

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Кафедра «Строительные материалы и технология строительства»

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

по курсу «Вяжущие вещества»

для студентов специальности

1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций»

*Рекомендовано учебно-методическим объединением по образованию
в области строительства и архитектуры*

Минск
БНТУ
2020

УДК 666.9(076.5)
ББК 35.41я7
Л12

Составитель
Л. Б. Дзабиева

Рецензенты:
заведующий кафедрой химической технологии вяжущих
материалов БГТУ, канд. техн. наук, доцент *А. А. Мечай*;
ведущий инженер-технолог завода КПД-1
ОАО «МАПИД» *Н. С. Малявцева*

Лабораторный практикум по курсу «Вяжущие вещества»
Л12 для студентов специальности 1-70 01 01 «Производство строи-
тельных изделий и конструкций» / сост. Л. Б. Дзабиева. – Минск :
БНТУ, 2020. – 79 с.
ISBN 978-985-523-069-7.

Лабораторный практикум предназначен для студентов специальности 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций» дневной и заочной форм обучения, осваивающих курс «Вяжущие вещества». В учебно-методическое пособие включены теоретические основы, методика выполнения, анализ результатов, контрольные вопросы и порядок оформления лабораторных работ по названной дисциплине.

УДК 666.9(076.5)
ББК 35.41я7

ISBN 978-985-523-069-7

© Белорусский национальный
технический университет, 2020

Содержание

| | |
|---|----|
| Введение | 3 |
| Лабораторная работа № 1 Изучение свойств гипсового сырья и кинетики его дегидратации | 6 |
| Лабораторная работа № 2 Влияние карбонатных примесей в гипсовом сырье на свойства гипсовых изделий | 15 |
| Лабораторная работа № 3 Влияние технологических факторов на кинетику твердения строительного гипса | 21 |
| Лабораторная работа № 4 Изучение технологических особенностей процесса гашения извести | 31 |
| Лабораторная работа № 5 Расчет состава двухкомпонентной сырьевой смеси для получения портландцементного клинкера | 39 |
| Лабораторная работа № 6 Изучение процесса известеобразования из карбонатных пород | 50 |
| Лабораторная работа № 7 Подбор состава ячеистого бетона | 56 |
| Лабораторная работа № 8 Влияние технологических факторов на структуру и физико-механические свойства цементного камня | 70 |
| Библиографический список | 79 |

ВВЕДЕНИЕ

Согласно государственному общеобразовательному стандарту специальности 1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций» дисциплина «Вяжущие вещества» предшествует циклу основных технологических дисциплин: «Бетонведение», «Технология производства бетонных и железобетонных изделий», «Технология монолитного бетона и приобъектного бетонирования», «Основы технологии стеновых, отделочных и изоляционных материалов» и формирует у обучающихся представление по вопросам получения и гидратационного твердения вяжущих веществ строительного назначения, изменения их свойств под влиянием технологических факторов получения изделий и в процессе их эксплуатации.

Предлагаемый практикум предназначен для выполнения лабораторных работ по курсу «Вяжущие вещества», основной целью которых является закрепление положений теоретического лекционного курса по вопросам основных закономерностей получения минеральных вяжущих веществ, формирования из них пастообразных масс, их перехода в камневидное состояние под влиянием изменяющихся параметров формования и условий созревания, введения многообразных химических добавок и т. п.

В рамках учебной программы курса «Вяжущие вещества» для студентов специальности 1-70 01 01 ПСИК излагаются основы технологии минеральных вяжущих материалов – гипса, извести, портландцемента, их свойства и пути управления с тем, чтобы сформировать у обучающихся такой объем знаний в области вяжущих веществ, который позволил бы будущему инженеру строительной индустрии профессионально использовать их в производстве строительных изделий и конструкций.

На первый план выдвигаются задачи материаловедческого характера – умение прогнозировать поведение вяжущих в меняющихся условиях производства строительных изделий – изменения реологических характеристик формовочных масс, их водозатворения, введение химических добавок, а также формирующейся при этом структуры и физико-механических показателей цементирующего камня из конкретных вяжущих веществ и технологических параметров производства.

Это позволит будущему специалисту принимать грамотные решения при разработке технологий получения новых строительных материалов и изделий или совершенствования технологических параметров производства традиционных строительных изделий. При этом учитывается, что методики оценки свойств вяжущих – гипса, извести, портландцемента – изучаются в предшествующем курсе строительного материаловедения и студенты в достаточной мере уже владеют ими и, как показывает практика, успешно применяют в ходе лабораторных работ по «Вяжущим веществам».

Практикум включает лабораторные работы по технологическим особенностям гипсовых, известковых и портландцементных вяжущих с учетом имеющегося в лабораториях кафедры «Технология бетона и строительные материалы» оборудования. В практикум также включены методики расчета сырьевых смесей для получения портландцементного клинкера и состава ячеистых бетонов автоклавного твердения, что необходимо для подготовки обучающихся к курсовому проектированию по дисциплине, так как учебным планом специальности практические занятия для этой цели не предусмотрены.

Лабораторная работа № 1

ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ ГИПСОВОГО СЫРЬЯ И КИНЕТИКИ ЕГО ДЕГИДРАТАЦИИ

Сырьем для гипсовых вяжущих является природный гипсовый камень, минералогические разновидности которого называются алебастр, гипсовый шпат или селенит в зависимости от характера кристаллического строения – соответственно мелкозернистого, пластинчатого или волокнистого. Химический состав всех кристаллических разновидностей гипсового камня выражается формулой $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Двугидрат сульфата кальция является основным веществом гипсового камня, примесями обычно являются глинистые, карбонатные, песчаные породы и растворимые соли. Если содержание примесей превышает 30 %, то породы называются гипсосодержащими, а их разновидностями являются глиногипс, гажа, ганч.

При нагревании двугидрата сульфата кальция в зависимости от условий термообработки происходит его частичная или полная дегидратация и формируются две группы гипсовых вяжущих – низкообжиговые и высокообжиговые. Низкообжиговые получают при температуре 120–160 °С в сосудах, сообщающихся с атмосферой, и тогда формируется $\beta\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$, либо обработкой насыщенным паром при давлении 0,13–0,7 МПа, когда формируется $\alpha\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$. Разновидностями низкообжиговых гипсовых вяжущих является строительный, медицинский и формовочный гипс. В зарубежной литературе встречается обозначение полугидрата сульфата кальция $2\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ под названием бассанит. Все низкообжиговые гипсовые вяжущие являются быстросхватывающимися и быстротвердеющими.

Высокообжиговые гипсовые вяжущие получают термообработкой гипсового сырья при температурах более 600 °С, когда в результате дегидратации из двугидрата формируется безводная фаза – ангидрит CaSO_4 . Все высокообжиговые гипсовые вяжущие – ангидритовое вяжущее, ангидритовый отделочный цемент, высокообжиговый гипс (эстрих-гипс) – являются медленносхватывающимися и медленнотвердеющими.

Одной из основных технологических задач при получении гипсового вяжущего из гипсовой или гипсосодержащей породы является назначение оптимальной длительности процесса ее термообработки.

При этом исходят из необходимости, во-первых, достигнуть максимальной степени дегидратации сырья и, во-вторых, одновременно экономить топливно-энергетические ресурсы при его термообработке.

Для решения задачи необходимо строить кривые зависимости степени дегидратации изучаемого сырья от длительности его термообработки при заданной температуре. Степень дегидратации η определяется как отношение фактической потери массы гипсового камня после термообработки по заданному режиму $\Pi_{\text{ф}}$, %, к максимально возможной, $\Pi_{\text{м}}$, %, которая рассчитывается по уравнению дегидратации сырья конкретного вещественного состава

$$\eta = \frac{\Pi_{\text{ф}}}{\Pi_{\text{м}}}.$$

Задание:

1. Установить степень дегидратации гипсового камня через τ час его термообработки при температуре t и построить кривую зависимости $\eta = f(\tau)$.

2. Изучить изменение истинной плотности гипсового камня в зависимости от степени его дегидратации и построить график зависимости $\rho = f(\eta)$.

3. Определить количество карбонатных примесей в гипсовом камне.

Приборы и материалы

1. Гипсовый камень молотый.
2. Гипс строительный.
3. Электрошкаф сушильный с автоматической регулировкой температуры.
4. Печь муфельная.

5. Объемомеры Ле-Шателье.
6. Весы технические с погрешностью измерения 1 и 0,001 г.
7. Химическая посуда, бюксы, тигли.

Порядок выполнения работы

I. Определение степени дегидратации гипсового камня. Изучаемое гипсовое сырье необходимо до процесса дегидратации подсушить, чтобы удалить из него механически связанную влагу. Высушивание следует проводить при температуре, не превышающей 60 °С, до достижения навеской постоянной массы. Охлаждать навеску необходимо в эксикаторе, чтобы предотвратить сорбционное увлажнение породы. Высушенные навески помещают в бюксы известной массы, взвешивают и выдерживают в сушильном шкафу при температуре t заданное время, после чего охлаждают в эксикаторе и вновь взвешивают с точностью до 0,01 г.

Результаты эксперимента сводят в табл. 1.1.

Таблица 1.1

Изменение масс гипсового камня в процессе его термообработки

| № бригады | Длительность выдержки τ , час | Масса пустого бюкса m_1 , г | Масса бюкса с навеской до термообработки m_2 , г | Масса бюкса с навеской после термообработки m_3 , г | Π_{ϕ} , % | $\Pi_{м}$, % | η |
|-------------|------------------------------------|-------------------------------|--|---|------------------|---------------|--------|
| 1 2 3 | τ_1 | | | | | | |
| 1 2 3 | τ_2 | | | | | | |

Фактическая потеря массы после τ час термообработки рассчитывается по формуле

$$\Pi_{\phi} = \frac{m_2 - m_3}{m_2 - m_1} \cdot 100 (\%).$$

Порядок расчета величины Π_m , (максимально возможной потери массы гипсового камня заданного вещественного состава).

Пример. Пусть в качестве сырья используется гипсовый камень влажностью $W = 3\%$, содержащий 4% песчаных и 3% глинистых примесей. Рассчитать 1) выход полугидрата сульфата кальция; 2) валовый выход строительного гипса; 3) количество воды, удаляемой при дегидратации камня, %.

Расчет ведется на 1 кг сырья. При этом учитывается, что вещественный состав (% примесей) всегда приводится в справочной литературе в пересчете на сухое вещество породы.

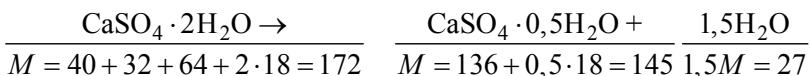
1. Определяем массу сухой породы (гипсовый камень после удаления механически связанной влаги)

$$m_c = \frac{m_{\text{вл}} \cdot 100}{100 + W} = \frac{1000 \cdot 100}{100 + 3} = 971 \text{ г.}$$

2. Определяем массу двугидрата сульфата кальция в породе

$$m_{\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}} = 971 - \frac{971(4+3)}{100} = 903 \text{ г.}$$

3. Определяем выход полугидрата сульфата кальция из породы после ее термообработки. Расчет ведется по уравнению дегидратации двугидрата сульфата кальция



$$\begin{array}{r|l} 172 & - & 145 \\ 903 & - & x \end{array} \quad \left| \quad x = \frac{903 \cdot 145}{172} = 761 \text{ г} \right.$$

4. Определяем валовый выход строительного гипса (полугидрат вместе с примесями, масса которых при термообработке породы осталась неизменной)

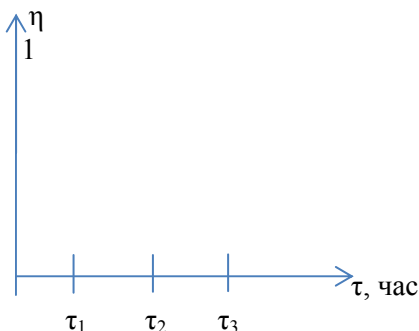
$$m_{\text{с.г.}} = 761 + \frac{971 \cdot 7}{100} = 761 + 68 = 829 \text{ г.}$$

5. Определяем количество воды, удаленной из породы в процессе дегидратации при термообработке, P_m , %.

$$\begin{array}{r|l} 172 & - & 27 \\ 903 & - & x \end{array} \quad \left| \quad x = \frac{903 \cdot 27}{172} = 142 \text{ г} \right.$$

или в % $P_m = \frac{142}{971} \cdot 100 = 14,6 \%$.

Степень дегидратации сырья, достигнутую при термообработке, получим, если разделим полученную в эксперименте величину P_ϕ , %, на рассчитанную величину P_m , %.



По результатам эксперимента строится кривая дегидратации, которая показывает изменение степени дегидратации сырья в зависимости от длительности термообработки, асимптотически приближаясь к единице.

II. Изменение истинной плотности гипсового камня в процессе дегидратации. Плотность гипсового камня (двугидрата сульфата кальция) колеблется в пределах 2,2–2,4 г/см³ в зависимости от количества примесей в породе. Поскольку при термообработке гипсового камня уменьшается содержание в нем химически связанной воды, плотность которой меньше, чем у сульфата кальция, истинная плотность гипсового камня по мере его дегидратации увеличивается и составляет для чистого $\beta - \text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} - 2,67-2,68 \text{ г/см}^3$, для $\alpha - \text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O} - 2,72-2,73 \text{ г/см}^3$, для растворимого ангидрита – 2,93 г/см³, для нерастворимого – 2,9–3,1 г/см³, Плотность гипсовых вяжущих колеблется в пределах 2,60–2,75 г/см³ и определяется их фазовым составом. Таким образом, зная плотность исходного гипсового камня и плотность продукта его полной дегидратации, можно построить калибровочный график зависимости истинной плот-

ности продукта дегидратации от степени дегидратации, достигнутой при термообработке. На практике таким калибровочным графиком удобно пользоваться для технологического контроля за ходом процесса термообработки гипсовой породы.

Чтобы построить калибровочный график зависимости истинной плотности гипсового камня от степени его дегидратации, в лабораторной работе необходимо определить истинную плотность как минимум трех веществ – исходной породы, полугидрата со степенью дегидратации, равной единице и промежуточного продукта с фиксированной степенью дегидратации, например, через 1 час термообработки (по первой задаче данной работы).

Определяется истинная плотность с помощью прибора Ле-Шателье, который наполняют обезвоженным керосином до нижней нулевой метки (по нижнему мениску). Испытуемый порошок массой более 70 г взвешивают с погрешностью не более 0,01 г. Затем порошок всыпают в сосуд ложечкой через воронку небольшими порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не достигнет одного из делений в пределах верхней градуированной части. Остаток порошка взвешивают. Разность отсчетов между конечным и начальным уровнями жидкости соответствует объему всыпанного порошка V (см³). Истинная плотность порошка ρ , г/см³, вычисляется по формуле

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V},$$

где m_1 – первоначальная масса порошка гипсовой породы или вяжущего, г;

m_2 – масса остатка порошка, г.

Определение истинной плотности порошка оказывается тем точнее, чем выше тонкость помола (его измельчения). В сосуде Ле-Шателье должна использоваться жидкость, инертная по отношению к испытуемому материалу, в нашем случае, не содержащая воды: керосин, уайтспирит и т. п.

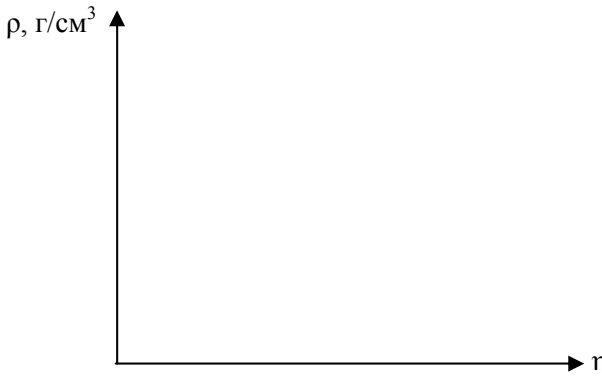
Результаты эксперимента сводят в табл. 1.2.

Таблица 1.2

Определение изменения истинной плотности гипсовой породы
в процессе дегидратации

| Испытуемый материал | Первоначальная масса навески m_1 , г | Масса остатка m_2 , г | Объем вытесненного керосина V , см ³ | Истинная плотность ρ , г/см ³ |
|--|--|-------------------------|---|---|
| 1. Гипсовый камень | | | | |
| 2. Гипс строительный | | | | |
| 3. Полупродукт через τ час термообработки | | | | |

По результатам эксперимента строится калибровочный график зависимости истинной плотности продукта термообработки гипсового камня, ρ , г/см³, от степени дегидратации гипсового камня η .



