МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД

«ПРИДНІПРОВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ

БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ»

КАФЕДРА ТЕХНОЛОГІЇ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ, ВИРОБІВ

ТА КОНСТРУКЦІЙ

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

до практичних занять за темою «Спеціальні цементи»

з дисципліни «Технологія виробництва та використання матеріалів спеціального призначення» для студентів ступеня магістра

спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія»

освітніх програм «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів» денної та заочної форм навчання

Дніпро

2020

Методичні вказівки до практичних занять за темою «Спеціальні цементи» з дисципліни «Технологія виробництва та використання матеріалів спеціального призначення» для студентів ступеня магістра спеціальності 192 «Будівництво та цивільна інженерія» освітніх програм «Технології будівельних конструкцій, виробів і матеріалів» денної та заочної форм навчання / Укладач: Сторчай Н. С. - Дніпро: ДВНЗ ПДАБА, 2020 р. – 11 с.

Методичні вказівки до виконання практичних робіт містять приклади розв’язання завдань за темою «Спеціальні цементи», також надано завдання для самостійної роботи, список рекомендованої літератури.

Укладач: Сторчай Н. С., д. т. н., проф. кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій ДВНЗ ПДАБА

Відповідальний за випуск: Шпирько М. В., д. т. н., проф., зав. каф. технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій ДВНЗ ПДАБА

Рецензент: Колохов В. В., к. т. н., доцент кафедри технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій ДВНЗ ПДАБА

Затверджено на засіданні кафедри

технології будівельних матеріалів, виробів та конструкцій ДВНЗ ПДАБА

Протокол № 10 від «06» квітня 2020 р.

Зав. кафедри Шпирько М. В.

Затверджено на засіданні

Президії методичної ради ДВНЗ ПДАБА

Протокол № 7 (142) від «04» червня 2020 р.

**ЗМІСТ**

|  |  |
| --- | --- |
| ХАРАКТЕРИСТИКА ХІМІЧНОГО ТА МІНЕРАЛОГІЧНОГО СКЛАДУ ПОРТЛНДЦЕМЕНТНОГО КЛІНКЕРУ………………….. | 4 |
| ПРИКЛАДИ РОЗВ’ЯЗАННЯ ЗАВДАНЬ..……………………………  | 7 |
| Завдання 1………………………………………………………………. | 7 |
| Завдання 2………………………………………………………………. | 7 |
| Завдання 3………………………………………………………………. | 8 |
| Завдання 4………………………………………………………………. | 8 |
| Завдання 5………………………………………………………………. | 9 |
| ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ………………………... | 10 |
| СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ ..…………………………………………….. | 11 |

**ХАРАКТЕРИСТИКА ХІМІЧНОГО ТА МІНЕРАЛОГІЧНОГО СКЛАДУ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛІНКЕРУ**

Для визначення хімічного і мінералогічного складів клінкеру при розрахунку сировинної суміші застосовуються модулі, що враховують співвідношення між основними оксидами в клінкері і сировинної суміші, а також формули розрахунку ступеня насичення СаО. Найважливіші формули представлені в табл. 1[3].

На основі вищенаведених формул можна розраховувати і реалізовувати на практиці отримання клінкеру заданого хімічного складу при орієнтовних значеннях ступеня насичення СН, силікатного і глиноземистого модулів (СМ і ГМ), наведених нижче (табл. 2) [3].

Формули розрахунку ступеня насичення СаО, наведені в табл. 1, являють собою співвідношення між наявними та максимальною кількістю СаО, яке в виробничих умовах випалу охолодження може зв'язуватися з наявними кількостями SiО2, Аl2O3 і Fe2O3 в клінкерні фази.

Таблиця 1

Ступінь насичення клінкеру вапном і модулі (кремнеземний, глиноземистий, сульфатний) [3]

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Позначення | Скорочення | Формула | Діапазон зміни показника для портландцементу |
| Ступінь насичення вапном І | СН І | $$СН І=\frac{100 CaO}{2,8SiO\_{2}+1,1Al\_{2}O\_{3}+0,7Fe\_{2}O\_{3}}$$ | 92…102 |
| Ступінь насичення вапном ІІ | СН ІІ | $$СН ІІ=\frac{100 CaO}{2,8SiO\_{2}+1,18Al\_{2}O\_{3}+0,65Fe\_{2}O\_{3}}$$ | немає даних |
| Ступінь насичення вапном ІІІ\* (для MgO≤2,0%) | СН ІІІ | $$СН ІІІ=\frac{100 (CaO+0,75MgO)}{2,8SiO\_{2}+1,18Al\_{2}O\_{3}+0,65Fe\_{2}O\_{3}}$$ | 90…1024 |
| Ступінь насичення вапном ІІІ (для MgO≥2,0%) | СН ІІІ | $$СН ІІІ=\frac{100 (CaO+1,5MgO)}{2,8SiO\_{2}+1,18Al\_{2}O\_{3}+0,65Fe\_{2}O\_{3}}$$ | 90…102 |
| Силікатний модуль | СМ | $$СМ=\frac{SiO\_{2}}{Al\_{2}O\_{3}+Fe\_{2}O\_{3}}$$ | 1,8…3,4 |
| Глиноземний модуль | ГМ | $$ГМ=\frac{Al\_{2}O\_{3}}{Fe\_{2}O\_{3}}$$ | 1,8…2,8 |
| Cульфатний модуль | MSO3 | $$Mso\_{3}=\frac{SO\_{3}}{0,85∙(K\_{2}O+1,52Na\_{2}O}$$ | немає даних |

