

БУДІВНИЦТВО

УДК 621.039.616 + 666.965

ФІЗИКО-ХІМІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТРУКТУРИ ЕЛЕКТРОПРОВІДНИХ БЕТОНІВ

Канд. техн. наук, доц. Сердюк В. Р^м Лемешев М. С, асп. Христич О. В.

В повітряно-сухому стані питомий електричний опір цементного каменю не опускається нижче 10^4 Ом-м і може досягати рівня 10^5 – 10^6 Ом-м, характерного для технічних діелектриків. Важкий бетон, який використовується для виробництва фундаментів, в процесі експлуатації має опір 10^2 – 10^3 Ом-м через поглинання вологи з ґрунту.

Високі діелектричні властивості бетону вперше були використані ще в 30 роки для електроізоляції струмопровідного рельса в Паризькому метро. На стадії виготовлення бетону в його склад вводили бітумінозні речовини (до 250 кг/м³) у вигляді емульсій. Затверділий бетон потім нагрівали до 140–150 °С, при цьому виділялась вільна волога, а бітумінозні речовини розплавлялись і покривали стінки пор і капілярів, забезпечуючи матеріалові водовідштовхувальні властивості. Так званий «Бетон Ламберта» виготовлявся на глиноземистому цементі і в сухому стані мав питомий електричний опір 10^{10} Ом-м [1].

В колишньому СРСР конструктивні і електроізоляційні особливості бетону були використані для виготовлення ізолюючих траверс для безізоляторного кріплення проводів на стояках опор ВЛ 0,4–35 кВ. Такі траверси розроблені на заміну типових з штирровою ізоляцією. За рахунок скорочення витрат металу, відсутності спеціальних ізоляторів і спрощення монтажу значно зменшуються капітальні витрати при спорудженні ЛЕП [2], залізобетонних шпал [3, 4].

Суміщення високих діелектричних властивостей, притаманних цементному каменю, з електропровідністю вуглеграфітових [5], або металевих порошоків [6] забезпечило створення нового виду цементних бетонів. Електропровідність таких композицій залежить від об'ємної концентрації провідникового компонента, його дисперсності, технології виготовлення. В 60-х роках в нашій країні вперше були отримані електропровідні бетони (бетони), які вміщують вуглець. Відсутність адгезії між цементним каменем і вуглеграфітами, а також перехід вуглецевих домішок при нагріванні з твердого стану в газоподібний значно знижує довговічність вказаних бетонів в порівнянні з бетоном-м, в якому використовуються металеві порошки.

У фізичному зображенні електропровідні матеріали являють собою гетерогенні системи з декількома компонентами і різко відмінними один від одного електричними властивостями. Один із компонентів є діелектричним в'язучим, другий — електропровідним компонентом (вуглець, метал).

Для таких композиційних матеріалів характерне існування двох граничних типів структур цементно-металевих систем. В першому випадку вона складається з дискретних провідникових частинок однієї фази і безперервного прошарку діелектричної зв'язки, що облягає ці частинки. Така система буде матричною і функції матриці виконує безперервна цементна фаза. В другому крайньому випадку одночасно із існуванням безперервної в'язучої діелектричної фази, провідникові частинки або їх агрегати при достатній концентрації контактують між собою, створюючи ланцюгову або зернисту структуру складної г.

К?аг:;е?нн наповнювач у складі електропровідних композицій забезпечує створення ^акрх;t>:<п.рн<:г: каркасу, а дві взаємопроникні фли (провідникова і діелектрична га"»:-):-: ча :<ап ~ ~ня>:нь пустоти діелектричного наповнювача.

У Е:япал:*о ;< ~А частинки провідника при малих концентраціях рівномірно розподілені і не створюють окремих ланцюгів чи ігратіз. то ці композити мають структуру з «вкрапленнями»

Ггг>:сг.га іо^кгт; пг:ао:н т: сетону не може бути віднесена до матричного або

статичного типу. Створення безперервної об'ємної матриці із частинок провідникового компоненту проходить при його об'ємній концентрації, рівній 0,34. Структура такого чи подібного типу названа Е. К. Маєвським «комбінованою кубичною» [7]. Подальше збільшення об'ємної концентрації провідникового компоненту призводить до того, що контакт між частинками цементу після затворення їх водою буде проходити через найтонші зростки сольватних прошарків. Граничний стан настане при розширенні частинок цементу на величину діаметра частинок провідникового компоненту.

