частинками достатньо великі, то агрегати є стійкими і не руйнуються. Зчеплення між частинками визначається зв'язками в точкових контактах, які, як правило, тим сильніші, чим більші сили молекулярної взаємодії в твердих тілах [1]. Тому, чим твердіший матеріал, тим його здатність до агрегації зростає.

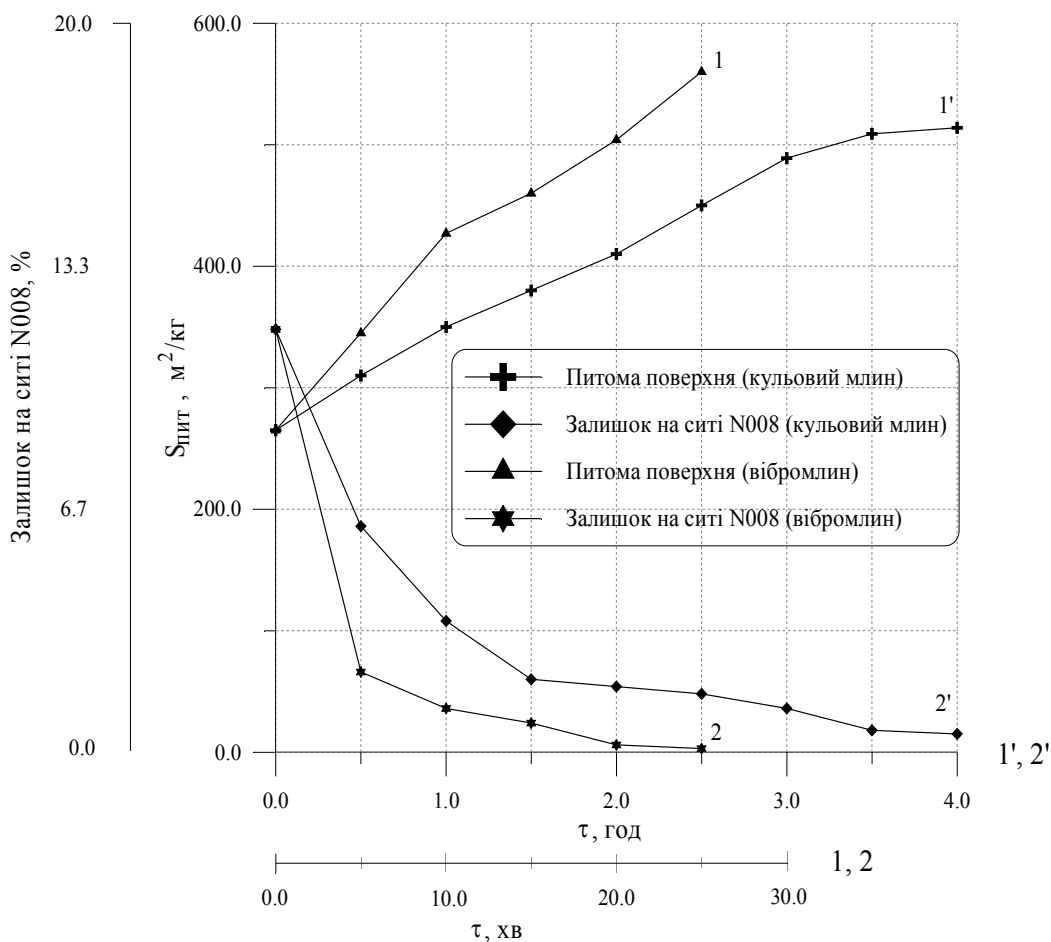


Рис. 1. Криві зміни питомої поверхні та залишку на ситі залежно від способу механоактивації

Таким чином, при необхідності одержання цементу з питомою поверхнею вище 350 м²/кг продуктивність кульового млина швидко падає (рис. 1). Ця обставина потребує розробки більш раціональних та економічних схем подрібнення, які б дали змогу підвищити ефективність процесу домелювання.

Відомо [47], що для тонкого та надтонкого подрібнення матеріалів як при сухому, так і при мокрому розмелюванні застосовують вібраційні млини. Цементи, які подрібнюються у вібраційних млинах, мають більш високу активність. Їм характерна максимальна швидкість набору міцності та вищий ступінь гідратації. Вібраційні млини використовуються, головним чином, для домелювання цементу з метою покращення його технічних характеристик.