III. Определение содержания карбонатных примесей в гипсе строительном или в гипсовом камне. Гипсовый камень и гипсо-содержащие породы помимо дигидрата сульфата кальция содержат примеси в виде растворимых солей и нерастворимого остатка. В последний входят обычно песок, глина, ангидрит, карбонатные примеси, которые могут быть использованы в дальнейшем при разра-

ботке технологии получения поризованных изделий. Поэтому практический интерес представляет решение вопроса о количественном содержании карбонатных примесей в гипсовом вяжущем.

Методика определения сводится к следующему. Высушенная при температуре не выше 60 °С навеска m_1 строительного гипса взвешивается на аналитических весах и помещается в тигель с известной массой, после чего выдерживается при температуре 450–550 °С до постоянной массы (1,0–1,5 часа), после чего охлаждается в эксикаторе и определяется ее масса (m_2).

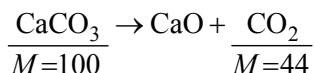
По разности $m_1 - m_2$ находится количество химически связанной воды в испытуемом материале. Затем навеску (m_2) вновь помещаем в муфельную печь и выдерживаем при температуре 950 °С до постоянной массы (m_3). Разность ($m_3 - m_2$) соответствует содержанию в материале CO_2 , если отнести ее к m_1 , то есть

$$[\text{CO}_2] = \frac{(m_3 - m_2) \cdot 100}{m_1}, \%$$

Количество CaCO_3 в материале можно определить как

$$[\text{CaCO}_3] = 2,273[\text{CO}_2], \%$$

где 2,273 – коэффициент, рассчитанный из уравнения декарбонизации



$$\begin{array}{rcl} 100 & - & 44 \\ X & - & [\text{CO}_2] \end{array}$$

отсюда

$$X = \frac{100 \cdot [\text{CO}_2]}{44} = 2,273[\text{CO}_2], \%$$

Форма записи результатов представлена в табл. 1.3.

Таблица 1.3

Экспериментальное определение содержания карбонатных примесей в строительном гипсе

| № п/п | Масса сухой навески гипсового камня m_1 , г | Масса дегидратированной навески m_2 , г | Масса декарбонизированной навески m_3 , г | Содержание углекислого газа [CO ₂], % | Содержание карбонатных примесей [CaCO ₃], % |
|-------|--|--|--|--|--|
| | | | | | |

Отчет по лабораторной работе завершается выводами:

- 1) о влиянии длительности термообработки на степень дегидратации гипсового камня;
- 2) об изменении истинной плотности гипсового камня в процессе его дегидратации;
- 3) о содержании карбонатных примесей в испытанном гипсе.

Контрольные вопросы

1. Назовите природные разновидности сырья для получения гипсовых вяжущих.
2. Какие вещества составляют обычно примеси в гипсовых породах?
3. Какие цели ставятся при назначении оптимальной длительности тепловой обработки гипсового сырья?
4. Дайте определение степени дегидратации.
5. Почему изменяется истинная плотность гипсового сырья в процессе его дегидратации?
6. У какой модификации продукта термообработки гипсового сырья будет больше значение истинной плотности – у β -полугидрата или у растворимого ангидрита?
7. Почему при определении содержания в породе карбонатных примесей надо предварительно выдерживать ее до постоянной массы при температуре 450–550 °С?

8. Найдите валовый выход строительного гипса при термообработке 3 т гипсового камня влажностью 5 %, содержащего 4 % примесей песка и 3 % глинистых примесей.

9. Из 100 кг дигидрата сульфата кальция получили 88 кг строительного гипса. Какая степень дегидратации достигнута при обжиге?

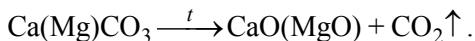
Лабораторная работа № 2

ВЛИЯНИЕ КАРБОНАТНЫХ ПРИМЕСЕЙ В ГИПСОВОМ СЫРЬЕ НА СВОЙСТВА ГИПСОВЫХ ИЗДЕЛИЙ

По содержанию основного вещества $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ природный гипсовый камень делится согласно стандарту на 4 сорта. Для первого сорта содержание дигидрата сульфата кальция должно составлять не менее 95 %, для второго – не менее 90 %, для третьего – не менее 80 %, четвертого – не менее 70 %.

Содержащиеся в породе примеси включают в себя растворимые соли и нерастворимый остаток, в который входят обычно песок, ангидрит, глинистые и карбонатные примеси. Примеси могут остаться неизменными и полностью перейти в состав гипсового вяжущего или изменить свой состав в зависимости от температурных условий получения вяжущего.

Если в технологии получения гипсовых изделий применяются высокообжиговые гипсовые вяжущие, то карбонатные примеси в них будут отсутствовать, поскольку они диссоциировали в процессе получения вяжущего при температурах 700–1000 °С по схеме



Если же в качестве вяжущего используется низкообжиговый гипс, температура получения которого 120–170 °С, то карбонатные примеси в нем остаются недиссоциированными и могут быть использованы для снижения средней плотности получаемых изделий, а следовательно, для снижения материалоемкости производства. Для этой цели в формовочную массу вводят вещества, которые вступают в химическую реакцию с карбонатными примесями с вы-

делением газа, например, серную, соляную, лимонную, уксусную и другие кислоты. В этом случае имеет место следующая химическая реакция:



Выделяющийся углекислый газ вспучивает формовочную массу и получается поризованный материал – газогипс, являющийся разновидностью ячеистых бетонов. Средняя плотность газогипса находится в пределах 300–900 кг/м³, прочность при сжатии $R_{сж} = 0,6\text{--}2,5$ МПа, теплопроводность λ менее 0,29 Вт/м·К.

Задание:

1. Определить свойства исходных сырьевых материалов.
2. Получить газогипс различной средней плотности.
3. Определить основные физико-механические показатели газогипса.
4. Построить график зависимости прочности газогипса от его средней плотности.

Приборы и материалы

1. Гипс строительный.
2. Вискозиметр Сутгарда.
3. Набор ареометров (денсиметров).
4. Объемомер Ле-Шателье.
5. Весы технические.
6. Формы-балочки 40×40×160 мм.
7. Мерная посуда.
8. Шкаф сушильный
9. Печь муфельная.
10. Машина МИИ-100.
11. Пресс гидравлический.

Порядок выполнения работы

I. Испытание сырьевых материалов. На первом этапе работы определяются следующие свойства исходных сырьевых материалов:

- 1) нормальная густота строительного гипса;
- 2) содержание в гипсе карбонатных примесей;
- 3) плотность раствора серной кислоты.

Нормальная густота гипсового теста определяется на вискозиметре Суттарда. Методика определения содержания карбонатных примесей в строительном гипсе по способу ВНИИТеплоизоляции описана в работе № 1. Плотность раствора серной кислоты определяется денсиметром (ареометром), который погружают в цилиндр с испытуемым раствором. За плотность раствора кислоты, ρ_k , г/см³, принимается ее значение на узкой части ареометра, которое совпадает с мениском испытуемого раствора.

Результаты определения свойств исходных материалов записываются в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Свойства исходных сырьевых материалов

| Определяемая характеристика | Единица измерения | Результаты испытания |
|--|-------------------|----------------------|
| 1. Нормальная густота гипсового теста | % | |
| 2. Содержание карбонатных примесей в гипсе | % | |
| 3. Плотность раствора серной кислоты | г/см ³ | |

II. Получение образцов газогипса. Вначале необходимо рассчитать расход материалов на замес. Масса поризуемого гипса Γ задается преподавателем в зависимости от размера изготавливаемых образцов и их количества так же, как и дозировка количества кислоты, которая задается в % от массы гипса.

При назначении количества воды затворения следует руководствоваться следующими положениями. Реологические свойства гипсового теста, его вязкость зависит от количества воды затворения. Если тесто слишком вязкое, то есть при малом начальном водозатворении, выделяющийся при разложении карбонатов углекислый газ не сможет преодолеть сопротивление теста вспучиванию и поризовать его.

Если же тесто слишком текучее, газ легко поднимает его, и не встречая должного сопротивления, уходит в окружающую атмосферу, а вспученная гипсовая масса оседает и пористость получаемых изделий вследствие этого процесса также уменьшается.

Экспериментально установлено, что оптимальное водозатворение гипсового теста находится в пределах на 10–15 % превышающих количество воды, соответствующее нормальной густоте гипсового теста. Таким образом, количество воды затворения рассчитывается как

$$B = 1,1-1,15 K_{нг} \cdot \Gamma,$$

где Γ – масса поризуемого гипсового вяжущего, г;

$K_{нг}$ – коэффициент нормальной густоты гипсового теста, определяется как отношение массы воды затворения к массе гипсового вяжущего в тесте нормальной густоты (стандартной консистенции).

Порядок изготовления образцов следующий. Навеска гипса затворяется водой в рассчитанном количестве, при этом гипс высыпается в воду. В течение 30 с тесто тщательно перемешивается до получения однородной сметанообразной массы. После этого в тесто вливают предварительно отдозированный раствор серной кислоты. Поскольку раствор кислоты дозируется не по массе, а по объему, необходимо рассчитать ее расход на замес в см^3 . Для этого надо рассчитанную массу кислоты разделить на плотность ее раствора, определенную денсиметром.

Раствор кислоты вливают в гипсовое тесто за один прием спиралеобразным движением от периферии к центру чаши затворения, тщательно перемешивают массу 5–7 с и разливают в формы-балочки 40×40×160 мм, заполняя их на 0,8–0,9 высоты, обращая внимание на заполнение углов формы. После окончания вспучивания и схватывания массы натянутой чистой струной возвратно-поступательными движениями подрезают и снимают «горбушку». Количество проведенных замесов и их состав показывается в табл. 2.2.

Таблица 2.2

Характеристика проведенных замесов

| № бригады | Расход материалов на замес | | |
|-----------|----------------------------|---------|----------------------------|
| | гипс, кг | вода, л | раствор серной кислоты, мл |
| | | | |

III. Определение физико-механических показателей газогипса. После затвердевания образцов их распалубливают и сушат при температуре не выше 60 °С до постоянной массы. По окончании сушки определяют среднюю и истинную плотность, пористость, предел прочности при изгибе и сжатии образцов. Полученные результаты испытания сводят в табл. 2.3.

Таблица 2.3

Результаты испытания образцов газогипса

| № бригады и образцов | Масса образца m , г | Размеры образца, см | | | Средняя плотность ρ_0 , кг/м ³ | Истинная плотность ρ , г/см ³ | Пористость П, % | Предел прочности | |
|----------------------|-----------------------|---------------------|------------|------------|--|---|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| | | длина l | ширина b | высота h | | | | при изгибе $R_{из}$, МПа | при сжатии $R_{сж}$, МПа |
| | | | | | | | | | |

По результатам испытания, полученным всеми бригадами подгруппы, строится график зависимости прочности образцов при изгибе и сжатии от их средней плотности. По оси абсцисс откладывается усредненное для каждой серии образцов значение их средней плотности в кг/м³. Аналогично по оси ординат откладываются усредненные для каждой серии образцов значения пределов прочности газогипса при изгибе $R_{из}$ и сжатии $R_{сж}$, МПа.



В выводах по работе должно содержаться заключение о возможности использования карбонатных примесей в гипсовом сырье для снижения средней плотности и материалоемкости изделий, а также приводятся физико-механические характеристики поризованного материала в зависимости от его средней плотности.

Контрольные вопросы

1. Как изменяется содержание карбонатных примесей в гипсовых вяжущих в зависимости от температуры их получения?
2. По какой методике определяется содержание карбонатных примесей в строительном гипсе?
3. Приведите примеры газообразующих добавок, взаимодействующих с карбонатными примесями.
4. По какой методике определяется плотность раствора кислоты?
5. Какая консистенция гипсового теста считается стандартной?
6. Каким технологическим приемом достигается оптимальная для вспучивания вязкость формовочной массы?
7. Сколько газа выделится при действии серной кислоты на 6 кг строительного гипса, содержащего 2,5 % карбонатных примесей? Чему равно в этом случае удельное газообразование гипса?

Лабораторная работа № 3

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА КИНЕТИКУ ТВЕРДЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНОГО ГИПСА

Сроки схватывания и твердения строительного гипса зависят от многих технологических факторов: тонкости помола вяжущего, его фазового и вещественного состава, водогипсового отношения формовочной смеси, введения химических добавок и заполнителей, от температурных условий твердения. Они в значительной мере определяют технологические параметры изготовления изделий на основе гипсовых вяжущих как в виде гипсовых отливок, так и из растворных или бетонных смесей на гипсовых вяжущих. Как и для других минеральных вяжущих сроки схватывания для гипса определяются при помощи прибора Вика.

Начало схватывания – время в минутах от момента затворения вяжущего водой до момента, когда свободно опущенная игла прибора Вика после погружения в гипсовое тесто не доходит до дна на 1–1,5 мм.

Конец схватывания – когда погружается в тесто на глубину не более 1 мм.

В зависимости от сроков схватывания низкообжиговые гипсовые вяжущие разделяют на три группы: быстротвердеющие (А), нормальнотвердеющие (Б) и медленнотвердеющие (В) (табл. 3.1).

Таблица 3.1

Группы гипсовых вяжущих в зависимости от сроков схватывания

| Группа вяжущих | Индекс | Сроки схватывания, мин | |
|---------------------|--------|------------------------|-------------------|
| | | начало, не ранее | конец, не позднее |
| Быстротвердеющие | А | 2 | 15 |
| Нормальнотвердеющие | Б | 6 | 30 |
| Медленнотвердеющие | В | 20 | не нормируется |

Начало схватывания гипсоцементнопесчаных и гипсоцементно-шлаковых вяжущих должно наступать не ранее 4 мин, дру-

гих композиционных – 2 мин, конец схватывания не позднее 15 мин для всех композиционных гипсовых вяжущих.

Ангидритовые (высокообжиговые гипсовые вяжущие) схватываются значительно медленнее низкообжиговых. Начало их схватывания находится в пределах $N_{cx} = 0,5-2$ ч (для эстрих-гипса – 2–3 ч), конец схватывания $K_{cx} = 2-4$ ч (для эстрих-гипса – 4–6 ч).

Короткие сроки схватывания и интенсивное нарастание прочности изделий на низкообжиговых гипсовых вяжущих (строительный, формовочный, высокопрочный гипс) способствуют организации производства изделий из них на конвейерных линиях, установках с минимальным количеством форм. Однако эти же обстоятельства препятствуют затворению больших объемов вяжущего. Поэтому для технологов строительной индустрии важно владеть арсеналом приемов, влияющих на сроки схватывания и твердения гипсовых вяжущих и использовать их в зависимости от возникающих потребностей. Так, увеличение тонкости помола вяжущего приводит к ускорению его схватывания; увеличение В/Г отношения замедляет сроки схватывания.

Действие химических добавок на сроки схватывания гипсовых вяжущих зависит от механизма действия вводимой добавки: если химическая добавка увеличивает растворимость полугидрата сульфата кальция, она является ускорителем, а если увеличивает растворимость двуводрата – замедлителем; замедляют схватывание поверхностно-активные вещества, а также вещества, которые реагируют с гипсом с образованием труднорастворимых пленок. Сроки схватывания гипсовых вяжущих существенно ускоряются при наличии частиц неразложившегося двуводного гипса, являющихся «кристаллическими затравками» – центрами кристаллизации при твердении полугидрата. Измельченный гипсовый камень и в особенности «вторичный гипс», получаемый из боя гипсовых изделий, при необходимости специально применяют для ускорения схватывания гипсовых вяжущих.

На практике в качестве ускорителей схватывания, кроме двуводного гипса, получили распространение сульфаты натрия, калия, алюминия, железа (0,1–0,8 %), хлориды натрия и кальция (0,1–1 %), замедлителей – животный клей (0,4–0,6 %), бура техническая (0,2–0,6 %), цитраты натрия и кальция (0,001–0,008 %, винная, виннокислотная, лимонная кислоты и их соли (0,002–0,02 %).

Теоретические основы прогнозирования действия добавок на скорость схватывания и твердения гипсовых вяжущих разработаны В. Б. Ратиновым и Т. И. Розенберг. Все добавки делятся на четыре класса. В качестве критерия оценки действия добавок предложен коэффициент скорости твердения C :

$$C = \frac{\tau_k}{\tau_0},$$

где τ_k – время до конца кристаллизации гипса в присутствии добавки;
 τ_0 – без добавки.

При $C < 1$ добавки относятся к группе ускорителей схватывания, при $C > 1$ – к группе замедлителей (табл. 3.2).