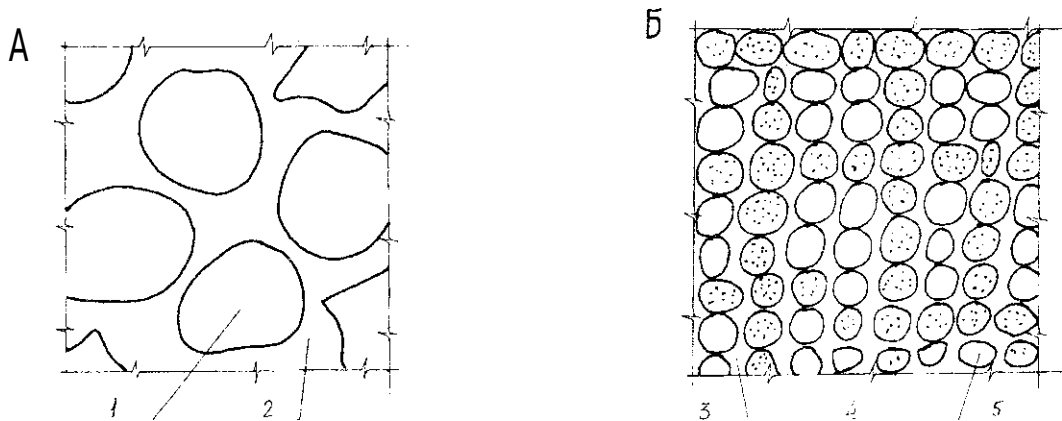


Рис. 1. Принципова схема структури бетела — м: 1 — діелектричний наповнювач (пісок); 2 - електропровідний металосилікатний матеріал матричної взаємопроникаючої структури; 3 - гелева оболонка; 4 - агрегати металевого порошка; 5 — агрегати цементу

Принципова схема структури бетела наведена на рисі. Діелектричний наповнювач (пісок) створює каркас, в пустотах якого розміщена цементно-металева фаза (рис. 1а). Цементно-металева фаза в свою чергу включає гідратований цемент, металевий компонент, дрібну фракцію цементу.

Добре відомо, що високодисперсні частинки цементу, вуглецю, металевого порошку не можуть існувати окремо одна від одної згідно своїх фізичних властивостей. В присутності води ці дисперсні частинки коагулюють в агрегати, тому формування структури в цьому випадку проходить через мікроагрегатні водні оболонки (рис. 1б).

При взаємодії цементу з водою одночасно з фізико-механічними проходять і фізико-хімічні процеси, збільшується рН середовища, гідратуються клінкерні мінерали і виникають нові фази цементного каменю. В цілому система виходить на новий рівень енергетично невірноваженого стану [8]. відповідно >. 10] виникнення частинок з розвиненою міжфазовою поверхнею призводить до збільшення поверхневої енергії системи. Самостійно зменшити надлишкову енергію системи можна, зменшивши внутрішню поверхню за рахунок створення агрегатів з зародками нової фази.

Використання цементного в'язучого як діелектричної зв'язки забезпечує створення регулярної структури. При затворенні цементу водою в окрузі кожної його частинки створюється гідратна плівка, яка потім переходить в гелеву плівку. Гідратується лише поверхневий прошарок частинок в'язучого, а внутрішня частина зберігається негідратованою і служить діелектричним наповнювачем. Капсули з твердим ядром всередині агрегують і система стає термодинамічно вигіднішою, на поверхні агрегата створюється плівка із геля. Розмір таких агрегатів по [11] в середньому складає $(2-3) \cdot 10^4$ м.

Частинки провідника також самостійно агрегують, створюють флокули. Створені структури сприяють рівномірному розподілу дисперсного провідника ще на стадії сухого перемішування.

Наявність тонкої затверділої гелевої плівки в контактах між частинками провідника забезпечує нелінійність властивостей композиційного матеріалу. У взаємопроникній структурі бетела зберігається безперервність двох основних компонентів: провідникового і діелектричного зв'язуючого. Однією із обов'язкових умов існування електропровідності є наявність безпосереднього контакту між частинками провідника, або ширина розриву близько 30 А — величини середньої довжини вільного пробігу електрона між зіткненнями (рис. 2).

Наведена схема контактів частинок провідникового компоненту (рис. 2) показує, що

при проходженні струму із збільшенням температури матеріалу внаслідок виділення тепла в місцях контактів матиме місце лінійне розширення частинок провідника. Зменшення ширини проміжку між частинками провідника призводить до збільшення електропровідності такого композиційного матеріалу. Певній величині проміжку відповідає певна різниця потенціалів, при якій розпочнеться термоелектронна емісія. Із збільшенням температури електропровідність діелектричних прошарків цементної зв'язки збільшується, а самого металу (сталі) навпаки.