У результаті проведених досліджень встановлено, що при домелюванні цементу у вібраційному млині можна досягнути питомої поверхні 500 м²/кг через 20 хв, тоді як при домелюванні в кульовому млині затрати часу в 10,5 раза більші. Аналіз впливу питомих енерговитрат на приріст і зміну дисперсності ($\Delta E / \Delta S_{\text{пит}}$) механоактивованих в'язучих в різних подрібнювачах показав, що найменші енерговитрати характерні для процесів подрібнення у вібраційному млині. Так, питомі витрати електроенергії для кульового млина з потужністю двигуна 2,2 кВт при домелюванні портландцементу до питомої поверхні 504-514 м²/кг становлять 3,96 кДж/кг, що в 4,4 раза перевищує значення питомих енерговитрат для вібраційного млина (0,891 кДж/кг) з потужністю двигуна 1,5 кВт. Одержані результати пояснюються тим, що при подрібненні цементу у вібраційному млині диспергування матеріалу йде переважно за внутрішніми площинами спайності [5]. Через стирання матеріалу у вібраційному млині утворюється велика кількість дрібних частинок, які збільшують загальну поверхню сис-

теми, тоді як при подрібненні у кульовому млині (ударний метод), зерна руйнуються переважно по порах, тріщинах і структурних дефектах, що зумовлює недостатньо високу дисперсність в'язучих. Варто зазначити, що при домелюванні цементу у вібраційному млині явище агрегації проходить меншою мірою. Агрегати, які спостерігаються, є малих розмірів і не становлять суцільної маси. Після домелювання у кульовому млині до питомої поверхні 500 м²/кг даний цемент набуває підвищеної водопотреби завдяки інтенсивній агломерації частинок, що негативно впливає на експлуатаційні властивості та довговічність оздоблювальних матеріалів. В результаті ефект зниження матеріально-енергоємності впровадження таких тонкомелених портландцементів значною мірою нівелюється в процесі їх використання. Величина відношення зміни міцності до зміни дисперсності тонкомелених портландцементів $\Delta R/\Delta S$ (МПа.кг/м²) для кульового млина становить 0,09, в той час як для вібраційного млина – 0,14. При цьому енерговитрати на зміну міцнісних характеристик в'язучих при домелюванні до 500 м²/кг для кульового млина в 5-7 разів більші порівняно з вібраційним.

На властивості цементів впливає не лише значення питомої поверхні, але й їх гранулометричний склад [4]. Нами були проведені дослідження з визначення гранулометричного складу механоактивованих композиційних портландцементів в апаратах різної дії та його впливу на властивості одержаних цементів.

Відомо [2], що найбільш сприятливими для одержання міцного цементного каменю є фракції розмірами 3-30 мкм. Частинки цементу менші за 3 мкм суттєво впливають на міцність цементного каменю лише в ранні терміни тверднення. Після швидкої гідратації, вони надають максимальної міцності цементному каменю вже через 1 добу. В той час як грубі фракції, особливо більші за 60 мкм, гідратуються дуже повільно та майже не впливають на міцність цементного каменю. Таким чином, чим більше в цементі фракцій 3-30 мкм, тим вища міцність в'язучого.

В результаті аналізу дисперсного складу цементу встановлено (табл. 1), що при домелюванні цементу до питомої поверхні 330 м²/кг спостерігається максимальна кількість частинок розміром 30-60 мкм. При цьому, розподіл частинок за розмірами, як для кульового, так і для вібраційного млина, є майже постійним. Ефективний діаметр частинок для кульового млина становлять 50-56 мкм, тоді як для вібраційного млина він дорівнює 38,8-43 мкм.

Таблиця 1

Розподіл частинок портландцементу за розмірами залежно від виду домелювального обладнання

Вид домелювального обладнання	Вміст частинок за розмірами, %			
	0-3 мкм	3-30 мкм	30-60 мкм	> 60 мкм
$S_{\text{пит}}=330\text{м}^2/\text{кг}$				
Кульовий млин	6,9	38,5	41,6	13
Вібраційний млин	6,8	40,2	42,0	11
$S_{\text{пит}}=500\text{м}^2/\text{кг}$				
Кульовий млин	6,3	42,0	24,2	27,5
Вібраційний млин	14,8	70,0	14,9	0,3

При домелюванні портландцементу до питомої поверхні 500 м²/кг спостерігається різка відмінність у кількісному розподілі частинок за розмірами залежно від виду домелювального обладнання. Так, з табл. 1 видно, що цемент, який домелювався у кульовому млині, характеризувався низьким вмістом частинок розміром менше 3 мкм (6,3%), тоді як при домелюванні цементу у вібраційному млині їх кількість збільшувалась в 2,3 раза. Окрім цього, спостерігався підвищений вміст частинок розміром понад 60 мкм (27,5%). Останні ві-

діграють роль наповнювача. Для вібраційного млина їх кількість становила 0,3%. Ефективний діаметр частинок при тонкому подрібненні у кульовому млині дорівнює 86,5-99 мкм, тоді як для вібраційного млина він становить 30 мкм.