Таблица 3.2

Влияние добавок разных классов на скорость твердения гипсовых вяжущих

| Добавки | Класс | Количество добавки, % | Время до конца кристаллизации, мин | Коэффициент C |
|--|-------|-----------------------|------------------------------------|-----------------|
| Без добавки | – | – | 32 | |
| NaCl | I | 0,5 | 18 | 0,56 |
| KCl | I | 0,5 | 15 | 0,47 |
| NaNO ₃ | I | 0,5 | 23 | 0,72 |
| KNO ₃ | I | 1 | 12 | 0,37 |
| K ₂ SO ₄ | I | 0,5 | 12 | 0,37 |
| Ca ₂ SO ₄ ·2H ₂ O | II | 0,5 | 17 | 0,53 |
| Столярный клей | III | 0,5 | 133 | 4,16 |
| Na ₂ B ₄ O ₇ | IV | 0,5 | 35 | 1,09 |
| H ₃ PO ₄ | IV | 0,5 | 50 | 1,56 |
| Na ₃ PO ₄ | IV | 0,5 | 180 | 5,62 |
| ЛСТ ⁻ | III | 0,5 | 43 | 1,34 |
| ЛСТ+KCl | I+III | 2+0,1 | 33 | 1,03 |
| ИКЗ ⁻ +KCl | I+III | 0,07+0,1 | 32 | 1,0 |

Зависимость сроков схватывания гипсового теста от температуры не является монотонной: снижение ее по сравнению с обычной температурой удлиняет сроки схватывания, повышение же до 40–50 °C ведет к ускорению схватывания. Однако при дальнейшем повыше-

нии температуры сроки схватывания замедляются, а при температуре 98–100 °С гипс не схватывается вообще. Это обусловлено тем, что при этих температурах растворимость полугидрата становится меньше растворимости двугидрата, поэтому прекращается переход полугидрата в двугидрат, а значит прекращается и связанное с этой реакцией твердение.

В лабораторной работе экспериментально изучается влияние технологических факторов на сроки схватывания гипсовых вяжущих. Сюда включается изучение изменения кинетики их твердения (сроков схватывания) в зависимости от начального водозатворения формовочной массы, температурных условий твердения или температуры воды затворения (в зависимости от наличия в лаборатории термостата), вида и количества введенных химических добавок.

Задание:

1. Установить водопотребность гипсового теста стандартной (нормальной) консистенции.

2. Установить индекс строительного гипса по срокам схватывания.

3. Изучить зависимость сроков схватывания гипсового теста от его начального водосодержания и построить график зависимости $N_{сх} = f(V/G)$ и $K_{сх} = f(V/G)$.

4. Установить зависимость сроков схватывания гипсового теста от температуры воды затворения (или температуры твердения) в интервале температур от 0 °С до 100 °С и построить график зависимости $N_{сх} = f(t)$ и $K_{сх} = f(t)$.

5. Изучить влияние химических добавок на сроки схватывания строительного гипса.

Приборы и материалы

1. Гипс строительный.

2. Вискозиметр Сутгарда.

3. Прибор Вика.

4. Весы технические.

5. Вода с температурой в интервале от 0 до 100 °С.

6. Мерная посуда.

7. Химические добавки: NaCl, CaCl₂, гипсовый камень, ЛСТМ, С-3 и др.

Порядок выполнения работы

I. Определение стандартной (нормальной) консистенции гипсового теста. Изделия из гипсовых вяжущих обычно формируют методом литья, поэтому метод определения консистенции гипсового теста основан на способности растекаться под действием силы тяжести теста, вытекающего из полого цилиндра без дна (вискозиметра Сутгарда). Диаметр расплыва теста стандартной консистенции должен быть равен 180 ± 5 мм. Отношение массы воды, затраченной на получение теста стандартной консистенции, к массе гипсового вяжущего, выраженное в процентах, определяет нормальную густоту испытуемого гипсового вяжущего.

Для определения нормальной густоты отвешивают 300 г гипса и отмеряют 45–55 % воды от массы вяжущего. Воду вливают в чистую чашу, протертую влажной тканью, и туда же в течение 2–5 с всыпают гипс, перемешивают в течение 30 с, начиная от момента присыпания гипса. Цилиндр, установленный в центре стеклянной пластинки с концентрическими окружностями, протирают влажной тканью, заполняют гипсовым тестом, излишки которого срезают. Через 45 с от начала всыпания гипса в воду или через 15 с после окончания перемешивания цилиндр быстро поднимают вверх на высоту 15–20 см и отводят в сторону. Диаметр расплыва измеряют в двух взаимно перпендикулярных направлениях непосредственно после поднятия цилиндра с погрешностью не более 5 мм и вычисляют его среднее арифметическое значение. Если диаметр расплыва отличается от 180 ± 5 мм, испытание повторяют с измененным количеством воды, добиваясь требуемого расплыва. Результаты испытания сводятся в табл. 3.3.

Таблица 3.3

Экспериментальное определение водопотребности гипсового теста стандартной (нормальной) консистенции

| № опыта | Масса навески гипса, г | Объем воды затворения, мл | Диаметр расплыва по Сутгарду, мм | Соответствие консистенции стандартной | | Водопотребность теста стандартной (нормальной) консистенции, % |
|---------|------------------------|---------------------------|----------------------------------|---------------------------------------|-----|--|
| | | | | да | нет | |
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |

II. Определение индекса строительного гипса по срокам схватывания. Сроки схватывания гипсового вяжущего определяют на тесте стандартной консистенции с помощью прибора Вика с иглой. Для испытания берут 300 г гипсового вяжущего и воду в количестве, соответствующем тесту стандартной консистенции. Гипс всыпают в воду, одновременно включая секундомер, перемешивают в течение 30 сек до получения однородного теста.

Готовое тесто выливают в коническое кольцо-форму, установленное на пластинке. Кольцо после каждого испытания тщательно очищают и смазывают машинным маслом. Чтобы удалить попавший в тесто воздух, кольцо с пластинкой 5–6 раз встряхивают, поднимая и опуская одну сторону пластинки на 10–15 мм. Затем излишек теста срезают ножом, одновременно заглаживая его поверхность, после чего пластинку с кольцом устанавливают на прибор Вика.

Стержень прибора устанавливают так, чтобы игла касалась поверхности гипсового теста. Далее отпускают зажимный винт и игла под действием тяжести стержня погружается в тесто. Погружение производят с интервалом 30 с, начиная с целого числа минут (обычно 2 мин). После каждого погружения иглу тщательно вытирают, а пластину вместе с кольцом передвигают так, чтобы игла при новом погружении попадала в другое место поверхности гипсового теста.

За начало схватывания принимается число минут, прошедших с момента всыпания гипса в воду, до момента, когда свободно опущенная игла при погружении в тесто впервые не дойдет до поверхности пластинки. Концом схватывания считается время от момента всыпания гипса в воду, до момента, когда игла погрузится в тесто не более чем на 1 мм. Сравнивая полученные в эксперименте сроки схватывания гипсового теста с требованиями табл. 3.1, присваивают испытанному гипсовому вяжущему индекс по срокам схватывания.

III. Установление зависимости сроков схватывания гипсового теста от его начального водозатверения. Для изучения зависимости сроков схватывания гипсового теста от водогипсового отношения В/Г берется навеска гипса 300 г, а количество воды затверения должно составить для разных замесов (Н.Г.) – 0,1; (Н.Г.) + 0,1; (Н.Г.) + 0,2 и (Н.Г.) + 0,3. Определение сроков схватывания проводится по описанной выше методике за исключением последнего

состава, который выливают в коническое кольцо-форму через 5–7 минут после начала перемешивания ввиду чрезмерной текучести этого состава.

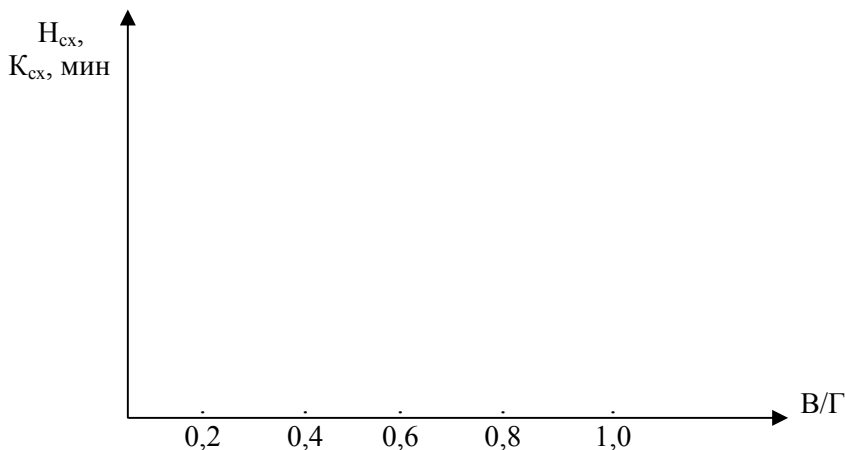
Результаты эксперимента представляют в виде табл. 3.4.

Таблица 3.4

Зависимость сроков схватывания гипсового теста от начального водогипсового отношения

| В/Г | Н.Г. | Н.Г. – 0,1 | Н.Г. + 0,1 | Н.Г. + 0,2 | Н.Г. + 0,3 |
|-----------------------|------|------------|------------|------------|------------|
| Г, г | | | | | |
| В, мл | | | | | |
| Н _{сх} , мин | | | | | |
| К _{сх} , мин | | | | | |

По результатам эксперимента строится график зависимости сроков схватывания гипсового теста от водогипсового отношения.



IV. Установление зависимости сроков схватывания гипсового теста от температуры воды затворения (или от температурных условий твердения). Для изучения зависимости сроков схватывания гипсового теста от температуры воды затворения берется на-

веска гипса $\Gamma = 300$ г и отмеряется вода затворения в количестве, соответствующем нормальной густоте. Температура воды затворения меняется от 0 до 100 °С по заданию преподавателя. Методика проведения эксперимента аналогична описанной выше. Форма записи результатов:

Таблица 3.5

Зависимость сроков схватывания гипсового теста от температуры воды затворения

| Температура воды затворения, °С | t_1 | t_2 | t_3 | ... | t_n |
|---------------------------------|-------|-------|-------|-----|-------|
| $H_{сх}$, мин | | | | | |
| $K_{сх}$, мин | | | | | |

По результатам эксперимента строится график зависимости сроков схватывания гипсового теста от температуры воды затворения.



V. Изучение влияния химических добавок на сроки схватывания строительного гипса. Навеска гипса для всех опытов этой серии $m = 300$ г. Вид и количество добавки (в % от массы гипса в пересчете на сухое вещество добавки) задается преподавателем.

Расход добавки на замес для случая, когда она поступает в виде жидкого концентрата плотностью ρ , г/см³, рассчитывается по формуле

$$Д = \frac{m \cdot P}{K \cdot \rho}, \text{ мл,}$$

где m – масса гипсового вяжущего, г;

P – заданная дозировка добавки в % от массы вяжущего в пересчете на сухое вещество добавки;

K – массовая доля сухого вещества добавки в ее жидком концентрате, %;

ρ – плотность жидкого раствора добавки, г/см³.

Когда добавка вводится в жидком виде, необходимо для сохранения расчетного В/Г отношения формовочной смеси уменьшать расход воды на замес на величину содержания воды в добавке. Последняя рассчитывается как

$$В_{д} = Д - m \cdot P.$$

Например, если в эксперименте используется жидкий раствор добавки ЛСТМ плотностью $\rho = 1,09$ г/см³ 20 %-й концентрации, а заданный расход добавки по сухому веществу составляет $P = 0,3$ % от массы гипса, то расход жидкой добавки составит

$$Д = \frac{300 \cdot 0,3}{20 \cdot 1,09} = 4,2 \text{ мл.}$$

Содержание воды в этой порции добавки составит

$$В_{д} = 4,2 - \left(300 \cdot \frac{0,3}{100} \right) = 4,2 - 0,9 = 3,3 \text{ мл.}$$

Результаты эксперимента сводят в табл. 3.6.

Таблица 3.6

Влияние химических добавок на сроки схватывания гипса

| Определяемые параметры Тип добавки | Заданный расход добавки P , % | Концентрация жидкой добавки K , % | Расход добавки на замес D , мл | Содержание воды в жидком растворе добавки V_d , мл | Расход воды затворения V_z , мл | Начало схватывания гипсового теста с добавкой $H_{сх}$, мин | Конец схватывания гипсового теста с добавкой $K_{сх}$, мин | Коэффициент C |
|---------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|--|-----------------------------------|--|---|-----------------|
| 1. NaCl | | | | | | | | |
| 2. ЛСТМ | | | | | | | | |
| ... | | | | | | | | |

Выводы по работе.

В выводах по работе должны содержаться следующие заключения:

- 1) о величине водосодержания гипсового теста стандартной консистенции (нормальной густоты);
- 2) об индексе испытанного гипса по срокам схватывания;
- 3) об изменении сроков схватывания гипсового теста в зависимости от величины его начального В/Г отношения;
- 4) об изменении сроков схватывания гипсового теста с ростом температуры воды затворения (или температуры твердения);
- 5) о влиянии изученных добавок на сроки схватывания гипсового теста.

Контрольные вопросы

1. Как индексируется гипс строительный по срокам схватывания?
2. Методика определения начала и конца схватывания гипсового теста.
3. Как зависят сроки схватывания гипсового теста от тонкости помола вяжущего?
4. Как изменяются сроки схватывания гипсового теста в зависимости от величины его начального водосодержания?
5. Как влияют температурные условия твердения на сроки схватывания гипсового теста?
6. Назовите химические добавки, ускоряющие схватывание строительного гипса.

7. Какие химические добавки замедляют схватывание строительного гипса?

8. Как влияет добавление молотых отходов гипсовых изделий на сроки схватывания гипсового вяжущего?

9. Сколько литров добавки ЛСТМ потребуется для пластификации 200 кг гипса при заданном расходе добавки 0,2 %, если плотность жидкого концентрата равна $1,09 \text{ г/см}^3$, а массовая доля сухого вещества в ее жидком концентрате составляет 20 %?

Лабораторная работа № 4

ИЗУЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ ПРОЦЕССА ГАШЕНИЯ ИЗВЕСТИ

Гашением извести называется процесс ее взаимодействия с водой, при котором негашеная известь CaO превращается в гидрат Ca(OH)_2 называемый *портландитом*. Истинная плотность CaO находится в пределах $3,1\text{--}3,3 \text{ г/см}^3$, истинная плотность Ca(OH)_2 равна $2,23 \text{ г/см}^3$, если частицы Ca(OH)_2 образуются в кристаллическом состоянии и $2,08 \text{ г/см}^3$ при аморфном строении частиц Ca(OH)_2 поэтому при гашении известь рассыпается в порошок, так как значительное уменьшение плотности извести при гашении вызывает увеличение ее объема и диспергирование.

Известь считается быстрогасящейся, если время гашения меньше 8 мин, среднегасящейся, если время гашения находится в пределах 8–25 мин и медленногасящейся, если время гашения превышает 25 мин.

Насыпная плотность сухой гидратной извести-пушонки составляет в рыхлом состоянии $400\text{--}450 \text{ кг/м}^3$, уплотненном $500\text{--}700 \text{ кг/м}^3$, размер зерен гидратной извести не превышает 0,01 мм, до 75 % ее объема составляют пустоты.

Известковое тесто состоит из мельчайших кристаллов (кристаллитов) Ca(OH)_2 размером $0,02\text{--}0,5 \text{ мкм}$, адсорбирующих на своей поверхности молекулы воды.

Температура влияет на процесс гашения неоднозначно. Она ускоряет процесс диффузии воды через пленки Ca(OH)_2 , образующиеся на зернах извести, способствуя этим более полной ее гидратации.

В то же время с повышением температуры снижается растворимость $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Так, если при $18\text{ }^\circ\text{C}$ концентрация насыщенного раствора $\text{Ca}(\text{OH})_2$ равна $1,2\text{ г/л}$, при $50\text{ }^\circ\text{C}$ – уже $0,917\text{ г/л}$, при $90\text{ }^\circ\text{C}$ – $0,591\text{ г/л}$, а при 120 – $0,4\text{ г CaO}$ на 1000 г воды.

Благодаря экзотермичности процесса гашения масса интенсивно разогревается, что сопровождается парообразованием и является причиной деструкции сырца в технологии производства изделий на основе негашеной молотой извести в тех случаях, когда в технологии не предусмотрены специальные меры по предотвращению таких нежелательных последствий. К числу таких технологических приемов относится использование химических добавок. Химические добавки могут быть и ускорителями, и замедлителями процесса гашения.