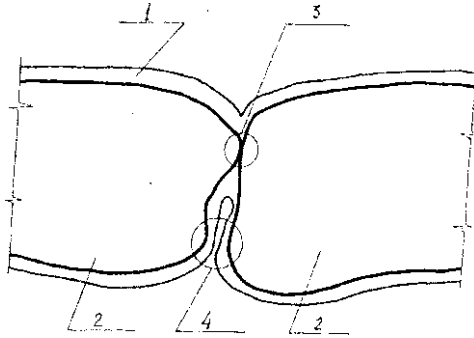


Рис. 2. Схема контактів частинок металевого порошка в бетелі-м: 1 — гелевий порошок між цементним каменем і провідником; 2 — провідник; 3 — зона стабільного контакту між частинками провідника; 4 — діелектричний прошарок з властивостями напівпровідника (зона нестабільного контакту)

частинок або агрегатів провідникового компоненту. Показники контракції у різних в'язучих знаходяться в межах 4,8 — 24 %. Суміш в'язучого з водою при водов'язучих відношеннях, що перевищують стехеометрично необхідні, під час твердіння практично залишається в межах вихідного свого об'єму, що обумовлює виникнення в ній йор, об'єм яких відповідає величині контракції. Вона передбачає неможливість практично отримати при твердінні гідратні в'язучі структури з повністю відсутніми порами.

Другий фактор, що обумовлює виникнення пор в тверднучій масі зв'язаний з тим, що частинкам гідратів всіх в'язучих при їх виникненні притаманна властивість розташовуватися в просторі з такими проміжками між ними, які визначаються особливостями кристалічної структури гідратів і умовами їх створення. Це явище в більшій мірі відображається на формуванні структури затверділого в'язучого, його міцності і довговічності.

За даними Т. Пауерса [12] частинки, які виникають при гідратації портландцементу, розміщуються в просторі з проміжками, які займають не менше 28 % загального об'єму гідратних частинок з порами між ними (відносна пористість гідратів). Це відповідає $28/(100 - 28) = 0,39$ абсолютного об'єму новостворень (абсолютна пористість гідратів). А за даними [13] при пресуванні під високим тиском гарячих сумішей цементу з водою і за даними [14] в умовах тривалого тверднення (до 5 років) в воді цементних зразків відносна пористість новостворень може зменшуватись до 24—22 % загального об'єму з порами.

Частинки других гідратів, наприклад C_3AH_5 (еттрінгіта) при створенні розташовуються в об'ємі системи з значно більшими проміжками в порівнянні з гідратами портландцементу.

Таким чином, об'єм пор, які створюються в сумішах в'язучих з водою через контракцію, недостатній для розміщення частинок новостворень з проміжками між ними. Це явище є надзвичайно важливим при використанні бетелів-м (бетон електропровідний металонасичений) як електронагрівачів, коли провідникова металева фаза збільшується в розмірах в замкнутій системі пористого силікатного геля при нагріванні.

Віжростр'ісіура бетелу-м вивчалась нами за допомогою розчинного електронного мікроскопа марки ВС-340 при збільшенні від 100 до 5000 раз. методом реплік зі сколів зГЗЗХів..

плівка золота для отримання 8—10 А шару (у вугілля у:п; вує деталі об'єкта і запобігає накопиченню зарядів 7"ги ковзанні цього пучка по поверхні досліджуваного :гзмінювання, спектр якого відповідає якісному складу

:<:д> :ГЗКІВ підтверджують, що реальна структура бетелу-м зберігає)Г-:-: передумови, що покладені в обґрунтування створення елекгро-

провідних цементних композиційних матеріалів через комбінацію правильних упаковок мікроагрегатів і створення ланцюгових структур (рис.3).