\* СН ІІІ враховує, що в клінкері може зв'язуватися до 2,0% MgO. При цьому 1 частина MgO заміняє 0,75 частини СаО

Таблиця 2

|  |  |
| --- | --- |
| Показник | Клінкер для отримання певного виду цементу |
| СН=90…97 | Стандартний портландцемент |
| СН=97…102 | Швидкотверднучий високоміцний портландцемент |
| СМ=2 | Стандартний портландцемент |
| СМ>3 | Портландцемент з підвищеним вмістом SiO2 |
| СМ<1,8 | Портландцемент зі зниженим вмістом SiO2 |
| ГМ=2 | Стандартний портландцемент |
| ГМ>4 | Глиноземистий цемент |
| ГМ<1,5 | Сульфатостійкий портландцемент |

У табл. 3 представлені типові хімічні склади клінкеру для отримання стандартного портландцемент і цементів спеціального призначення.[3]

Таблиця 3

Хімічні та мінералогічні склади клінкерів різних цементів [3]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Характе-ристика | Стандартний портланд-цемент | Швидко-тверднучий портланд-цемент | Сульфато-стійкий портланд-цемент | Білий портланд-цемент |
| Хімічний склад, % |
| SiO2 | 20,5 | 19,6 | 20,5 | 20,9 |
| Al2O3 | 6,5 | 6,0 | 4,8 | 4,3 |
| Fe2O3 | 3,5 | 3,3 | 6,2 | 0,5 |
| CaO | 64,5 | 66,6 | 61,8 | 66,7 |
| CaOвільний | 1,4 | 1,8 | 0,7 | 1,2 |
| CaOзв’язаний  | 62,5 | 64,3 | 60,6 | 65,4 |
| SO3 | 1,0 | 0,7 | 0,9 | 0,2 |
| MgO | 3,3 | 2,1 | 1,9 | 1,6 |
| Модулі |  |  |  |  |
| СМ | 2,05 | 2,11 | 1,86 | 4,77 |
| ГМ | 1,86 | 1,82 | 0,77 | 8,6 |
| СН І | 96,7 | 100,8 | 90,4 | 94,5 |
| Фази клінкеру, % |
| C3S | 49,9 | 67,8 | 49,7 | 62,5 |
| C2S | 21,2 | 5,1 | 21,3 | 18,5 |
| C3A | 11,3 | 10,3 | 2,2 | 10,6 |
| C2(A,F)\* | 10,7 | 10,0 | 18,9 | 1,5 |

\*В Україні цей мінерал позначається C4AF і називається чотирьох кальцієвий алюмоферит

Огляд основних технічних властивостей клінкерних мінералів представлений в табл. 4

Таблиця 4

Властивості і характеристики основних клінкерних мінералів по Штарку (STARK) і ін. [3]

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Характеристика(властивість) | Аліт | Беліт | Алюмінатна фаза | Феритна фаза |
| Швидкість гідратації | Висока | Висока, повинна зменшуватися за допомогою додавання гіпсу | Значна, залежить від швидкості охолодження і змісту сторонніх оксидів | Невисока |
| Міцність | Висока початкова міцність | Висока кінцева міцність | Сприяє міцності в ранньому віці | Дуже низька |
| Теплота гідратації (повна гідратація) | 500 Дж/г | 250 Дж/г | 1340 Дж/г | 420 Дж/г6 |
| Ступінь усадки гідратованих чистих фаз,% | 0,05 | 0,02 | 0,10 | 0,02 |
| Особливі властивості | Основний мінерал, який забезпечує міцність портланд-цементу | Модифікація має вирішальне значення для наростання міцності: α`>β | Впливає на міцність при тепловій обробці і сульфатостійкість | Прийде клінкеру і цементу сіро-зелене забарвлення через вмісту MgO |
| Стійкість ново-утворень в часі | При гідратації утворюється багато Са(ОН)2: - позитивно для карбонізації; - негативно для хімічної стійкості | При гідратації утворюється менше Са(ОН)2 | Реагує з сульфатами - сульфатне розширення | Стійкість до впливу сульфатів |