Если добавки увеличивают растворимость извести, тогда они ускоряют процесс гашения (NaCl , CaCl_2 , MgCl_2 , HNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, NH_4Cl и др.). Если же добавки образуют с известью труднорастворимые вещества, которые выделяются на частичках извести в виде труднопроницаемых для воды пленок, то гашение замедляется. Так действуют сульфаты, фосфаты, а также некоторые другие соли с многозарядными анионами ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, K_2CrO_4 и др.). Замедлителями гашения извести являются также поверхностно-активные вещества. Их действие объясняется образованием на поверхности зерен извести мономолекулярного адсорбированного слоя, препятствующего проникновению молекул воды. Кроме того, ПАВ оказывают модифицирующее действие на новую фазу, препятствуют росту и перекристаллизации кристаллов.

Полноту и достаточно высокую скорость гашения обеспечивает предварительное дробление и помол извести, что способствует формированию необходимой поверхности контакта извести с водой. Это особенно важно при использовании плотной и пережженной извести. Чтобы достичь достаточной однородности и качества гашеной извести ее надо перемешивать с водой в процессе гашения. Медленно гасится известь, длительно хранившаяся на складе, вследствие образования поверхностного гидратированного слоя, который со временем карбонизируется. Неблагоприятно влияют на процесс гашения примеси, которые частично гидратируются и служат балластом. Поэтому механическое воздействие – перемешивание, вибрирование – ускоряет гашение извести, так как при этом с непрореа-

гировавших частичек сдирается оболочка $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и облегчается доступ воды к внутренним частям зерен извести.

Теоретически для гашения извести необходимое количество воды составляет 32,13 % от массы CaO . На практике для гашения извести приходится брать значительно больше воды, так как часть ее испаряется. В зависимости от того, сколько воды израсходовано для гашения, получают три разных конечных продукта: известь-пушонку (гидратную известь), если количество воды составляло примерно 70 %; известковое тесто, если воды для гашения взято 200–250 %, и известковое молоко, если воды взято еще больше. Гидратная известь представляет собой тонкий порошок $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с размерами зерен около 0,01 мм и менее, а известковое тесто – пластичную массу, содержащую около 50 % воды, известковое молоко – водная суспензия $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

В лабораторной работе изучается влияние на процесс гашения извести температуры воды затворения, начального В/И отношения и химических добавок – регуляторов гашения.

Задание:

1. Изучить влияние водоизвесткового отношения на температуру и скорость гашения извести.
2. Изучить влияние химических добавок на интенсивность тепловыделения молотой негашеной извести в силикатных формовочных массах.
3. Определить влажность порошка гидратной извести.
4. Определить содержание гидратной воды в гашеной извести.

Приборы и материалы

1. Известь свежееобожженная негашеная.
2. Известь гашеная.
3. Молотый кремнеземистый компонент: песок, аглопорит и т. п.
4. Весы технические.
5. Электрошкаф сушильный.
6. Термосные колбы или стаканы с пробками.
7. Термометры.
8. Стекланные палочки.
9. Мерная посуда.
10. Бюксы.

Порядок выполнения работы

I. Для изучения влияния В/И на температуру и скорость гашения извести берется навеска молотой извести-кипелки массой 15 г. Масса воды для затворения извести рассчитывается, исходя из заданного преподавателем В/И. Смесь извести и воды помещается в теплоизолированный сосуд, перемешивается стеклянной палочкой, сосуд плотно закрывается пробкой, в которую вставлен термометр. Необходимо следить, чтобы ртутный шарик термометра был погружен в реагирующую смесь. Отсчет температуры берется через 5 секунд. За время гашения извести принимается время от момента приливания воды к извести до начала снижения температуры смеси.

В н и м а н и е ! Во избежание возможного повреждения глаз, при выполнении описанного эксперимента необходимо пользоваться защитными очками.

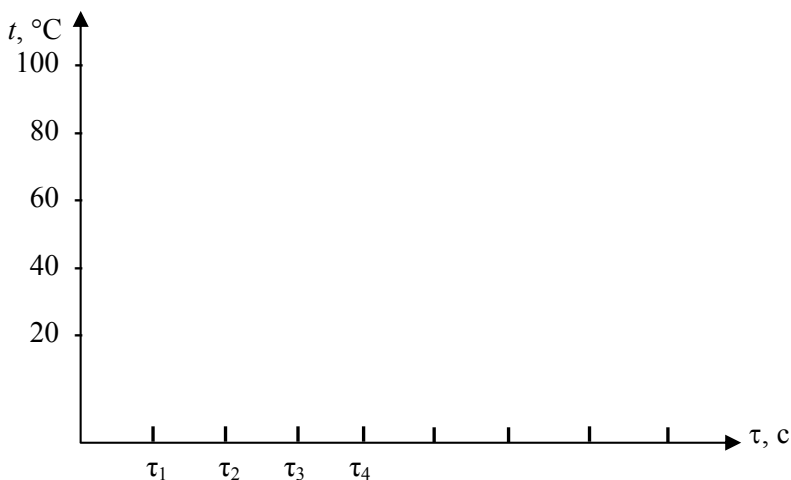
Результаты эксперимента для каждого заданного значения В/И заносятся в табл. 4.1.

Таблица 4.1

Изменение температуры гашения извести в зависимости от начального водоизвесткового отношения

| Температура смеси t , °С через время τ , с | Заданное В/И отношение | | | | | |
|--|------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | (В/И) ₁ | (В/И) ₂ | (В/И) ₃ | (В/И) ₄ | (В/И) ₅ | (В/И) ₆ |
| τ_1 | t_1 | | | | | |
| τ_2 | t_2 | | | | | |
| τ_3 | t_3 | | | | | |
| ... | ... | | | | | |

По результатам эксперимента строятся кривые гашения для каждого состава в координатах (τ , t °С) и делается вывод о влиянии В/И на параметры гашения (время гашения и достигаемая максимальная температура).



II. В технологии силикатных изделий на молотой извести-кипелке чрезмерный разогрев формовочной смеси за счет экзотермии гашения извести приводит к деструкции сырца и, как следствие, к браку продукции. Одним из путей предотвращения чрезмерного разогрева формовочных масс является использование химических добавок, замедляющих (удлиняющих) процесс гашения, при этом тепло экзотермии выделяется за более длительный промежуток времени и температурный максимум снижается. Дозировка добавок назначается в % от расхода извести.

В работе изучаются известково-кремнеземистые составы, используемые обычно в производстве силикатных ячеистых бетонов, при заданном преподавателем соотношении извести и кремнеземистого компонента.

В качестве кремнеземистого компонента могут использоваться молотые песок, шлак, аглопорит, зола. Водотвердое отношение формовочной смеси принимается равным $В/Т = 0,5$. Изучается экзотермичность составов без добавок и с различными химическими добавками по указанию преподавателя.

Номера составов и их технологические особенности отражаются в табл. 4.2.

Таблица 4.2

Составы силикатных масс

| № состава | Масса извести, г | Вид и масса кремнеземистого компонента, г | Вид химической добавки и заданный расход, % от массы извести | Количество вводимой добавки, г или мл | Содержание воды в жидком концентрате добавки, мл | Количество воды затворения, мл |
|-----------|------------------|---|--|---------------------------------------|--|--------------------------------|
| 1 | | | | | | |
| 2 | | | | | | |
| ... | | | | | | |

Методика выполнения эксперимента аналогична задаче 1. Результаты сводятся в табл. 4.3.

Таблица 4.3

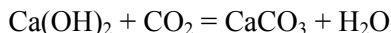
Изменение температуры и скорости гашения силикатных масс при введении химических добавок

| № состава | Температура смеси через время τ , с | | | | | | | |
|-----------|--|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----|
| | τ_1 | τ_2 | τ_3 | τ_4 | τ_5 | τ_6 | τ_7 | ... |
| 1 | t_1 | t_2 | t_3 | t_4 | t_5 | t_6 | t_7 | ... |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |

По результатам эксперимента строятся кривые гашения формовочных смесей аналогично задаче 1 и делается вывод об эффективности исследованных химических добавок (как изменяются температурный максимум и время гашения).

III. Гидратная известь-пушонка представляет собой тонкий порошок $\text{Ca}(\text{OH})_2$, влажность которого не должна превышать 5 % согласно требованиям стандарта. Для определения влажности порошка гидратной извести навеска ее массой 10 г помещается в сухой, предварительно взвешенный стаканчик с крышкой и высушивается в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С. Во время сушки крышка стаканчика снимается. В сушильном шкафу должен находиться также открытый стаканчик с натронной известью (смесь $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с NaOH) для улавливания CO_2 из воздуха, поскольку по-

следний может вступить во взаимодействие с испытываемой известью по реакции



и исказить результаты испытания. Через 2 часа стаканчик с гидратной известью плотно закрывают крышкой, достают из сушильного шкафа, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Высушивание повторяют до постоянной массы.

Результаты эксперимента сводят в табл. 4.4.

Таблица 4.4

Определение влажности порошка гидратной извести

| Масса пустого сосуда, г | Масса сосуда с гидратной известью, г | Масса навески гидратной извести m_1 , г | Масса сосуда с навеской после сушки, г | Масса гидратной извести после сушки m_2 , г | Влажность гидратной извести W , % |
|-------------------------|--------------------------------------|---|--|---|-------------------------------------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |

Влажность гидратной извести W (%) вычисляется по формуле, как среднее арифметическое результатов определения влажности трех навесок испытываемой гидратной извести:

$$W = \frac{m_1 - m_2}{m_2} \cdot 100.$$

По результатам испытания делается вывод о соответствии влажности порошка гидратной извести требованиям стандарта.

IV. Определение содержания гидратной (химически связанной) воды в гашеной извести проводится после термообработки ее воздушно-сухой (высушенной при 105–110 °С) навески при $t = 450$ °С в течение 2 часов.

Результаты эксперимента сводятся в табл. 4.5.

Таблица 4.5

Определение содержания гидратной влаги в гашеной извести

| Масса пустого сосуда, г | Масса сосуда с высушенной гидратной известью, г | Масса воздушно-сухой навески m_1 , г | Масса сосуда с навеской после дегидратации извести, г | Масса дегидратированной извести m_2 , г | Содержание гидратной влаги в гашеной извести B , % |
|-------------------------|---|--|---|---|--|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | | | |
| 3 | | | | | |

Содержание гидратной влаги в гашеной извести рассчитывается по формуле как среднее арифметическое трех определений:

$$B = \frac{m_1 - m_2}{m_1} \cdot 100.$$

По результатам испытания делается вывод о содержании гидратной влаги в испытанной извести в сравнении с максимально возможным, которое рассчитывается исходя из формулы гидроксида кальция $\text{Ca}(\text{OH})_2$.

Выводы по работе должны содержать следующие заключения о влиянии технологических факторов на процесс гашения извести:

- 1) о влиянии начального водоизвесткового отношения на экзотермичность процесса гашения;
- 2) об эффективности изученных химических добавок и их дозировок;
- 3) о соответствии влажности порошка гидратной извести требованиям стандарта;
- 4) о содержании гидратной влаги в гашеной извести.

Контрольные вопросы

1. Какие знаете способы перевода комовой извести в порошкообразное состояние?
2. Как называется минерал с формулой $\text{Ca}(\text{OH})_2$?
3. Почему в процессе гашения образуется дисперсный порошок $\text{Ca}(\text{OH})_2$?

4. Как меняется растворимость извести с изменением температуры?
5. Какие химические добавки ускоряют процесс гашения извести?
6. Назовите добавки, замедляющие процесс гашения извести.
7. Как изменяется скорость гашения извести после длительного хранения ее на складе?
8. Назовите примерный состав известкового теста.
9. Как влияет механическое перемешивание на процесс гашения извести?

Лабораторная работа № 5

РАСЧЕТ СОСТАВА ДВУХКОМПОНЕНТНОЙ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА

I. Общие сведения о портландцементном клинкере.

Портландцементный клинкер получается обжигом до спекания ($t = 1450\text{--}1500\text{ }^\circ\text{C}$) тонкоизмельченной и тщательно гомогенизированной сырьевой смеси карбонатных и глинистых пород, взятых в определенном соотношении по массе (примерно от 75 : 25 до 80 : 20). Природная смесь карбонатной и глинистой составляющих близкого состава называется «мергель–натурал». Карбонатный компонент смеси является источником CaO в клинкере, а глинистый – оксидов SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃.

В технологии портландцемента клинкер является полупродуктом. Чтобы получить портландцемент клинкер тонко размалывается с гипсом и активными или инертными минеральными добавками. Если последние отсутствуют в портландцементе, он называется бездобавочным.

Клинкер является важнейшим компонентом портландцемента, определяющим его качество – прочностные, технологические и основные эксплуатационные показатели.

Химический состав клинкера выражается процентным содержанием входящих в него оксидов, основными из которых являются CaO (63–67 %), SiO₂ (20–25 %), Al₂O₃ (4–8 %), Fe₂O₃ (2–6 %). Эти оксиды образуют четыре главных минерала клинкера, 2 силиката:

$3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_3S) – трехкальциевый силикат, $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ (C_2S) – двухкальциевый силикат и два алюмината: $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ (C_3A) – трехкальциевый алюминат и $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$ (C_4AF) – четырехкальциевый алюмоферрит. В скобках приводятся общепринятые в химии и технологии цемента краткие обозначения оксидов: CaO -С, SiO_2 -S, Al_2O_3 -А, Fe_2O_3 -F, п. п. п. – потери при прокаливании; число молекул каждого оксида в соединении (минерале) обозначается индексом справа внизу. Обычно их содержание в клинкере портландцемента находится в следующих пределах: C_3S 40–65 %, C_2S 15–40 %, C_4AF 10–20 % и C_3A 3–15 %. Эти соединения кристаллизуются при охлаждении клинкерного расплава в виде твердых растворов, содержащих некоторые количества растворенных оксидов TiO_2 , MgO , Al_2O_3 , P_2O_5 и др. Соответственно твердые растворы минералов C_3S , C_2S и C_4AF называются в порядке убывания их количества в клинкере – алит, белит и целит. Названия образуются из первых букв латинского алфавита а, b, с и основы «лит» от греческого «литос» – камень. Встречающиеся в природе минералы C_2S называются бредигит (α -модификация) и ларнит (β -модификация), C_4AF – браунмиллерит. Особенности минералогического состава клинкеров при их отклонениях от усредненных величин принято отражать в названиях, которые обычно присваиваются клинкерам согласно табл. 5.1.

Таблица 5.1

Классификация клинкеров в зависимости от содержания основных минералов (по С. Д. Окорочкову)

| Клинкер | Содержание минералов, % | | | |
|--|-------------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|
| | C_3S | C_2S | C_3A | C_4AF |
| Алитовый | более 60 | менее 15 | – | – |
| Нормальный (по содержанию C_3S) | 60–37,5 | 15–37,5 | – | – |
| Белитовый | менее 37,5 | более 37,5 | – | – |
| Алюминатный | – | – | более 15 | менее 10 |
| Нормальный (по содержанию C_3A) | – | – | 7–15 | 10–18 |
| Целитовый | – | – | менее 7 | более 18 |

Нормальное отношение минералов-силикатов $C_3S + C_2S$ к минералам-плавням $C_3A + C_4AF$ составляет 3–4,5. При современном уровне технологии цементного производства для нормальных клинкеров содержание $C_3S = 52–60\%$.

Состав портландцементного клинкера и сырьевой смеси для его изготовления характеризуется модулями, к которым относятся: коэффициент насыщения (КН), силикатный (n), глиноземистый (p) и гидравлический (m) модули. Их значения характеризуют соотношение в клинкере главных оксидов (CaO , SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3) и, кроме того, дают определенную характеристику его минералогического состава. Модули вычисляются по следующим формулам:

$$m = \frac{CaO}{SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3};$$

$$n = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3};$$

$$p = \frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}.$$

Коэффициент насыщения КН рассчитывается по упрощенной формуле, принятой для расчета состава сырьевой смеси для получения клинкера:

$$КН = \frac{CaO - (1,65Al_2O_3 + 0,35Fe_2O_3)}{2,8SiO_2}.$$

Коэффициенты, входящие в выражение для КН, показывают, сколько основного оксида CaO в долях от своей массы связывает каждый из кислотных оксидов при условии полного его насыщения до названных выше соединений и рассчитывается следующим образом:

– для Al_2O_3 (при насыщении до C_3A)

$$\frac{\text{м.м. } 3CaO}{\text{м.м. } Al_2O_3} = \frac{3(40+16)}{2 \cdot 27 + 3 \cdot 16} = \frac{168}{102} = 1,65;$$

– для Fe_2O_3 (при насыщении до CF)

$$\frac{\text{м.м. CaO}}{\text{м.м. Fe}_2\text{O}_3} = \frac{40 + 16}{56 \cdot 2 + 3 \cdot 16} = \frac{56}{160} = 0,35;$$

– для SiO_2 (при насыщении до C_3S)

$$\frac{\text{м.м. 3CaO}}{\text{м.м. SiO}_2} = \frac{3(40 + 16)}{28 + 32} = \frac{168}{60} = 2,8.$$

Как видно, коэффициент насыщения представляет собой отношение того количества CaO , которое остается в сырьевой смеси после насыщения Al_2O_3 до трехкальциевого алюмината (C_3A), Fe_2O_3 до однокальциевого феррита (CF) (здесь подразумевается, что C_4AF есть сумма $\text{C}_3\text{A} + \text{CF}$), к тому количеству CaO , которое необходимо, чтобы весь SiO_2 был насыщен до трехкальциевого силиката (C_3S).

