

## НОВИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТУЖАВІННЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТУ

© Шевченко В.В., 2013

**Запропоновано новий метод визначення параметрів тужавіння портландцементу.**

**Ключові слова:** новий метод, цемент, гель, тужавіння, міцність, когезія, penetрація.

**The new method determination parameters hardening of portland cement is offered in the article.**

**Key words:** new method, cement, gel, hardening, durability, cohesion, penetration

Взаємодія між водою і цементом супроводжується певними хімічними і фізичними процесами, які формують первинну структурну матрицю майбутнього цементного каменю. При цьому зміну пластичності цементного тіста до моменту переходу в твердий стан називають тужавінням.

Відомо, що на початковому етапі гідратації утворюється С-S-H-гель [1], який склеює між собою зерна цементу, при цьому енергія когезії гелю, яку ще називають міцністю когезії ( $W_k$ ), увесь час зростає під час тужавіння [2]. Отже, визначаючи міцність когезії упродовж усього періоду тужавіння, можна отримати інформацію про зміну енергетичного стану системи на атомно-молекулярному рівні.

У відомому методі визначення міцності когезії С-S-H-гелю закладений принцип відривання взірця цементного тіста від полірованої поверхні скла [2]. Однак цей метод дає змогу визначати  $W_k$  чистого гелю і тому не може об'єктивно характеризувати усю систему загалом.

**Мета роботи** – запропонувати метод, який би уможливив визначати зміни у цементному тісті під час усього періоду тужавіння.

Як об'єкт досліджень був використаний клінкерний цемент марки СЕМ І 42.5R (відповідно до європейського стандарту PN-EN 197-1). Цементне тісто в усіх дослідженнях мало В/Ц на рівні 0.29. В основу запропонованого методу був покладений відомий метод визначення початку і кінця зв'язування за допомогою приладу Віка, принцип дії якого полягає у визначенні penetрації індентора масою 300 грам з голкою діаметром 1.13 мм (європейський стандарт PN-EN 196-3). Класичний вигляд кривої тужавіння, визначеної за допомогою автоматичного приладу Віка (Vicatronic фірми Matest) згідно з EN-196-3, показано на рис. 1, б. Згідно з цим стандартом за початок зв'язування прийнято час, який минув від моменту всипування цементу у воду, до моменту, коли кінець голки знаходиться на віддалі 4 мм від поверхні скляної пластинки з точністю +/- 5хв. За кінець зв'язування прийнятий період від моменту всипування цементу у воду, до моменту, коли голка занурюється на 0.5 мм з заокругленням до 15 хв.

Враховуючи те, що глибина занурення ігли помножена на масу індентора дорівнює роботі, яка витрачається на подолання опору penetрації ( $R_p$ ), можна стверджувати, що у стандартному методі початок зв'язування відповідає роботі 0.106 нм за мінімального значення  $R_p$ , а кінець зв'язування 0.0015 н.м – за його максимального значення. На кривій зв'язування (рис. 1, б), це означає, що перша точка на ділянці кінця зв'язування відповідає рівновазі між силою тиску індентора, яка в стандартному методі дорівнює 3.60 МПа, і максимальним значенням опору penetрації тужавіючої системи у цей момент часу. Тісний зв'язок між  $R_p$  і  $W_k$  дає змогу стверджувати, що в точці, яка відповідає максимальному значенню опору penetрації, міцність когезії по величині дорівнює силі тиску індентора.

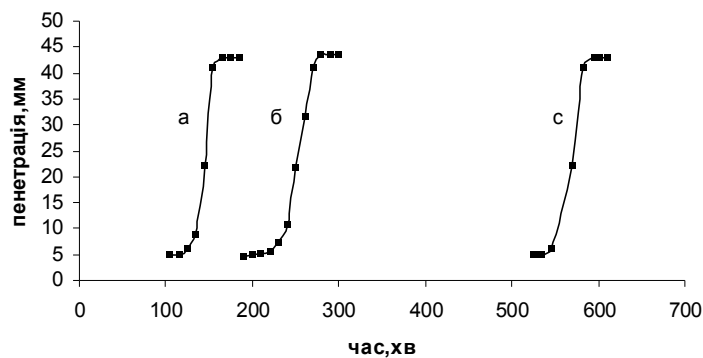


Рис. 1. Залежність пенетрації від часу тужавіння за різних навантажень на індентор:  
*a* – сила тиску на індентор 0.04 МПа; *б* – 3.60 МПа; *с* – 15.70 МПа

Отже, змінюючи масу індентора і фіксуючи момент рівноваги між ним і опором пенетрації, можна визначати  $R_p$  системи у кожний момент періоду тужавіння (рис. 1, а, с). На рис. 2 показано залежність  $W_k$  від часу тужавіння, тобто від моменту контакту цементу з водою до моменту переходу цементного тіста у твердий стан. Тільки така залежність об'єктивно відображає стан тужавіючої системи у кожний окремий момент часу. Що стосується стандартного методу, то фактично він відображає лише одну, окремо взятую частину усього періоду тужавіння, в нашому випадку від 163 до 283 хв.