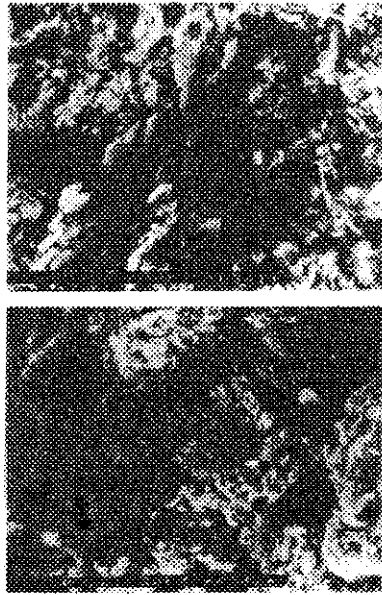


Рис. 3. Мікрофотографії зразків бетела-м. Збільшення в 500 раз. А — гідратні новостворення у вигляді пластин, луски; Б - мікроагрегати розміром 150 - 200 мкм

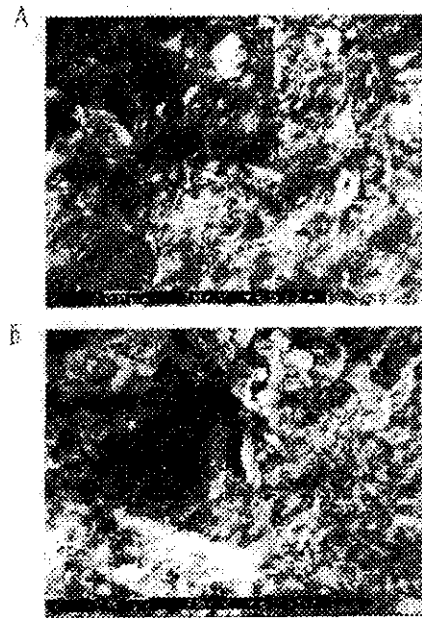


Рис. 4. Корозійний контакт кварцевих частинок піска, д _ видно зерна піска, частинки металу в гідратованій масі (збільшення в 100 раз); Б — на поверхні піска створений пропіарок гідратних новоутворень (збільшення в 400 раз)

Між окремими силікатними гідратними складовими цементної маси має місце як механічний, так і хімічно-корозійний контакт. По контакту зерен кварцевого піску з гідратованим в'язучим прослідковується зона кристалічних гідратних новостворень (рис. 4), що свідчить про хімічну взаємодію між 8Ю^2 (пісок) і $\text{Ca}(\text{OH})^2$ (гідратована маса).

Фазовий склад новоутворень цементного каменю в цілому забезпечує ті чи інші властивості і призначення електропровідного бетону. При формуванні мікроструктури бетела-м наявність Re^{203} на поверхні металевого провідникового компонента може впливати на фазовий склад новоутворень силікатної зв'язки. Невеликі добавки Re^{203} в цементних системах забезпечують інтенсифікацію створення низькоосновних гідросилікатів кальцію типу $\text{C}8\text{H}$. останні забезпечують цементним бетонам високі фізико-механічні властивості.

Рентгено-структурний і диференційно-термічний аналізи проб бетела-м, проведені нами з різними дозами металевого компонента і ступенями окислення показали, що в системі $(\text{CaO} - \text{Re}^{203} - \text{H}_2\text{O})$ після гідротермальної обробки виявлені $\text{C}3\text{RH}5$ і $\text{C}4\text{RH}14$, а при наявності у вихідній суміші 8Ю^2 фазовий склад новоутворень доповнився гідрогранатами ряду андрадиту — $\text{C}^3\text{P}8^3$ і низькоосновними гідросилікатами кальцію типу $\text{C}8\text{H}$. Якщо металевий провідник термічно окисдований, або відновлений в середовищі ендогазу або CO , то незалежно від кількості добавки провідникового компонента, він не впливає на фазовий склад новоутворень цементного каменю.

Оскільки водоутримувальні властивості таких цементних мінералів як C^3A і C^4AP після нейтронного опромінення в 2—6 раз вищі ніж C^3H і C^2H , то в бетелі синтезовані спеціальні залізовміщувальні новоутворення, необхідні для захисту від іонізуючого опромінення. Наявність високого вмісту хімічно-зв'язаної води (легких ядер водню проти нейтронних потоків) і важкого елемента — заліза (проти у-випромінювань) забезпечує високі захисні властивості бетела-м від іонізуючих і непрямих іонізуючих випромінювань.

В цементах, що містять підвищену кількість заліза, може бути присутній двокальцієвий ферит, який при гідратації дає двокальцієвий гідроферит $2\text{CaORe}^{203} \cdot \text{H}_2\text{O}$. Ця сполука в розчинах $\text{Ca}(\text{OH})^2$ переходить в $3\text{CaRe}^{203} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ або в $4\text{CaORe}^{203} \cdot 13\text{H}_2\text{O}$. Серія твердих розчинів, створених чотирма гідрогранатами (C^3AN^6 , C^3RH^6 , $\text{C}^3\text{A}8^3$, $\text{C}^3\text{P}8^3$), насамперед викликана присутністю в складі цементу оксидів заліза C^4AP і C^3A .