В приведенной упрощенной формуле коэффициента насыщения не учитываются количества CaO , SiO_2 , SO_3 , которые могут остаться в клинкере в свободном состоянии, поскольку заранее невозможно предсказать, сколько их останется. SO_3 при обжиге шихты частично улетучивается, количество оставшегося SO_3 и свободных оксидов кальция и кремнезема можно определить только после обжига. Поскольку вся технология получения клинкера направлена на полное связывание оксида кальция и кремнезема в клинкерные минералы, общепринятой методикой расчета состава сырьевых смесей для получения клинкера допускается использование приведенной упрощенной формулы коэффициента насыщения.

Таким образом КН показывает отношение количества оксида кальция в клинкере, фактически связанного с кремнеземом, к тому его количеству, которое теоретически необходимо для полного связывания SiO_2 в трехкальциевый силикат. При $\text{КН} = 1$ все силикаты в клинкере представлены C_3S , при $\text{КН} = 0,67$ в клинкере присутствует лишь C_2S . У клинкеров заводского изготовления $\text{КН} = 0,87\text{--}0,95$, что означает, что в их составе присутствуют оба типа силикатов кальция – как C_3S , так и C_2S .

Повышение значения КН сопровождается ухудшением спекаемости клинкера и, соответственно, вызывает необходимость повышения температуры обжига.

Для общестроительных портландцементов значения модульных характеристик обычно находится в следующих пределах: $m = 1,9-2,4$; $n = 1,7-3,5$; $p = 1-3$; $KN = 0,8-0,95$. Если для характеристики состава клинкера используется KN , то отпадает необходимость применения гидравлического модуля m , поскольку оба они характеризуют основность сырьевой смеси. Поэтому в настоящее время расчет состава сырьевой смеси обычно ведется по значениям KN , n и p .

Если состав основных сырьевых материалов (известняка, глины) не обеспечивает нужного соотношения оксидов в клинкере, то в сырьевую смесь вводятся корректирующие добавки, повышающие или понижающие значение того или иного модуля. В качестве кремнеземистых корректирующих добавок используют трепел, опоку, диатомит, глину с высоким содержанием SiO_2 , песок, маршалит и т. д.; в качестве железистых добавок – пиритные (колчеданные) огарки, железную руду, колошниковую пыль и т. д., в качестве глиноземистых добавок – глины с высоким содержанием Al_2O_3 , бокситы и т. д.

Силикатный модуль n характеризует соотношение в клинкере минералов-силикатов ($C_3S + C_2S$) и минералов-плавней ($C_3A + C_4AF$). Он может изменяться от 1,4 до 4,5, хотя для клинкеров большинства цементных заводов составляет 1,8–2,5.

Глиноземный модуль пропорционален соотношению алюминатной и алюмоферритной фаз в портландцементе клинкера. В промышленных клинкерах значение глиноземного модуля находится в пределах 0,8–2, минимальное значение $p = 0,64$. Если $p < 0,64$, трехкальциевый алюминат отсутствует, а в клинкере появляется фаза двухкальциевого феррита (C_2F). Глиноземный модуль характеризует количество жидкой фазы – расплава, появляющегося при спекании сырьевой смеси, а также ее свойства – вязкость, поверхностное натяжение и др.

II. Расчет состава сырьевых смесей для получения клинкера. Общие принципы расчета.

Для получения портландцементного клинкера сырьевая смесь составляется из двух и более компонентов. Правильный расчет их соотношения является важнейшим условием получения цемента заданных характеристик. Исходными данными для расчета являются химический состав исходных сырьевых материалов (оксидный состав каждого компонента) и заданные модульные характеристики

клинкера (или его потенциальный минералогический состав). Число сырьевых компонентов, из которых составляется сырьевая смесь, должно быть на единицу больше числа задаваемых модульных характеристик. Тогда, если, например, получаемый клинкер должен удовлетворять только заданному значению коэффициента насыщения, то число компонентов сырьевой смеси должно быть равно двум. Если же требования к клинкеру более жесткие, например, указывается требуемая величина КН и еще одного модуля (силикатного или глиноземистого), то сырьевая смесь должна состоять из трех компонентов и т. д.

Постоянство клинкера по составу обеспечивается наиболее точно, если расчет сырьевой смеси ведется по КН и двум модулям (n и p). В этом случае необходимо работать с четырехкомпонентной сырьевой смесью, что сильно усложняет технологическую схему производства и удорожает строительство цементного завода.

С другой стороны, сырьевая смесь из двух компонентов (при ее расчете только по величине КН) не всегда позволяет получать необходимые значения n и p , поскольку влиять на изменение одного из модулей одновременно с КН нельзя без введения в сырьевую смесь третьего (корректирующего) компонента. Работать с двухкомпонентной сырьевой смесью можно только в том случае, если значение силикатного и глиноземистого модулей глины находится в пределах, допустимых для портландцемента. Если это условие не выполняется, то приблизиться к заданным характеристикам клинкера можно только вводя третий сырьевой компонент, вид которого зависит от того, какой модуль нужно изменить и как – повысить или понизить.

Распространенное стремление увеличить в цементных клинкерах содержание минерала C_3S , обеспечивающего достаточно высокую прочность цементного камня в начальные сроки твердения, вызывает необходимость повышения в сырьевых смесях содержания извести CaO . При этом должно выполняться неперенное условие – вся известь должна быть связана при обжиге в клинкерообразующие минералы с тем, чтобы не связанным оставалось не более 1–2 % от ее количества.

Если это условие не выполняется (в свободном, не связанном состоянии остается более 1–2 % извести CaO) цемент приобретает нежелательное свойство – неравномерность изменения объема при твердении.

Оно вызывается тем, что свободная известь после температуры обжига сырьевой смеси (1450–1500 °С) остается в пережженном состоянии, то есть состоит из крупных плотных кристаллов СаО, характеризующихся замедленным гашением. Последнее происходит при взаимодействии свободной извести с водой уже в отдаленные сроки, чаще всего при тепловлажностной обработке изделий, когда цементное тесто потеряло свою пластичность и перешло в камневидное состояние. А поскольку гашение извести сопровождается значительным увеличением ее объема (в 2–3,5 раза), процесс вызывает в этом случае появление в цементном камне внутренних напряжений, приводящих к образованию трещин, снижению прочности и даже полному его разрушению. Поэтому большое значение для получения качественного портландцементного клинкера имеет правильное назначение в сырьевой смеси соотношения основного и кислотных оксидов, что и является целевой функцией расчета состава шихты.

III. Расчет двухкомпонентной сырьевой смеси для получения портландцементного клинкера.

Такая схема используется в случае, если для характеристики сырьевой смеси задается только величина КН и имеются данные о химическом составе каждого компонента (без учета присадки золы топлива). Содержание оксидов в первом сырьевом компоненте (обычно это глинистый компонент) будем обозначать с индексом 1, во втором – с индексом 2.

Если принять за единицу долю глинистого компонента в сырьевой шихте, а отношение массовой доли карбонатного компонента к глинистому за x , то используя принятые выше обозначения, можно записать следующие выражения для КН сырьевой смеси

$$\text{КН} = \frac{(C_1 + xC_2) - [1,65(A_1 + xA_2) + 0,35(F_1 + xF_2)]}{2,8(S_1 + xS_2)}$$

Решая полученное уравнение относительно x , получим расчетную формулу для определения соотношения карбонатного и глинистого компонентов шихты, при котором будет обеспечиваться заданное значение коэффициента насыщения КН.

Поскольку сумма масс карбонатного (К) и глинистого (Г) компонентов шихты составляет для рассматриваемой схемы 100 %, а отношение их по массе $K/G = X$, методом подстановки можно затем рассчитать процентный состав шихты. Перемножив далее содержание оксидов в каждом компоненте на его процентное содержание в шихте, найдем, какое количество каждого оксида в % от общей массы вносится соответствующим компонентом, а просуммировав их значения для первого и второго компонентов, получим процентное содержание каждого оксида в сырьевой смеси.

В завершение расчета необходимо определить химический состав клинкера, для чего массовая доля каждого оксида в сырьевой смеси умножается на коэффициент пересчета $K = \frac{100}{100 - (\text{п.п.п.})_{\text{с/см}}}$.

При этом, п.п.п. клинкера принимаем равным нулю, поскольку при спекании шихты из ее компонентов удалились все газообразные составляющие. Тогда доля каждого оксида в клинкере окажется значительно больше, чем в сырьевой смеси.

Далее необходимо рассчитать для клинкера величину коэффициента насыщения. Если полученное в результате значение КН для клинкера совпадет с заданным КН сырьевой смеси, это говорит о том, что расчет сырьевой смеси сделан верно.

IV. Пример расчета состава двухкомпонентной шихты для получения портландцементного клинкера.

Пусть для получения клинкера быстротвердеющего портландцемента необходимо рассчитать состав двухкомпонентной шихты, состоящей из мела и глины, химический состав которых приведен в табл. 5.2.

Таблица 5.2

Химический состав компонентов шихты

| Наименование материала | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | п. п. п. | Σ |
|------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|----------|-------|
| Мел | 3,49 | 1,84 | 0,92 | 51,52 | 0,33 | 0,43 | 41,06 | 99,59 |
| Глина | 53,65 | 17,44 | 6,86 | 6,54 | 2,30 | 0,43 | 9,43 | 96,63 |

Изучив свойства быстротвердеющего портландцемента, задаемся величиной коэффициента насыщения $KН = 0,92$, исходя из того, что клинкер для быстротвердеющего портландцемента должен содержать повышенное количество трехкальциевого силиката (более 60 %), следовательно, надо принимать повышенное значение $KН$.

Поскольку в справочных данных о химсоставе пород данного месторождения сумма составляющих не равна 100 %, необходимо привести ее к 100 %, выполнив перерасчет состава. Для этого содержание оксидов в первом компоненте надо умножить на коэффициент $K_1 = 100/99,59 = 1,004$, во втором – на $K_2 = 100/96,63 = 1,035$. Химический состав исходных сырьевых материалов после пересчета на 100 % представим в табл. 5.3.

Таблица 5.3

Химический состав компонентов шихты, приведенный к 100 %

| Наименование материала | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | п. п. п. | Σ |
|------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|----------|-----|
| Мел | 3,50 | 1,85 | 0,92 | 51,74 | 0,33 | 0,43 | 41,23 | 100 |
| Глина | 55,51 | 18,05 | 7,10 | 6,67 | 2,38 | 0,43 | 9,76 | 100 |

Обозначим соотношение карбонатного компонента шихты (в нашем случае – мела) к глинистому через x и выразим его из уравнения для $KН$, положив значение последнего равным 0,92. Тогда имеем

$$KН = \frac{(6,67 + 51,74x) - [1,65(18,05 + 1,85x) + 0,35(7,10 + 0,92x)]}{2,8(55,51 + 3,50x)} = 0,92.$$

Приведя к общему знаменателю и сгруппировав члены, содержащие x , найдем его искомое значение, которое для рассмотренного случая оказалось равным $x = 4,28$.

Следовательно, на одну весовую часть глины потребуется взять 4,28 частей мела, что соответствует следующему процентному составу шихты: мела – 81,06 %, глины – 18,94 %.

Подсчитаем, какое количество оксидов будет внесено в шихту каждым ее компонентом при рассчитанном процентном составе

шихты, а также суммарное содержание оксидов в сырьевой смеси. Для этого содержание оксидов в каждом компоненте умножим на его процентную долю в шихте, а затем просуммируем. Результаты расчета в весовых частях (в. ч.) сведем в табл. 5.4.

Таблица 5.4

Химический состав компонентов шихты и клинкера

| Компоненты | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO | SO ₃ | п. п. п. | Σ |
|--------------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-------|------|-----------------|----------|--------|
| 81,06 в. ч. мела | 2,84 | 1,50 | 0,75 | 41,94 | 0,26 | 0,35 | 33,42 | 81,06 |
| 18,94 в. ч. глины | 10,51 | 3,43 | 1,34 | 1,28 | 0,45 | 0,08 | 1,85 | 18,94 |
| 100 в. ч. сырьевая смесь | 13,35 | 4,93 | 2,09 | 43,22 | 0,71 | 0,43 | 35,27 | 100,00 |
| Клинкер | 20,62 | 7,62 | 3,23 | 66,77 | 1,10 | 0,66 | – | 100,00 |

Для проверки правильности произведенного расчета двухкомпонентной сырьевой смеси нужно убедиться, что величина коэффициента насыщения КН, если ее рассчитать для клинкера, полученного из предлагаемой шихты, окажется равной заданной величине КН = 0,92. Для этого необходимо вначале рассчитать химический состав клинкера. Поскольку клинкер получается спеканием сырьевых материалов, то потери при прокаливании (п. п. п.) в нем отсутствуют. Тогда химический состав клинкера рассчитаем из химического состава сырьевой смеси путем умножения процентного содержания в ней каждого оксида на коэффициент

$$K = \frac{100}{100 - \text{п. п. п.}}$$

В нашем случае $K = \frac{100}{100 - 35,27} = 1,54$.

Рассчитанный химический состав клинкера показываем в последней строке табл. 5.3 и рассчитываем для него величину КН

$$\text{КН} = \frac{66,77 - (1,65 \cdot 7,62 + 0,35 \cdot 3,23)}{2,8 \cdot 20,62} = 0,92.$$

Величина КН для клинкера оказалась равной заданной, следовательно, расчет выполнен правильно.

Контрольные вопросы

1. Дайте определение коэффициента насыщения при расчете состава сырьевой смеси для получения портландцементного клинкера и его формулы.

2. Какова минимально возможная величина коэффициента насыщения и какому минералогическому составу клинкера она соответствует?

3. Какова максимально возможная величина коэффициента насыщения и какому минералогическому составу клинкера она соответствует?

4. Как найти соотношение между карбонатным и глинистым компонентами сырьевой смеси?

5. Как найти процентный состав сырьевой смеси, зная соотношение карбонатного и глинистого компонентов?

6. Как найти химический состав клинкера, зная химический состав сырьевой смеси?

7. Как проверить правильность выполненного расчета состава сырьевой смеси?

8. Почему после спекания сырьевой смеси в ней не должно оставаться свободного (не связанного в силикаты, алюминаты, ферриты) СаО?

Лабораторная работа № 6

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ИЗВЕСТЕОБРАЗОВАНИЯ ИЗ КАРБОНАТНЫХ ПОРОД

Известь строительная воздушная получается обжигом не до спекания ($t = 900\text{--}1200\text{ }^\circ\text{C}$) карбонатных пород – известняка или мела, содержащих не более 8 % глинистых примесей.

В зависимости от температуры, создаваемой в зоне обжига печи, различают три типа режимов обжига: мягкий, средний и жесткий. Известь, полученная по мягкому режиму обжига, характеризуется легкостью, высокой пористостью кусков, быстрым гашением, высокой экзотермичностью процесса гашения, но пониженной производительностью печей. По среднему режиму получается нормально обожженная известь при расчетной производительности печей. Жесткий же режим обжига приводит к получению извести с размером кристаллов CaO в десятки и сотни раз большим, чем по мягкому режиму при их высокой плотности, то есть к получению пережженной извести, что существенно ухудшает ее качество, но способствует повышенной производительности печей. Пережженная известь характеризуется замедленным гашением, это может привести к браку продукции в производстве силикатных изделий вследствие того, что гашение извести, сопровождающееся увеличением объема, может происходить при автоклавной обработке изделий.

Выход извести из породы зависит от многих факторов: вещественного и химического состава породы, размера обжигаемых кусков, температуры обжига, длительности выдерживания сырья при заданной температуре. Обычно расчет известеобразования из породы данного химического состава проводится по формуле [1]

$$И = CaO + MgO + S + П(1 - x),$$

где CaO и MgO – содержание этих оксидов в сырье, %;

S – суммарное содержание в сырье $SiO_2 + R_2O_3$, R – металл;

П – потери при прокаливании, %;

x – степень декарбонизации сырья при обжиге, выражаемая в долях единицы, $x = 0,9\text{--}0,99$.