Вивчення фізико-механічних властивостей одержаних портландцементів проводились у цементному тісті на зразках-кубиках 2×2×2 см. На рис. 2 наведені результати досліджень кінетики набору міцності цементного каменю в умовах нормального тверднення при

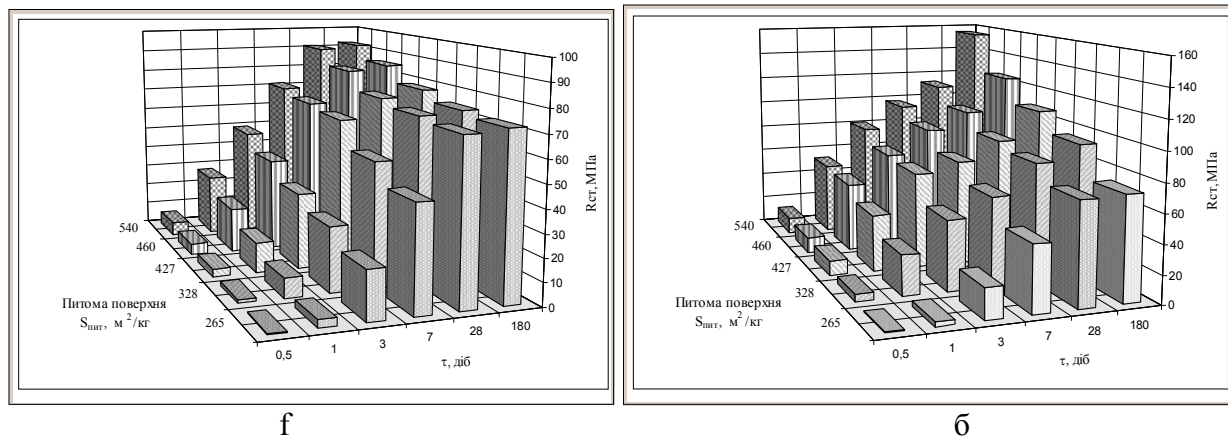


Рис.2. Кінетика набору міцності цементного каменю залежно від способу механоактивації та питомої поверхні:
а – кульовий млин; б – вібраційний млин
(зразки-кубики 2х2х2 см)

різному значенні питомої поверхні. Встановлено, що із збільшенням питомої поверхні значно зростає активність портландцементу, особливо в ранній період тверднення. При цьому, спостерігається суттєва відмінність у показниках міцності залежно від типу домелювального обладнання. З аналізу одержаних результатів видно (рис. 2), що максимальний приріст міцності в ранні терміни тверднення (через 12 год, 1 та 3 доби) спостерігався при збільшенні питомої поверхні до 460 м²/кг як для кульового, так і для вібраційного млина. Міцність цементу, домелюваного у кульовому млині, становила 4,9; 20,0 та 41,5 МПа відповідно, що в 1,9-3 рази менше від міцності цементу, домелюваного у вібраційному млині. Характерним також є те, що із збільшенням питомої поверхні цементу міцність та швидкість його тверднення збільшувалась спочатку інтенсивно, а далі їх ріст дещо сповільнювався.

У віці 28 дб тверднення (рис. 2) міцність портландцементів, домелюваних у кульовому млині зростала з 72,4 до 91,0 МПа при збільшенні питомої поверхні з 328 до 540 м²/кг, тоді як для цементів, домелюваних у вібраційному млині, міцність становила 82,5-112,5 МПа, що 1,2 рази більше. Поряд із приростом питомої поверхні цементу, спостерігалось деяке збільшення нормальної густоти цементного тіста з 0,25 до 0,28.