Як видно з табл. 4, мінерали зумовлюють такі властивості цементу:

C3S – початкову і кінцеву міцність;

C2S – кінцеву міцність і низьку теплоту гідратації;

C3A – початкову міцність і високу теплоту гідратації;

C2(A,F) – корозійну стійкість, в тому числі сульфатостійкість

**ПРИКЛАДИ РОЗВ’ЯЗАННЯ ЗАВДАНЬ**

**Завдання 1**

Яка кількість суперпластифікатора Melment потрібно для отримання 1 т пластифікованого портландцементу з мінеральними добавками. Встановлено, що під час помелу клінкеру необхідно вводити 0,5% суперпластифікатора Melment, 4,5% двуводного гіпсу, 20% діатоміту від маси клінкеру.

Розв’язання

Для приготування 1 т пластифікованого портландцементу необхідно:

- суперпластифікатора Melment: 1000/100∙0,5=5 кг

- двуводного гіпса: 1000/100∙4,5=45 кг

- діатоміта: 1000/100∙20=200 кг

- клінкера: 1000-45-200=755 кг

**Завдання 2**

Скільки буде потрібно пластифікуючої добавки для пластифікації 10 т портландцементу. Добавка містить 10% твердої речовини і 90% води. Встановлено, що кількість пластифікучої добавки повинно бути 0,5% від маси цементу в розрахунку на тверду речовину.

Розв’язання

Для приготування 10 т пластифікованого портландцементу необхідно ввести 0,5% пластифікуючої добавки від маси цементу, тобто:

10000∙0,005=50 кг сухої речовини.

Але так як пластифицікуюча добавка має у водному розчині 90% води, тобто 450 кг, тоді водного розчину пластифікуючої добавки треба ввести 500 кг на 10 т портландцементу.

**Завдання 3**

Яку кількість гідрофобної добавки-милонафта потрібно для отримання 10 т гідрофобного портландцементу з мінеральними добавками. Встановлено, що під час помелу клінкеру необхідно вводити 0,15% милонафта, 5% двуводного гіпсу, 10% трепелу від маси клінкеру.

Розв’язання

Для приготування 10 т гідрофобного портландцементу потрібно:

- добавка-милонафт 10000 ∙ 0,0015 = 15 кг

- двуводний гіпс 10000 ∙ 0,05 = 500 кг

- трепел 10000 ∙ 0,1 = 1000 кг

- клінкер 10000 - 1500 = 8500 кг

**Завдання 4**

Зразки-балочки розміром 40х40х160 мм, виготовлені з цементного розчину на стандартному піску складу 1: 3 по масі, були випробувані на вигин, а половинки балочок - на стиск у віці 28 діб. При випробуванні на вигин отримані результати: 6,1, 6,4 і 6,6 МПа. Руйнівні навантаження при випробуванні на стиск - 138,5; 141,3; 148,4; 152,6; 146,2; 139,5 кН. Визначити марку пуцоланового цементу.

Розв’язання

Межа міцності при стиску Rст (МПа) кожного зразка визначається за формулою:

Rст = 10F / A, (4.1)

де *F* – руйнівне навантаження, кН;

*А* – площа металевих пластинок, см .

Межа міцності при стисканні зразків визначають за результатами випробувань як середнє арифметичне з отриманих результатів.

Rвиг = 6,1 МПа

Rвиг = 6,4 МПа

Rвиг = 6,6 МПа

Rст = 1385/25=55,4 МПа

Rст = 1413/25=56,5 МПа

Rст = 1484/25=59,3 МПа

Rст = 1526/25=61,04 МПа

Rст = 1462/25=58,4 МПа

Rст = 1395/25=55,8 МПа

Відповідно до вимог стандарту ДСТУ Б В.27-46:2010 Цементи загальнобудівельного призначення. Технічні умови [8], значенням межі міцності при стиску Rст = 57,7 МПа відповідає марка цементу 500 (табл.2[8]),

тип IV - пуцолановий цемент, що містить в якості основних компонентів портландцементний клінкер та пуцоланові матеріали (П), золи винесення (З), вапняк (В), а також додаткові компоненти (табл.1 [8])

Може мати наступне маркування:

Пуцолановий цемент ДСТУ Б В.2.7-46:2010 ПЦЦ IV/Б(П-З)-500

Пуцолановий цемент з пуцоланом П і золою-винесення З від 36% до 55%, марки 500

**Завдання 5**

Дано два портландцементу однакової тонкості помелу наступного мінералогічного складу (без добавок):

|  |  |
| --- | --- |
| Номер цементів | Мінералогічний склад, % |
| C3S | C2S | C3A | C4AF |
| 1 | 58 | 16 | 12 | 12 |
| 2 | 32 | 58 | 4 | 10 |