Назначение оптимальной длительности процесса обжига является основной технологической задачей процесса получения извести из карбонатной породы. При этом исходят из необходимости достижения максимальной степени декарбонизации сырья при одновременном экономном расходовании топливно-энергетических ресурсов (ТЭР).

Степень декарбонизации x есть отношение фактически полученного количества извести-кипелки к тому максимальному ее количеству, которое теоретически возможно получить из породы конкретного вещественного состава:

$$x = \frac{I_{\text{ф}}}{I_{\text{теор}}} = \frac{P_{\text{ф}}}{P_{\text{теор}}}.$$

Чтобы назначить оптимально длительность процесса обжига, необходимо предварительно построить кривую зависимости степени декарбонизации изучаемого сырья от длительности его обжига при заданной температуре. Изучение методики построения такой кривой и является целью настоящей лабораторной работы.

Задание. Установить степень декарбонизации мела (известняка) при различной длительности его обжига при температуре 900 °С и построить кривую зависимости $X = f(\tau)$.

Приборы и материалы

1. Мел (известняк).
2. Весы технические.
3. Тигли фарфоровые.
4. Муфельная печь.
5. Сушильный электрошкаф.
6. Эксикатор.

Порядок выполнения работы

Перед началом эксперимента необходимо удалить из породы гигроскопическую влагу путем высушивания до постоянной массы при температуре 105–110 °С. Охлаждать материал необходимо в эксикаторе во избежание сорбционного увлажнения породы.

Навеску высушенной породы помещают в фарфоровый тигель, нагревают на горелке или в муфельной печи до заданной температуры и выдерживают при этой температуре фиксированное время.

Потерю навески через заданное время термообработки рассчитывают по формуле

$$P_{\phi} = \frac{\Delta m}{m} \cdot 100 \%,$$

где Δm – разность массы тигля с навеской до и после термообработки при заданной температуре, г;

m – исходная масса сухой навески, г.

Результаты эксперимента сводят в табл. 6.1.

Таблица 6.1

Результаты экспериментального определения степени декарбонизации карбонатной породы

| Заданное время обжига породы, час | Масса пустого тигля, г | Масса тигля с навеской, г | Масса навески m , г | Масса тигля с навеской после обжига, г | Потеря массы после обжига Δm , г | P_{ϕ} , % | $P_{т}$, % | X |
|-----------------------------------|------------------------|---------------------------|-----------------------|--|--|----------------|-------------|---|
| τ_1 | | | | | | | | |
| τ_2 | | | | | | | | |
| τ_3 | | | | | | | | |

Расчет теоретической величины $P_{т}$

Исходными данными для расчета являются сведения о вещественном или химическом составе изучаемой породы, которые сообщаются преподавателем. Рассмотрим для примера случай, когда обжигаемая порода содержит кальцита CaCO_3 – 90 %, магнезита MgCO_3 – 3 %, примесей песка – 2 %, глины – 5 %.

При нагревании до 900–1000 °С в сырье будут иметь место следующие процессы:

1. При температуре 450–500 °С произойдет дегидратация глинистых примесей.

2. В области 700 °С произойдет декарбонизация магнезита MgCO_3 .
3. В области 900 °С произойдет декарбонизация кальцита CaCO_3 .
4. Кварцевый песок в рассматриваемом интервале температур химических изменений не претерпевает.

Расчет ведем на 100 г породы.

1. Рассчитаем потери массы мела от дегидратации примесей глины. Считаем, что минералогический состав глины представлен минералом каолинитом $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Молярная масса каолинита составит

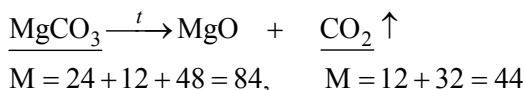
$$M = 2 \cdot 27 + 3 \cdot 16 + 2 \cdot (28 + 32) + 2 \cdot 18 = 258.$$

Молярная масса двух молекул воды, входящих в состав каолинита $M = 36$.

Тогда доля химически связанной воды в глине составит $\frac{36}{258} = 0,14$,

а для нашего конкретного случая, когда содержание глины в навеске равно 5 г, потеря массы от дегидратации глины составит $5 \cdot 0,14 = 0,7$ г.

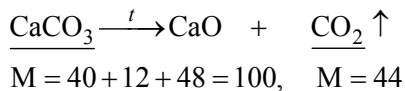
2. Рассчитаем потери от декарбонизации магнезита MgCO_3 .



Тогда потерю массы от декарбонизации магнезита найдем из следующей пропорции:

$$\begin{array}{l} 84 - 44 \\ 3 - x \end{array} \left| \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right. x = \frac{3 \cdot 44}{84} = 1,57 \text{ г}$$

3. Рассчитаем потери от декарбонизации кальцита CaCO_3 , масса которого в 100 г породы составляет 90 г.



$$\begin{array}{l|l} 100 - 44 & \\ 90 - x & \end{array} \quad x = \frac{44 \cdot 90}{100} = 39,6 \text{ г}$$

Суммарные потери при термообработке 100 г породы при 900 °С составят $P_r = 0,7 + 1,57 + 39,6 = 41,87$ г, что составит от первоначальной массы 41,87 %.

Разделив полученную в эксперименте величину P_ϕ на расчетную P_r , найдем степень декарбонизации X , достигнутую при обжиге. Имея фактические данные о потерях массы через различные промежутки времени, можно построить кривую декарбонизации, то есть функцию $X = f(\tau)$ для обжига породы при заданной температуре.



Контрольные вопросы и задачи

1. Назовите разновидности извести строительной воздушной, их свойства.
2. Классификация карбонатных пород.
3. Назовите минералы, имеющие формулу CaCO_3 .
4. Кинетика известеобразования в зависимости от технологических параметров обжига (температура, размер обжигаемых кусков).
5. Понятие мягкого, среднего и жесткого режима обжига, достоинства и недостатки.

6. Назовите типы печей для обжига карбонатных пород.
7. При обжиге 30 кг известняка получено 16 кг оксида кальция. Найдите процентное содержание кальцита в известняке.
8. Сколько потребуется чистого известняка с влажностью 5 % для получения 10 т негашеной извести?
9. Найдите выход негашеной извести из 20 т известняка влажностью 8 %, содержащего 85 % CaCO_3 и примеси в виде песка.
10. Рассчитайте, каким должен быть объем шахтной печи для получения 20 т извести в сутки, если средняя плотность известняка в куске $\rho_0 = 1700 \text{ кг/м}^3$, цикл обжига проходит за 2 суток, а топливо занимает 25 % объема печи.
11. Рассчитайте, сколько комовой извести получится при обжиге 10 т известняка влажностью 2 %, содержащего глинистых и песчаных примесей по 10 %, ее активность и сорт.
12. Из 5 т мела влажностью 15 %, содержащего 5 % песчаных примесей, получили 3 т негашеной извести. Рассчитайте, какая степень декарбонизации мела достигнута при его обжиге.

Лабораторная работа № 7

ПОДБОР СОСТАВА ЯЧЕИСТОГО БЕТОНА

Подбор состава ячеистого бетона складывается из двух этапов. Первый – расчет состава аналитическим путем, второй – опытная проверка результатов расчета в лабораторных условиях. Целью данной работы является освоение студентами первого этапа – расчет состава ячеистого бетона.

Расчет состава формовочных масс ячеистого бетона при технологическом проектировании производства ячеистобетонных изделий производится по методу абсолютных объемов, концепция которого сводится к следующему. Объем готового ячеистого бетона принимается за единицу и рассматривается как объем поризованного твердого тела, состоящего из объема, занимаемого твердой фазой, и объема порового пространства. Последнее формируется двумя путями. Первая часть – за счет испарения свободной воды, то есть той части воды затворения, которая не вступила в реакцию образования гидросиликатов кальция при автоклавной обработке изделий, вторая часть – за счет порообразования, происходящего при взаимодействии с компонентами сырьевой смеси специально введенных газообразователей (или за счет объема введенной пены).

Аналитически изложенное выше представление выражается формулой

$$1 = \Pi_{\Gamma} + \frac{\rho_{\text{б}}}{K_{\text{с}}} (V/\Gamma + W), \quad (7.1)$$

где Π_{Γ} – доля объема ячеистого бетона, формирующаяся за счет реакции газообразования или объема введенной пены;

$\rho_{\text{б}}$ – заданная средняя плотность ячеистого бетона, кг/л;

$K_{\text{с}}$ – коэффициент увеличения массы сухих сырьевых материалов за счет гидратационного присоединения воды при автоклавной обработке сырья, то есть при образовании гидросиликатов кальция из извести, кремнеземистого компонента и воды;

V/T – исходное водотвердое отношение формовочной массы, принимаемое в зависимости от принятой технологии формования изделий – литьевая или вибрационная. При *литьевой* технологии и использовании в качестве кремнеземистого компонента кварцевого песка в проектных расчетах принимается $V/T = 0,5$, в случае использования материалов большей водопотребности, например, зол-уноса ТЭЦ, принимается $V/T = 0,6$. Для *вибрационной* технологии формования величина исходного V/T уменьшается ориентировочно на 30 %;

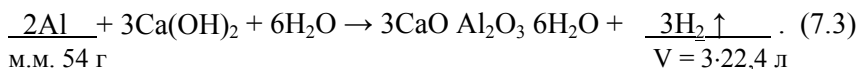
W – удельный (абсолютный) объем сухих сырьевых материалов, который показывает, какой объем занимает единица массы сухих сырьевых материалов, л/кг, см³/г, то есть величина, обратная истинной плотности смеси сухих сырьевых материалов.

Для расчета каждой из названных составляющих объема ячеистого бетона используются следующие зависимости. Доля химически связанной воды учитывается через коэффициент K_c , который показывает степень увеличения массы сухих материалов за счет гидратационного связывания воды при образовании гидросиликатов кальция. Следовательно, общий расход сухих материалов для получения ячеистого бетона окажется меньше его заданной средней плотности ρ_b и выразится как ρ_b/K_c . Умножая это значение на величину принятого в производстве водотвердого отношения V/T , рассчитывается объем пористости ячеистого бетона, который формируется за счет испарения свободной воды как

$$V_{\text{п}}^{\text{в}} = \frac{\rho_b}{K_c} \cdot V/T. \quad (7.2)$$

Величина K_c принимается для проектных расчетов равной $K_c = 1,1$ и затем уточняется в ходе лабораторной проверки на втором этапе подбора состава ячеистого бетона.

Объем пор, образовавшихся за счет реакции газообразования вычисляется в каждом конкретном случае по уравнению химической реакции взаимодействия газообразователя с компонентами сырьевой смеси. Например, в случае использования алюминиевой пудры идет реакция



Пористость, образованная за счет этой реакции, вычисляется по объему выделенного водорода. Так как грамм-моль любого газа при нормальных условиях занимает объем 22,4 л, удельное газообразование алюминия (количество газа, выделяемое единицей массы алюминия) составит

$$K_{\text{н.у.}} = \frac{3 \cdot 22,4}{54} = 1,24 \text{ л/г} = 1240 \text{ л/кг}. \quad (7.4)$$

Поскольку реально газообразование (вспучивание ячеистобетонной массы) проходит не при нормальных условиях, а при температуре t °С формовочной массы, принимаемой по табл. 7.1 для конкретных видов сырьевых материалов и разновидностей ячеистых бетонов, необходимо сделать пересчет удельного газообразования по закону Гей-Люссака

$$K_t = K_{\text{н.у.}} \left(1 + \frac{t}{273}\right). \quad (7.5)$$

Например, для смешанного известково-цементного вяжущего температура формовочной массы при вибротехнологии составляет 40 °С, тогда удельное газообразование для рассматриваемого случая составит

$$K_{40} = 1,24 \left(1 + \frac{40}{273}\right) = 1,42 \text{ л/г или } 1420 \text{ л/кг}.$$

Таким же образом рассчитывается удельное газообразование и при использовании других газообразователей – пергидроля, ферросилиция и т. п. Температура формовочной массы принимается по табл. 7.1.

Таблица 7.1

Температура ячеистобетонной смеси в момент выгрузки в форму

| Вид ячеистого бетона и применяемого вяжущего | Температура ячеистобетонной смеси в момент выгрузки в форму, °С | |
|---|--|-------------------------------------|
| | при литьевом спо- собе формования | при ударном спо- собе формования |
| Газобетон на цементе | 45±2 | 45±2 |
| Газобетон на известково-цемент- ном вяжущем | 35±2 | 42±2 |
| Газобетон на высокоосновном зольном вяжущем | 40±2 | 45±2 |
| Газосиликат на извести кальциевой и цементе, известково-белитовом вяжущем | 30±2 | 42±2 |
| Газобетон на известково-песчаном вяжущем: | | |
| для конструкционно-теплоизо- ляционных | – | 42±2 |
| для теплоизоляционных | 35±2 | 36±8 |
| Пенобетон на цементе | 25±5 | |

Как следует из формулы (7.1), доля объема ячеистого бетона, приходящаяся на поры, создаваемые газообразователем, рассчитывается из выражения

$$\Pi_{\Gamma} = 1 - \frac{\rho_{\text{б}}}{K_{\text{с}}} (V/\Gamma + W), \quad (7.6)$$

то есть из единицы объема ячеистого бетона надо вычесть его долю, приходящуюся на несвязанную (испаряющуюся) воду $(\frac{\rho_{\text{б}}}{K_{\text{с}}} \cdot V/\Gamma)$,

и долю, занимаемую твердой фазой $(\frac{\rho_{\text{б}}}{K_{\text{с}}} \cdot W)$ – произведения расхо-

да сухих сырьевых материалов, затраченных на получение единицы объема ячеистого бетона заданной средней плотности $\rho_{\text{б}}$, на их удельный объем W .

Параметр W определяется из пробного замеса по формуле

$$W = \frac{1 + B/T}{\rho_p^\Phi} - B/T, \quad (7.7)$$

где B/T – принятое в технологии водотвердое отношение формовочной смеси;

ρ_p^Φ – фактическая средняя плотность формовочной массы до вспучивания.

В то же время параметр W можно рассчитать и аналитическим путем, основываясь на величине истинной плотности исходных сырьевых материалов и их соотношении в сырьевой смеси: отношении массы кремнеземистого компонента к массе вяжущего, соотношении цемента и извести, если это вяжущее смешанное.

Каждому виду вяжущего соответствует своя оптимальная доля кремнеземистого компонента, зависящая от содержания в вяжущем гидроокиси кальция, способной связывать кремнеземистый компонент в гидросиликаты при автоклавной обработке. Если кремнеземистого компонента вводится больше оптимальной дозировки, его избыток становится инертным наполнителем, но, имея меньшую величину истинной плотности по сравнению с вяжущим, приводит к снижению истинной плотности смеси компонентов, а, следовательно, к увеличению ее удельного (абсолютного) объема.

При заниженном содержании кремнеземистого компонента недоиспользуются уже возможности вяжущего, избыток его удорожает изделие. Кроме того, за счет повышенной усадки вяжущего, не вступившего в реакцию образования гидросиликатов кальция, снижается трещиностойкость изделий. Количество кремнеземистого компонента, приходящегося на единицу массы вяжущего, обозначается через $C = \frac{\rho_{кр}}{\rho_{вяж}}$, а исходные значения этого коэффициента на-

зываются там же в зависимости от вида вяжущего, они приведены в табл. 7.2.

Таблица 7.2

Отношение массы кремнеземистого компонента
к массе вяжущего

| Вид вяжущего | Отношение массы кремнеземистого компонента к массе вяжущего | |
|------------------------|--|------------------------------|
| | для автоклавного бетона | для неавтоклавного бетона |
| Цементное | 0,75; 1,00; 1,25; 1,5; 1,75; 2,00 | 0,75; 1,25; 1,75 |
| Известковое | 3,00; 4,5; 5,5; 6,0 | – |
| Известково-белитовое | 1,00; 1,25; 1,50; 2,00 | – |
| Высокоосновное зольное | 0,75; 1,00; 1,25 | |

Удельный объем W есть величина, обратная истинной плотности. В свою очередь, истинная плотность смеси сухих сырьевых материалов зависит от истинной плотности входящих в смесь компонентов, в данном случае портландцемента, извести и кремнеземистого компонента, в качестве которого в технологии ячеистых бетонов используется чаще всего кварцевый песок, а также золы, шлаки и другие кремнеземсодержащие материалы. При этом естественно, что чем легче применяемый кремнеземистый компонент, тем меньше будет величина истинной плотности смеси и тем больше будет величина ее удельного объема.