Таблиця 2

Ступінь гідратації та міцність портландцементів

Вид портландцементу	Питома поверхня, м ² /кг	Вік тверднення, дб			
		1		28	
		СГ, %	R _{ст} , МПа	СГ, %	R _{ст} , МПа
Звичайний	265	14,3	3,4	52,6	70,8
Віброактивований	514	45	51,9	81	112,5

Відомо [4], що цементне зерно гідратується на глибину 0,5 мкм через 24 год після замішування, на 1,7 мкм – через сім діб і на 3,5 мкм - через 28 діб тверднення. Отже, чим більша тонина розмелення цементу і чим більша його питома поверхня, тим швидше проходить гідратація, тим більша частина цементу взаємодіє з водою. Це призводить до збільшення числа контактів між окремими частинками цементу і, як наслідок, до швидкого тужавіння цементу, а при збільшенні площі контактів – до підвищення міцності цементного каменю. Ці дані підтверджуються результатами фізико-механічних випробувань, а також значенням ступеня гідратації (табл. 2).

Властивості і якість матеріалів, що працюють в умовах високих температур, характеризуються рядом фізико-механічних показників: границею міцності на стиск при нормальній і високій температурах, термічною стійкістю, деформацією під навантаженням при підвищених температурах та ін.

Встановлено, що при нагріванні зразків до 400⁰С як для звичайного портландцементу, так і віюроактивованого не відбувається суттєвої зміни міцності. При температурі 1000⁰С відбувається спад міцності як звичайного, так і віброактивованого портландцементу. При цьому слід відмітити, що механоактивація у вібраційному млині портландцементу дає змогу збільшити міцність портландцементу на 18% від марочної міцності.

Висновки. Таким чином, механоактивація, зокрема віброактивація портландцементу, визначає ряд його важливих характеристик, в першу чергу оптимальний гранулометричний склад, величину міцності цементного каменю та швидкість її наростання. Тому, віброактивація є одним із ефективних шляхів максимального використання потенційних можливостей звичайного портландцементу в умовах високих температур, а також одним із найбільш ефективних способів механічної активації, який при значному скороченні енергетичних витрат дасть можливість розробляти ефективні композиційні в'язучі.

Список літератури:

1. Дворкін О.Л. Технологія бетону / О.Л. Дворкін // Навч. посібник. – Рівне: РДТУ, 2001, – 165 с.
2. Баженов Ю.М. Технологія бетона / Ю.М. Баженов // Учебник. – М.: Стройиздат, 2002, – 500 с.
3. Онина М.М. Новый способ активации цемента / М.М. Онина // Бетон и железобетон. – 1993. – N4. – С. 12-14.
4. Пащенко О.А. В'язучі матеріали / О.А. Пащенко, В.П. Сербін, О.О. Старчевська. – К.: Вища школа, 1995. – 416 с.
5. Естемесов З.А., Урлибаев Ж.С., Уралиев М.У. Свойства бетонов на основе тонкомолотых многокомпонентных вяжущих / З.А. Естемесов, Ж.С. Урлибаев, М.У. Уралиев // Бетон и железобетон. – 1993. – N1. – С. 9-10

ВИБРОАКТИВИРОВАННЫЕ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТЫ И ИХ ПРОЧНОСТЬ ПРИ РАЗНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМАХ

Статья посвящена вопросам изучения влияния способа механоактивации портландцементов в аппаратах разного действия на гранулометрический состав, дисперсность частиц, значение прочности цементного камня и скорость ее возрастания. Показано, что виброактивация – это один из способов максимального использования потенциальных возможностей обычного портландцемента в условиях высоких температур, а также один из наиболее эффективных способов механической активации, который при значительном сокращении энергетических затрат позволяет получать эффективные композиционные вяжущие.

Ключевые слова: вибрационная мельница, механоактивация, дисперсность, гранулометрический состав.

O.I. Bashynsky, M.Z. Peleshko, T.H. Berezhansky

EVALUATION OF BEARING CAPACITY AND FIRE RESISTANCE RANGE OF STEEL REINFORCED CONCRETE BEAMS

In the article analysis of rated apparatus for determining bearing capacity of inclined sections and fire resistance range of reinforced concrete beams according to new normative documents of State Construction Standards V. 2.6.-98:2009, State Standards of Ukraine B V.2.6-156:2010 and State Construction Standards V.1.2-7-2008 was conducted, comparing their results and experimental ones. Fire resistance range evaluation of reinforced concrete elements nowadays is conducted using a method, based on the following approaches: analysis of real fire scenarios, analysis of simulated fire scenarios and fire resistance calculation

Key words: steel and concrete constructions, the external band reinforcements, the cross reinforcement, the inclined crack, the shearing arm, the cross power, the carrying ability, fire resistance,