Розв’язання

**Цемент №1** має нормальний клінкер (за змістом аліта) і нормальний за змістом алюмінату [1, стор. 154]. Даний портландцемент **загально-будівельного призначення.**

**Цемент №2** має белітовий клінкер [1, стор. 154]

Даний портландцемент є, швидше за все **сульфатостійким** і **нізкотермічним** (тобто цементи з низькою екзотермією - низьким виділенням теплоти в процесі твердіння), тому що такі цементи виготовляються на основі клінкерів, що мають обмеження за змістом трехкальциевого алюмината C3A <5%, і за вмістом аліта C3S <50% [2, стор. 265]. Обмеження за даними мінералами призводить до підвищення сульфатостійкості і до зниження екзотермії [2, стор. 265]. Це дозволяє широко застосовувати ці цементи особливо для масивних гідротехнічних споруд, які експлуатуються в умовах агресивного водного середовища [2, стор. 265].

Такий цемент відноситься до спеціальних видів цемент. Область застосування в середовищах з підвищеним вмістом сульфатів (сильно мінералізована, з високим вмістом сульфатів є морська вода – вміст SO42- в ній досягає 2500-2700 мг/л; також агресивне середовище характерно для багатьох промислових підприємств) [2, стор. 265].

**ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ**

1. Скільки потрібно додати трепела до 5 т клінкеру портландцементу марки 500 і яку марку пуццоланового портландцементу можна отримати, якщо трепел в своєму складі має 60% активного кремнезему, а клінкер портландцементу має в своєму складі 50% трьох кальцієвого силікату (3СаО ∙ SiO2).
2. Якою має бути активність клінкеру портландцементу для отримання пуцоланового цементу марки 500, що складається з 75% клінкеру портландцементу та 25% трепелу.

Приймаємо, що при твердінні цементного каменю до 28 діб. добавка трепелу не вступає в реакцію.

1. Через 28 діб. твердіння зразки-балочки розміром 4х4х16 см які були виготовлені з:
2. Портландцементу;
3. гідрофобного портландцементу;
4. сульфатостійкого портландцементу;
5. Шлакопортландцементу;
6. Сульфатостійкого пуцоланового цементу

Які після випробувань мали такі результати (табл. 5): середні міцності при вигині (середнє арифметичне з двох найбільших результатів випробувань); середня міцність при стиску (середнє арифметичне з чотирьох найбільших результатів випробувань половинок балочок):

Таблиця 5

Результати випробувань цементів

|  |  |
| --- | --- |
| Номер цементу | Межа міцності |
| при вигині, кгс/см2 | при стиску, кгс/см2 |
| 1 | 68 | 430 |
| 2 | 43 | 310 |
| 3 | 53 | 295 |
| 4 | 32 | 189 |
| 5 | 36 | 230 |

 Визначити марки цементів

1. Визначити пористість затверділого каменю із глиноземистого цементу, якщо вміст води в ньому – 50% від маси цементу; кількість звїязаної води – 22% від маси цементу; питома вага глиноземистого цементу – 3,00 г/см3

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. Волженский А. В., Буров Ю. С., Колокольников В. С. Минеральные вяжущие вещества.- М.: Стройиздат, 1979.- 476 с.
2. Рунова Р. Ф., Дворкин Л. И., Дворкин О. Л., Носовский Ю. Л., Вяжущие вещества: Учебник.- К.: основа, 2012. – 448 с.
3. Штарк Йохен, Вихт Берид. Цемент и известь /пер. с нем. – А. Тулаганова. Под ред. П. Кривенко. Киев, 2008 – 480 с.
4. Скрамтаев Б. Г. и др. Примеры и задачи по строительным материалам. Под ред. П. Ф. Шубенкина. Учеб. пособие для строительных вузов и факультетов. – М.: Высшая школа,1970.–232с.
5. Глущенко В. М., Чехов А. П. Строительные материалы в примерах и задачах. К.: УМК ВО, 1989. – 164 с.
6. Строительное материаловедение. Курс лекций и практикум / Глущенко В. М.- Д.: ПГАСА, 2014.- 552 с.
7. Строительное материаловедение. Курс лекций и практикум:. – Учебное пособие / Под редакцией Л. И. Дворкина. – Р. : УДУВГП, 2002, - 366 с.
8. ДСТУ Б В.2.7-46:2010 Будівельні матеріали. Цементи загально-будівельного призначення. Технічні умови.
9. ДСТУ Б В.2.7-85-99 Будівельні матеріали. Цементи сульфатостійкі. Технічні умови.
10. ГОСТ 969-91 Цементы глиноземистые и высокоглиноземистые. Технические условия