Чтобы рассчитать истинную плотность смеси сухих материалов, можно воспользоваться известной формулой смешения, применяемой, например, при подборе состава шихты в производстве портландцементного клинкера. Тогда количество любого оксида в сырьевой смеси рассчитывается по данным о химическом составе каждого из входящих в нее компонентов и их соотношении в сырьевой смеси. Например, если требуется составить двухкомпонентную сырьевую смесь из x весовых частей первого компонента и одной весовой части второго компонента, то по формуле смешения определится содержание в сырьевой смеси любого оксида, допустим, SiO_2 (сокращенно обозначим его через S) как

$$S_0 = \frac{xS_1 + S_2}{1 + x}, \quad (7.8)$$

где S_0 – процентное содержание SiO_2 в сырьевой смеси;

S_1 – процентное содержание SiO_2 в первом компоненте шихты;

S_2 – процентное содержание SiO_2 во втором компоненте шихты, доля которого принята за 1;

x – соотношение между компонентами в сырьевой смеси (шихте), (массовая доля первого компонента шихты).

Если же сырьевая смесь состоит из трех компонентов и на 1 вес. ч. третьего компонента приходится x вес. ч. первого компонента и y вес. ч. второго, то

$$S_0 = \frac{xS_1 + yS_2 + S_3}{x + y + 1}, \quad (7.9)$$

где S_3 – процентное содержание SiO_2 в третьем компоненте.

Несмотря на то, что искомая величина истинной плотности, а следовательно удельного и абсолютного объема смеси сухих сырьевых материалов является физической (а не химической) характеристикой вещества (или смеси веществ), правомерно распространить на нее изложенную выше методику расчета результирующего показателя по формулам смешения. Это обусловлено зависимостью истинной плотности, а значит и удельного объема сырьевых материалов, от их минералогического, а, следовательно, и химического состава. Так, истинная плотность кремнеземсодержащих сырьевых компонентов ячеистобетонных смесей (песок, шлаки, золы) находится в пределах $2-2,65 \text{ г/см}^3$ и всегда значительно ниже истинной плотности вяжущих компонентов, состоящих, в основном, из оксидов кальция, магния, силикатов, алюминатов и ферритов кальция, истинная плотность которых находится в пределах $3-3,77 \text{ г/см}^3$.

Рассмотрим случай, когда смесь сухих материалов состоит из двух составляющих – извести и кремнеземистого компонента, соотношения которых принято

$$\frac{m_{\text{кр}}}{m_{\text{и}}} = C.$$

Если принять долю извести за единицу, а долю кремнеземистого компонента за C , то по правилу смешения истинную плотность их смеси можно выразить как

$$\rho_{\text{см}} = \frac{\rho_{\text{и}} + C \cdot \rho_{\text{к}}}{1 + C}, \quad (7.10)$$

где $\rho_{\text{и}}$ и $\rho_{\text{к}}$ – истинная плотность соответственно извести и кремнеземистого компонента.

Поскольку W есть величина, обратная ρ , то поделив $\frac{1}{\rho_{\text{см}}}$, получим искомое значение $W_{\text{см}}$.

$$W_{\text{см}} = \frac{1}{\rho_{\text{см}}} = \frac{1 + C}{\rho_{\text{и}} + C \cdot \rho_{\text{к}}}. \quad (7.11)$$

Пусть, к примеру, смесь состоит из извести с плотностью $\rho_{\text{и}} = 3 \text{ г/см}^3$ и кремнеземистого компонента – песка кварцевого с истинной плотностью $\rho_{\text{к}} = 2,65 \text{ г/см}^3$, отношение массы песка к массе извести принято $C = 3$. Рассчитаем для этого случая величину $W_{\text{см}}$ по формуле (7.11)

$$W_{\text{см}} = \frac{1 + C}{\rho_{\text{и}} + C \cdot \rho_{\text{к}}} = \frac{1 + 3}{3 + 3 \cdot 2,65} = \frac{4}{10,95} = 0,36 \text{ см}^3/\text{г}. \quad (7.12)$$

При смешивании трех компонентов результирующий параметр – истинная плотность смеси определяется как

$$\rho_{\text{см}} = \frac{\rho_1 + x\rho_2 + y\rho_3}{1 + x + y}, \quad (7.13)$$

где ρ_1, ρ_2, ρ_3 – истинная плотность составляющих смесь компонентов;

$1, x, y$ – массовые доли компонентов.

Если в производстве ячеистобетонного изделия используется смешанное вяжущее, например, известково-цементное, то рационально упростить расчет трехкомпонентной системы известь-цемент-песок для определения абсолютного объема сухих материалов по следующей схеме. Рассчитывается величина C для смешанного

вяжущего по данным табл. 7.2 с учетом доли каждой составляющей вяжущего, которая зависит от требований к морозостойкости производимых изделий. Обычно доля цемента в смешанном вяжущем обозначается n и принимается в пределах 0,3–0,7 в зависимости от вида производимых изделий. Принятая величина согласовывается с преподавателем.

Для конструкционно-теплоизоляционных изделий обычно принимается $n = 0,5$, то есть принимается равное содержание извести и портландцемента в вяжущем. Рассчитываем для этого случая величину $C_{св}$, предварительно задавшись по табл. 7.2 усредненными значениями $C_{ц} = 1,25$ и $C_{и} = 4,5$.

$$\begin{aligned} C_{св} &= C_{ц} \cdot n + C_{и} (1 - n) = 1,25 \cdot 0,5 + 4,5 (1 - 0,5) = \\ &= 0,625 + 2,25 = 2,875. \end{aligned}$$

Тогда, приняв усредненное значение истинной плотности вяжущего $\rho_{в} \approx 3,05$ г/см³, можно рассчитать по формуле (7.10) истинную плотность для всей сырьевой смеси как

$$\rho_{см} = \frac{3,05 + 2,87 \cdot 2,65}{1 + C} = \frac{3,05 + 7,6}{1 + 2,87} = 2,75 \text{ г/см}^3.$$

Отсюда

$$W_{см} = \frac{1}{2,75} = 0,36 \text{ см}^3/\text{г}.$$

Проведем аналогичный расчет для случая, когда в качестве кремнеземистого компонента используется зола с истинной плотностью $\rho_3 \approx 2,36$ г/см³

$$\rho_{см} = \frac{3,05 + 2,87 \cdot 2,36}{1 + 2,87} = \frac{9,82}{3,87} = 2,53 \text{ г/см}^3;$$

$$W_{см} = \frac{1}{2,53} = 0,39 \text{ см}^3/\text{г}.$$

Для легкой золы с плотностью $\rho_3 \approx 2 \text{ г/см}^3$ аналогичные расчеты дают результат

$$\rho_{\text{см}} = \frac{3,05 + 2,87 \cdot 2}{1 + 2,87} = 2,27 \text{ г/см}^3;$$

$$W_{\text{см}} = \frac{1}{2,27} = 0,44 \text{ см}^3/\text{г}.$$

Как видно, чем легче используемый в технологии кремнеземистый компонент, тем больше величина объема, занимаемого единицей его массы, а следовательно и больше значение $W_{\text{см}}$, что и подтверждается приведенным расчетом.

Изложенные выше теоретические положения легли в основу расчета состава ячеистого бетона [9], методику которого рассмотрим на следующем примере.

Пусть необходимо рассчитать расход сырьевых материалов на 1 м^3 теплоизоляционно-конструктивного ячеистого бетона автоклавного твердения (наружные стеновые панели, мелкие стеновые блоки) средней плотности $\rho_6 = 500 \text{ кг/м}^3$, в производстве которого применяются следующие сырьевые материалы: известь строительная воздушная активностью $A_{\text{и}} = 85 \%$, портландцемент, песок кварцевый, газообразователь алюминиевая пудра. Используется технология виброформования, поэтому исходное В/Т формовочной массы принимается равным 0,4; поскольку изделия предназначены для наружных ограждающих частей зданий, доля цемента в смешанном известково-цементном вяжущем принята $n = 0,5$.

Порядок расчета

1. Рассчитываем соотношение между кремнеземистым компонентом (песком) и смешанным известково-цементным вяжущим $C_{\text{св}}$, приняв для порландцемента $C_{\text{ц}} = 1$, для извести $C_{\text{и}} = 4$. Тогда

$$C_{\text{св}} = 1 \cdot n + C_{\text{и}}(1 - n) = 1 \cdot 0,5 + 4(1 - 0,5) = 2,5.$$

2. Рассчитаем общий расход сухих материалов на 1 м^3 ячеистого бетона

$$P_{\text{сух}} = \frac{\rho_b \cdot V}{K_c} = \frac{500 \cdot 1}{1,1} = 454,5,$$

где K_c – коэффициент, учитывающий увеличение массы сухих материалов после автоклавной обработки вследствие гидратационного присоединения воды.

3. Рассчитываем общий расход смешанного вяжущего

$$P_{\text{вяж}} = \frac{P_{\text{сух}}}{1 + C} = \frac{454,5}{1 + 2,5} = 129,87 \text{ кг.}$$

4. Рассчитываем расход порландцемента

$$P_{\text{ц}} = P_{\text{вяж}} \cdot n = 129,87 \cdot 0,5 = 64,93 \text{ кг.}$$

5. Рассчитаем расход извести

$$P_{\text{и}} = P_{\text{вяж}}(1 - n) = 129,87(1 - 0,5) = 64,93 \text{ кг.}$$

Поскольку активность применяемой извести составляет только $A_{\text{и}} = 85 \%$, фактический расход извести будет больше по сравнению с рассчитанной стопроцентной, что выразится как

$$P_{\text{и}}^{\Phi} = \frac{P_{\text{и}} \cdot 100}{A_{\text{и}}} = \frac{64,93 \cdot 100}{85} = 76,38 \text{ кг.}$$

6. Для замедления скорости гашения извести предусмотрим введение 5 % двуводного гипса

$$P_{\text{г}} = \frac{P_{\text{и}}^{\Phi} \cdot 5}{100} = \frac{76,38 \cdot 5}{100} = 3,82 \text{ кг.}$$

7. Рассчитаем расход кремнеземистого компонента – песка

$$\begin{aligned} P_{\text{к}} &= P_{\text{сух}} - (P_{\text{ц}} + P_{\text{и}}^{\Phi} + P_{\text{г}}) = 454,5 - (64,93 + 76,38 + 3,82) = \\ &= 454,5 - 145,13 = 309,37 \text{ кг.} \end{aligned}$$

8. Рассчитаем расход воды

$$P_B = P_{\text{сух}} \cdot B/T = 454,5 \cdot 0,4 = 181,8 \text{ л.}$$

9. Рассчитаем расход порообразователя – алюминиевой пудры по формуле

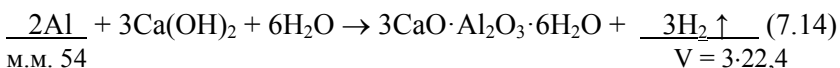
$$P_{\text{п}} = \frac{\Pi_{\text{г}} \cdot V}{\alpha \cdot K},$$

где V – объем ячеистого бетона, на который ведется расчет, в данном случае $V = 1 \text{ м}^3 = 1000 \text{ л}$;

$\Pi_{\text{г}}$ – пористость, которую должен создать газообразователь (в долях от общего объема ячеистого бетона);

α – коэффициент использования газообразователя, в проектных расчетах принимается равным 0,85;

K – удельное газообразование, л/кг, рассчитывается из уравнения химической реакции газообразования



и составляет для нормальных условий (н. у.)

$$K_{\text{н.у.}} = \frac{3 \cdot 22,4}{54} = 1,24 \text{ л/г} = 1240 \text{ л/кг.}$$

Поскольку реально газообразование (вспучивание) происходит не при нормальных условиях, а при температуре t °С формовочной массы, составляющей, в частности, для смешанного вяжущего 40 °С [9], величина K пересчитывается по закону Гей-Люсака:

$$K = K_{\text{н.у.}} \cdot \left(1 + \frac{t}{273}\right) = 1,24 \cdot \left(1 + \frac{40}{273}\right) = 1,42 \text{ л/г} = 1420 \text{ л/кг.}$$

Величина $\Pi_{\text{г}}$ рассчитывается по формуле

$$\Pi_{\text{г}} = 1 - \frac{P_B}{K_c} (W + B/T),$$

где ρ_6 – заданная плотность ячеистого бетона, кг/л;

K_c – коэффициент увеличения массы сухих материалов за счет гидратационного присоединения воды, $K_c = 1,1$;

B/T – расчетное водотвердое отношение;

W – удельный (абсолютный) объем сухих сырьевых материалов в л/кг или $\text{см}^3/\text{г}$.

Рассчитаем W для нашего случая.

$$\rho_{\text{см}} = \frac{\rho_{\text{вяж}} + C \cdot \rho_{\text{кр}}}{1 + C} = \frac{3,05 + 2,5 \cdot 2,65}{1 + 2,5} = \frac{3,05 + 6,625}{3,5} = \frac{9,675}{3,5} = 2,76 \text{ г/см}^3,$$

$$W = \frac{1}{\rho_{\text{см}}} = \frac{1}{2,76} = 0,36 \text{ см}^3/\text{г} = 0,36 \text{ л/кг}.$$

Тогда

$$П_{\Gamma} = 1 - \frac{0,5}{1,1}(0,36 + 0,4) = 1 - \frac{0,5}{1,1} \cdot 0,76 = 0,65,$$

то есть 0,65 от любого объема ячеистого бетона должны составлять поры, создаваемые газообразователем. Тогда расход газообразователя (алюминиевой пудры) на 1 м^3 или 1000 л ячеистого бетона составит

$$P_{\Pi} = \frac{0,65 \cdot 1000}{0,85 \cdot 1420} = 0,54 \text{ кг} = 540 \text{ г Al на } 1 \text{ м}^3 \text{ ячеистого бетона}.$$

10. Рассчитаем расход материалов для приготовления водно-алюминиевой суспензии:

$$\text{расход ПАВ: } P_{\text{ПАВ}} = P_{\Gamma} \cdot 0,05 = 540 \cdot 0,05 = 27 \text{ г};$$

$$\text{расход воды: } P_{\text{в,Al}} = 20P_{\Gamma} = 20 \cdot 540 = 10\,800 \text{ г} = 10,8 \text{ л}.$$

11. Рассчитываем высоту h заполнения формы формовочной массой

$$h = 1,1(1 - P_{\Gamma}) = 1,1(1 - 0,65) = 1,1 \cdot 0,35 = 0,38.$$

Результаты расчета сводим в табл. 7.3.

Таблица 7.3

Расход сырьевых материалов на 1 м³ ячеистого бетона заданной средней плотности $\rho_b = 500 \text{ кг/м}^3$

| Материал | Расход |
|---|-----------|
| Порландцемент | 64,93 кг |
| Известь строительная | 76,38 кг |
| Песок кварцевый | 309,37 кг |
| Гипс двуводный | 3,82 кг |
| Пудра алюминиевая | 540 г |
| Вода: общий расход | 181,8 л |
| в том числе в составе водно-алюминиевой суспензии | 10,8 л |

Контрольные вопросы

1. Как рассчитать расход сухих материалов на 1 м³ ячеистого бетона заданной средней плотности.
2. Почему на получение единицы объема ячеистого бетона тратится меньшая масса сырьевых материалов, чем масса готового ячеистого бетона?
3. Как рассчитать расход вяжущего при производстве ячеистых бетонов?
4. Какие цементирующие новообразования формируются при автоклавной обработке ячеистых бетонов и на какой ее стадии?
5. Какие порообразователи используют для получения ячеистых бетонов?
6. Как рассчитать удельное газообразование (выход пор) для алюминиевой пудры?

Лабораторная работа № 8

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА СТРУКТУРУ И ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

Структура цементного камня и его физико-механические свойства – средняя и истинная плотность, пористость, предел прочности при изгибе и сжатии – зависят от многих технологических факторов: минералогического состава клинкера, вида и количества введенных при помоле активных минеральных добавок (АМД), водопотребности портландцемента и количества воды затворения, способов уплотнения и тепловлажностной обработки, вида и количества введенных химических добавок, условий и сроков твердения и др.

Цементы с повышенным содержанием алюмоферритов кальция характеризуются повышенными значениями истинной плотности ($\rho_{ц}$); введение АМД приводит к снижению величины $\rho_{ц}$ до 2,9–2,7 г/см³, тогда как для бездобавочного портландцемента она составляет 3,0–3,2 г/см³. Величина истинной плотности портландцемента позволяет прогнозировать его удельный объем ($\frac{1}{\rho_{ц}}$), другими словами,

позволяет судить о степени заполнения цементным гелем пустотности заполнителя при одинаковом расходе портландцемента.