Таким чином в формуванні структури електропровідних бетонів важливу роль відіграє мінеральне в'язуче, електропровідний компонент, способи формування, умови гідрата-

ційного твердження і інші технологічні фактори виробництва.

Формування макро- та мікроструктури і вид струмопровідної компоненти електропровідних бетонів обумовлює властивості і область використання цих матеріалів. Бетон з пористою структурою є радіопоглинальним матеріалом, а щільний — низькотемпературним електронагрівачем, елементом антистатичної підлоги, заземлювачем, екраном від іонізуючих і непрямонаіонізуючих випромінювань.

ЛІТЕРАТУРА

1. Батберг Е. В. Бетон с пористой структурой. — В кн. Железобетонные конструкции — Вып. 8, 1940. — С. 257.
2. Бернацкий А. Ф., Целебровский Ю. В., Чунчин В. А. Электрические свойства бетона. М.: Энергия, 1980, 206 с.
3. Мчедлов-Петросян О. П., Старосельский А. А. Предпосылки повышения электропроводности цементных бетонов. — В кн. Железобетонные шпальты — М.: Транспорт, 1968. — С. 52—59.
4. Старосельский А. А. Влияние технологических факторов на электропроводность бетона. — В кн. Железобетонные шпальты. — М.: Транспорт, 1966. — С. 37—43.
5. Электротехнические бетоны / Тр. ин-та СибНИИЗ, 1964. Вып. 2(21). — 104 с.
6. Сердюк В. Р. Бетон электропроводный металлонасыщенный. — Винница: Континент, 1993, — 239 с.
7. Технология изготовления нагревательных элементов из бетона для отопления жилых и общественных зданий: Сб. тр. СибНИИЗ, 1977. - № 15. - 60 с.
8. Соломатов В. И., Вывровой В. Н., Дорофеев В. С., Сирсико А. Б. Композиционные строительные материалы и конструкции пониженной материалоемкости. — Киев; Будівельник, 1991. — 145 с.
9. Дельмон Б. Кинетика гетерогенных реакций. — М.: Мир, 1972. — 554 с.
10. Овчаренко Ф. Д., Архипов В. В., Бирюков А. И., Плагин А. Н. Электропроводность явления и оценка процессов твердения минеральных вяжущих и бетонов на их основе. Коллоидный журнал. — 1981. — № 5. — С. 877-882.
11. Гиббс Д. В. Термодинамика. Статическая механика, — М.: Наука, 1992. — 584 с.
12. Пауэрс Т. Физические свойства цементного теста и камня. (Тр. конгресса) IV Международного конгресса по химии цемента. — М.: Стройздат, 1964. — 318 с.
13. Рой Д. М., Гоуда Г. Р. Организация прочности цементного теста. — Сб. трудов VI Международного конгресса по химии цемента. — М.: Стройздат, 1976. — С. 310—314.
14. Волженский А. В. Генезис пор в структурах гидратов и предпосылки к саморазрушению твердеющих вяжущих. — М.: Строительные материалы, 1979. — № 7. — С. 22—24.

Кафедра економіки, та управління будівництвом

УДК 666.9

МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРЕСУВАННЯ У ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ФІЗИКО-МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПРЕС-СУМІШІ

Канд. техн. наук, доц. Очеретний В. П., студ. Королькевич В. А.

Вступ

Встановлено, що якість пресованого стінового матеріалу (ПСМ) на основі ґрунтів та промислових відходів залежить від властивостей вихідної сировини та умов її пресування. Для кожного складу суміші з урахуванням її фізико-механічних властивостей (стигливості, формовочної вологості, зернового складу, її пластичної міцності тощо) необхідно підбирати оптимальні параметри пресування (тиск, тривалість, спосіб пресування тощо), які забезпечують достатню щільність та міцність пресованих виробів.

У даній роботі на основі механіки прес-сумішей розроблена методика визначення оптимальних параметрів пресування у залежності від фізико-механічних властивостей прес-суміші

Розглянемо механіку процесу пресування формувальної суміші Деформація ущільнення (сідання штампа від зусилля пресування) аналогічна деформації ґрунту, структурної міцності. тобто відбувається під дією навіть невеликого тиску. Як і ґрунти, відноситься до дисперсних тіл. тому при розгляді їх деформування не слід змінювати зміну об'єму пор при стиску, тобто розглядати один з основних законів ущільнення «закон компресії» [2]. Щоб зрозуміти дію магії уявлення про стисливість прес-суміші