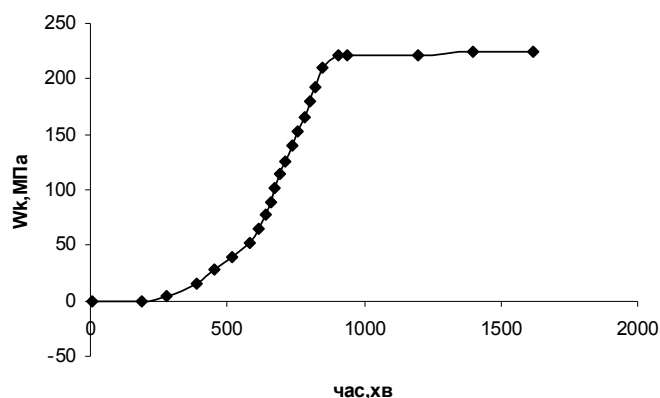


Рис. 2. Залежність опору пенетрації цементного тіста від часу тужавіння

Враховуючи той факт, що процес тужавіння є довготривалим, а величина  $W_k$  на початковому етапі дуже малою, крива тужавіння фактично не відображає змін  $W_k$  на початку гідратації, у зв'язку з чим пропонується цей етап розглядати окремо (рис. 3).

Криву тужавіння можна умовно розділити на три періоди: I – початковий, який обмежується 185 хв і в якому середня швидкість зростання  $W_k$  дорівнює 6.10–4 МПа/хв; II – період, який триває 725 хв і в якому швидкість зростання  $W_k$  дорівнює 29.10–2 МПа/хв, та III період, який триває 715 хв і в якому швидкість зростання  $W_k$  дорівнює 1.2.10–2 МПа/хв. Велика різниця у швидкостях зростання  $W_k$  свідчить про те, що кожному з періодів відповідає окремий, характерний тільки для нього механізм тужавіння. Найявність чітко вираженого переходу між першим та другим періодами дає підстави для оцінки інтенсивності тужавіння за допомогою  $\sin \alpha$ , тригонометричної функції кута нахилу  $\alpha$  прямолинійної ділянки кривої тужавіння (рис. 3). Наприклад, для СЕМ I 42.5R  $\sin \alpha = 0.82$ , а для цементу СЕМ I 32,5R  $\sin \alpha = 0.53$ , що свідчить про те, що процес тужавіння першого з них перебігає значно інтенсивніше.

Отже, новий метод дає можливість оцінювати інтенсивність тужавіння системи у момент її переходу в активний період тужавіння, який супроводжується інтенсивним зростанням опору пенетрації.

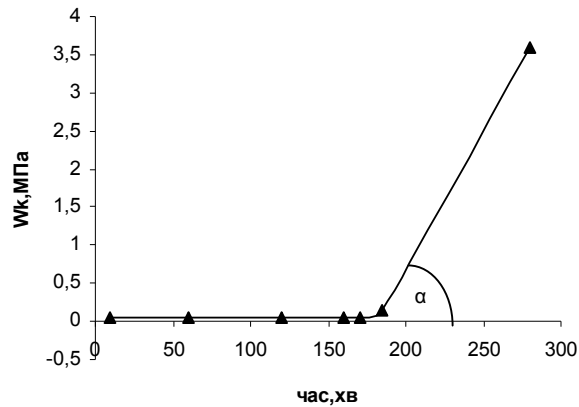


Рис. 3. Залежність міцності когезії  $W_k$  від часу тужавіння на початковому етапі гідратації

Найімовірніше, що в першому періоді відбуваються незначні зміни енергетичного стану С-S-H-гелю, які супроводжуються збільшенням міцності когезії. У другому періоді відбувається інтенсивний ріст первинної кристалічної фази подібної до 1.4 нм-тобермориту ( $C_5S_6H_9$ ) та женіту ( $C_9S_6H_{11}$ ). І, накінець, у третьому періоді спостерігаємо різке зменшення швидкості зростання  $W_k$ , що може свідчити про завершення кінетичної фази реакції взаємодії цементу з водою. Зрозуміло, що параметри тужавіння, визначені запропонованим методом, будуть відрізнятися від стандартного методу (таблиця).

#### Порівняльна характеристика стандартного та нового методів

Параметри / Методика	Стандартна	Запропонована
Початок зв'язування, хв	163	-
Кінець зв'язування, хв	263	-
Початок тужавіння, хв	Не фіксується	9
Кінець тужавіння, хв	Не фіксується	905
Сила тиску індентора, МПа	3.60	Від 0.04 до 224.40

#### Висновки

На підставі проведених досліджень можна зробити такі висновки:

1. На відміну від стандартного, новий метод дає змогу визначати міцність когезії тужавіючої системи фактично від моменту початку гідратації цементу до моменту її переходу у твердий стан. Це дає можливість вивчати вплив різних додатків на процес тужавіння у динаміці.
2. Вивчення міцності когезії у період тужавіння портландцементу за допомогою запропонованого методу дало змогу розділити цей процес на три періоди, кожний з яких має свої особливості. Усі процеси тужавіння відбуваються в екзотермічній фазі гідратації, про що свідчить порівняння вищезгаданих періодів з кривою зміни швидкості виділення тепла [3]. Однак для підтвердження різних механізмів тужавіння, які відбуваються в різних періодах цього процесу, слід провести додаткові дослідження.
3. Для докладнішого описання процесу тужавіння впроваджено поняття “інтенсивність тужавіння”, яку можна оцінити величиною  $\sin \alpha$ , тригонометричної функції кута нахилу  $\alpha$  прямолінійної ділянки кривої тужавіння.
4. Крім перерахованих, ще однією перевагою запропонованого методу є простота і мінімальні витрати на його реалізацію.

1. Тейлор Х. Химия цемента. – М.: Мир, 1996. – 560 с. 2. Шевченко В.В., Коцай Г.Н. Роль добавок мелкомолотого стекла в прединдукционном периоде твердения портландцемента. – Ч.2 // *Вопр. химии и хим. технологии*. – 2013. – №1. – С. 163 – 165. 3. Shevchenko V., Swierad W. A mechanism of Portland cement hardening in the presence of finely grained glass powder // *Chemistry & Chemical Technology*. 2007. – Vol.1, № 3. – P. 179 – 184.