Водопотребность цемента характеризуется водосодержанием геля нормальной густоты (стандартной консистенции), которое составляет 22–24 % для бездобавочных цемента, 28–30 % для обычных рядовых цемента, содержащих до 20 % АМД, а для пуццолановых эта величина достигает 30–35 %. Увеличение дисперсности (тонкости помола) цемента, переход от низкоалюминатных к высокоалюминатным клинкерам также сопровождаются повышением водопотребности цемента.

Увеличение начального водосодержания цементного геля приводит к повышению пористости цементного камня. Последняя является важной структурной характеристикой камня, определяющей его деформативность, прочность и стойкость при действии различных эксплуатационных сред. В работе изучается влияние начального

водосодержания цементного геля на его структуру и физико-механические характеристики.

Задание:

1. Изучить влияние начального водосодержания цементного геля на среднюю, истинную плотность и пористость цементного камня и построить графики зависимостей $\rho_0 = f(W/C)$, $\Pi = f(W/C)$.

2. Изучить влияние начального водосодержания цементного геля на физико-механические свойства цементного камня: $R_{изг}$ и $R_{сж}$ и построить графики зависимостей $R_{изг} = f(W/C)$, $R_{сж} = f(W/C)$.

Приборы и материалы

1. Портландцемент.
2. Прибор Вика.
3. Объемомер Ле-Шателье.
4. Формы металлические 40×40×160 мм.
5. Машина для определения предела прочности при изгибе МИИ-100.
6. Пресс гидравлический.
7. Эксикатор.
8. Чаши сферические для замесов.
9. Штангенциркули.
10. Ванны с гидравлическим затвором.
11. Электрошкаф сушильный.

Порядок выполнения работы

I. Вначале определяется коэффициент нормальной густоты ($K_{нг}$) цементного геля. Нормальной густотой цементного геля считается такая его стандартная консистенция, при которой пестик прибора Вика, погружаясь в цементный гель, не доходит до пластины, на которой установлено кольцо на 6 ± 2 мм. За $K_{нг}$ принимается отношение массы воды к массе цемента в цементном геле нормальной густоты.

Для приготовления цементного геля берется 400 г цемента, всыпается в сферическую металлическую чашу, предварительно протертую влажной тканью. В цементе делают углубление, в которое

в один прием выливают воду в количестве, необходимом (ориентировочно) для получения геля нормальной густоты. Обычно для первого пробного затворения берут 25–26 % воды от массы цемента, то есть около 100 мл. Воду отмеряют с погрешностью не более 0,5 мл. Углубление заполняют водой и через 30 с после приливания воды сначала осторожно перемешивают, а затем энергично растирают тесто стальной лопаткой. Общая длительность перемешивания и растирания 5 мин.

Готовый цементный гель в один прием укладывают в кольцо, установленное на стеклянной пластинке, 5–6 раз встряхивают его, постукивая пластину о поверхность стола. Избыток геля срезают увлажненным ножом. Затем кольцо на стеклянной пластине ставят под стержень прибора Вика и пестик приводят в соприкосновение с поверхностью геля в центре кольца. Закрепляют стержень стопорным винтом, после чего быстро освобождают его и дают возможность стержню с пестиком свободно погружаться в гель. Через 30 с от начала погружения производят отсчет глубины погружения пестика по шкале прибора.

В том случае, если пестик не доходит до стеклянной пластины на 6 ± 2 мм, густота геля считается нормальной (стандартной). Если пестик погружается на большую или меньшую глубину, приготавливают новые порции цементного геля с меньшим или большим количеством воды.

На водопотребность цементов влияют минералогический состав клинкера, на основе которого получен цемент, вид и количество гидравлических добавок, вид и количество поверхностно-активных веществ, вводимых при его помоле, тонкость помола цемента.

Результаты эксперимента сводятся в табл. 8.1.

Таблица 8.1

Экспериментальное определение стандартной (нормальной) консистенции цементного геля

| № опыта | Масса цемента, г | Масса воды, г | Расстояние пестика до пластины, мм | Коэффициент нормальной густоты $K_{нг}$ |
|---------|------------------|---------------|------------------------------------|---|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | | | | |

II. Определение истинной плотности портландцемента и цементного камня. Величина истинной плотности портландцемента зависит от минералогического состава клинкера, вида и количества минеральных добавок, введенных при его помоле, уменьшаясь по мере увеличения количества введенных добавок. Истинная плотность цементного камня снижается также по мере увеличения степени гидратации, достигаемой при твердении.

Таким образом, истинная плотность является диагностической характеристикой, позволяющей косвенно судить как о составе портландцемента, так и о степени гидратации, достигаемой при твердении камня. Бездобавочные портландцементы имеют истинную плотность $\rho_{ц} \approx 3,0-3,2 \text{ г/см}^3$.

Определяется истинная плотность с помощью прибора Ле-Шателье, который наполняется обезвоженным керосином до нижней нулевой метки (по нижнему мениску). Цемент перед испытанием выдерживают в сушильном шкафу при температуре 105–110 °С в течение 2 ч и затем охлаждают в эксикаторе. Пробу высушенного цемента массой около 70 г взвешивают с погрешностью не более 0,01 г. Далее порошок всыпают в прибор ложечкой через воронку небольшими порциями до тех пор, пока уровень жидкости в приборе не достигнет одного из делений в пределах верхней градуированной части. Остаток порошка взвешивают. Разность отсчетов между конечным и начальным уровнями жидкости соответствует объему всыпанного порошка $V \text{ (см}^3\text{)}$. Истинная плотность $\rho, \text{ г/см}^3$, вычисляется по формуле

$$\rho = \frac{m_1 - m_2}{V},$$

где m_1 – первоначальная масса порошка цемента, г;

m_2 – масса остатка порошка, г.

Для определения истинной плотности цементного камня его надо предварительно измельчить так, чтобы каждая частица не имела внутри себя пор, поскольку для расчета истинной плотности массу материала относят к его объему в абсолютно плотном состоянии (без пор). Поэтому чем выше тонкость измельчения камня, тем точнее будет определение его истинной плотности. Навеску цементного камня надо высушить в сушильном шкафу и затем тонко измель-

чить в фарфоровой ступке. До проведения испытания порошок хранится в эксикаторе.

Результаты эксперимента сводятся в табл. 8.2.

Таблица 8.2

Влияние начального водосодержания цементного геля на истинную плотность цементного камня

| № эксперимента | Испытуемый материал | Первоначальная масса навески m_1 , г | Масса остатка m_2 , г | Объем, занимаемый разностью масс в приборе Ле-Шателье V , мл | Истинная плотность ρ , г/см ³ |
|----------------|---|--|-------------------------|--|---|
| 1 | Портландцемент | | | | |
| 2 | Цементный камень $c (В/Ц)_1 = \dots$ | | | | |
| 3 | Цементный камень $c (В/Ц)_2 = \dots$ | | | | |
| ... | | | | | |

Материал для определения истинной плотности цементного камня получают после разрушения образцов при определении предела прочности при сжатии.

III. Изготовление образцов. Для изучения влияния технологических факторов на структуру и физико-механические свойства цементного камня изготавливают образцы-балочки размером 40×40×160 мм; при этом берут навеску цемента $Ц = 1500$ г, а количество воды $В$ рассчитывают для каждой серии образцов как произведение $В = Ц \cdot K_{нг} \cdot X$, где $X = \frac{В/Ц}{K_{нг}}$, его значение задается преподавателем. Порядок изготовления образцов такой же, как при определении нормальной густоты цементного геля; формы должны быть герметичными и равномерно смазанными. В течение суток образцы хранятся в комнатных условиях, после чего формы распалубливают укладывают образцы по сериям на решетку в ванну с гидравлическим затвором.

Все образцы маркируют и через 28 суток твердения в нормально-влажностных условиях определяют основные физико-механические свойства: среднюю и истинную плотность, пористость, предел прочности при изгибе и сжатии.

Количество проведенных замесов и составы формовочных масс отражают в табл. 8.3.

Таблица 8.3

Характеристики проведенных замесов

| № состава | Расход цемента Ц, г | Расход воды В, мл | Водоцементное отношение В/Ц | $X = \frac{В/Ц}{K_{нг}}$ | Условия твердения |
|-----------|---------------------|-------------------|-----------------------------|--------------------------|-------------------|
| | | | | | |

IV. Порядок испытания образцов цементного камня.

Испытание образцов начинают с определения их средней плотности. Для этого образцы предварительно высушивают при температуре 105–110 °С до постоянной массы m , взвешивают с погрешностью не более 0,1 г. Геометрические размеры образца определяют с помощью штангенциркуля или металлической линейки. Каждую грань измеряют в трех местах. Окончательный размер каждой грани вычисляют как среднее арифметическое трех измерений. Объем подсчитывают по формуле $V = l \cdot b \cdot h$. Зная массу и объем образца, вычисляют его среднюю плотность по формуле $\rho_0 = m / V$.

После определения средней плотности образцов находят предел их прочности при изгибе на машине МИИ-100. Образец помещают в захват так, чтобы плоскости, горизонтальные при формовании, оказались при испытании вертикальными (то есть кладут образец на бок). При разрушении образца электродвигатель отключается автоматически, останавливая счетчик, фиксирующий результат испытания непосредственно в единицах измерения напряжения – кгс/см² (1 кгс/см² = 0,1 МПа). После снятия отсчета машину переключают на обратный ход. Перед следующим испытанием счетчик должен показывать нули.

Полученные после испытания на изгиб шесть половинок балочек испытывают на сжатие на прессе. Для того, чтобы результаты испытаний половинок балочек были сопоставимы, несмотря на разный размер, используют металлические пластинки, через которые нагрузка от плит пресса передается на образец. Площадь поверхности пластинки, соприкасающейся с образцом, равна 25 см^2 . Половинку балочки помещают между двумя пластинками таким образом, чтобы боковые грани, которые при изготовлении балочек прилегали к продольным стенкам формы, находились на плоскостях пластинок, а упоры пластинок плотно прилегали к торцовой гладкой грани образца. Образец вместе с пластинками центрируют на опорной плите пресса. Средняя скорость нарастания нагрузки на образец должна составлять $(5 \pm 1,25) \text{ кН/с}$.

Общую пористость цементного камня Π (%) определяют расчетным путем по предварительно установленной истинной плотности ρ и средней плотности ρ_0 , по формуле

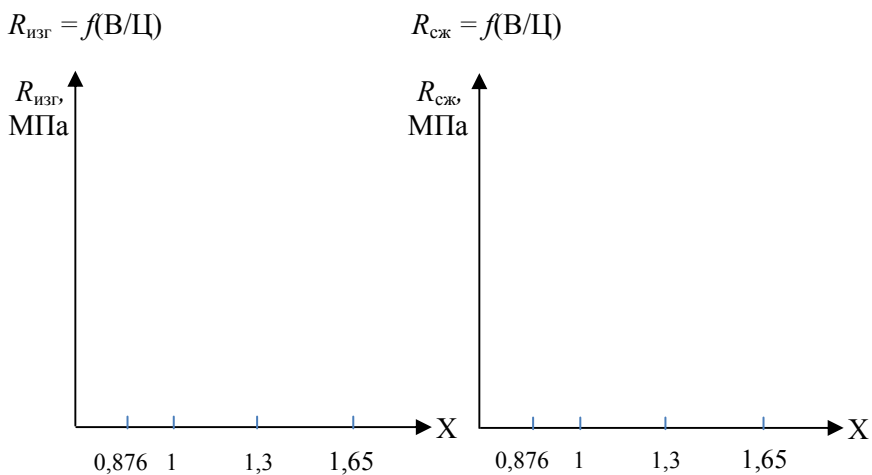
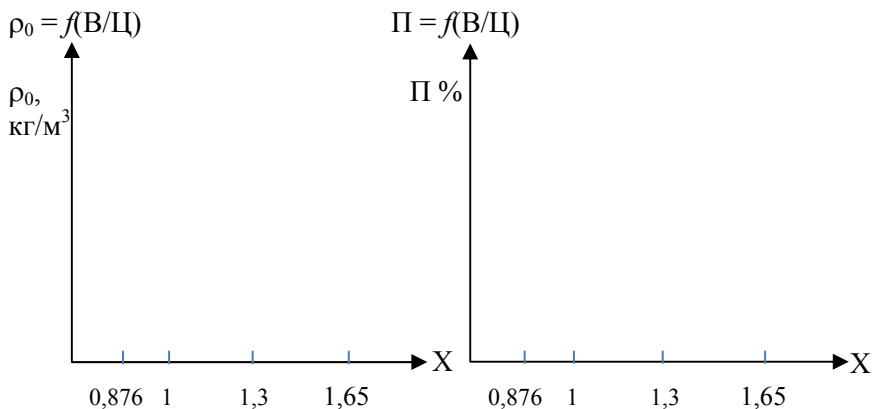
$$\Pi = \left(1 - \frac{\rho_0}{\rho} \right) \cdot 100.$$

Результаты испытаний образцов сводят в табл. 8.4.

Таблица 8.4

| № состава | № образца | Размеры, см | | | Масса m , г | Объем V , см^3 | Плотность | | Пористость Π , % | Предел прочности, МПа | |
|-----------|-----------|-------------|------------|------------|---------------|---------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|
| | | длина l | ширина b | высота h | | | средняя ρ_0 , г/см^3 | истинная ρ , г/см^3 | | при изгибе $R_{из}$ | при сжатии $R_{сж}$ |
| | 1 | | | | | | | | | | |
| I | 2 | | | | | | | | | | |
| | 3 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

По результатам испытания строятся графики следующих зависимостей:



Выводы по работе содержат заключение об изменении структурных и прочностных характеристик цементного камня от величины начального водосодержания цементного геля.

Контрольные вопросы

1. Каким показателем характеризуется водопотребность портландцемента?
2. Какая консистенция цементного геля считается нормальной (стандартной)?

3. От каких технологических характеристик зависит водопотребность портландцемента?
4. Как влияет тонкость помола портландцемента на его водопотребность?
5. Зависит ли водопотребность портландцемента от минералогического состава клинкера?
6. Как влияют на водопотребность портландцемента вид и количество активных минеральных добавок, введенных при помоле клинкера?
7. Как влияют на водопотребность портландцемента пластифицирующие поверхностно-активные вещества?
8. Найти величину общей пористости цементного камня, если доля химически связанной воды в нем составляет 20 %, а величина начального водозатворения цементного геля составляла $(В/Ц) = 0,4$, $\rho_{ц} = 3,1 \text{ г/см}^3$.
9. При гидратации клинкера выделилось 16 % гидроксида кальция. Найти долю алита в клинкере.

Библиографический список

1. Усов, Б. А. Химия и технология цемента: учебное пособие / Б. А. Усов. – М.: Инфра – М, 2016. – 158 с.
2. Дворкин, Л. И. Строительные минеральные вяжущие материалы / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин. – М.: Инфра – Инженерия, 2011. – 544 с.
3. Белов, В. В. Лабораторные определения свойств строительных материалов: учебное пособие / В. В. Белов, В. Б. Петропавловская, Ю. А. Шлапаков. – М.: Издательство АСВ, 2011. – 176 с.
4. Артамонова, М. В. Практикум по общей технологии силикатов: учебное пособие для вузов / М. В. Артамонова, А. И. Рабухин, В. Г. Савельев. – М.: Стройиздат, 1996. – 208 с.
5. СТБ ЕН 196-3-2011. Государственный стандарт республики Беларусь. Методы испытания цемента. Часть 3. Определение сроков схватывания и равномерности изменения объема.
6. Юдина, Л. В. Испытание и исследование строительных материалов / Л. В. Юдина. – М.: Издательство АСВ, 2010. – 232 с.
7. Шмицько, Е. И. Химия цемента и вяжущих веществ: учебное пособие / Е. И. Шмицько, А. И. Крылова, В. В. Шаталова. – СПб.: «Перспектив Науки», 2006. – 206 с.
8. Бутт, Ю. М. Практикум по химической технологии вяжущих материалов / Ю. М. Бутт, В. В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1973. – 503 с.
9. Технологический кодекс установившейся практики. ТКП 45–5.03–137–2009. Изделия из ячеистого бетона. Правила изготовления. – Минск, 2010 – 38 с.

Учебное издание

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

по курсу «Вязущие вещества»
для студентов специальности

1-70 01 01 «Производство строительных изделий и конструкций»

Составитель

ДЗАБИЕВА Людмила Батырбековна

Редактор *В. И. Акулёнок*

Компьютерная верстка *Н. А. Школьниковой*

Подписано в печать 05.06.2020. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 3,64. Тираж 100. Заказ 567.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.