

11. Коваль П.М. Дослідження витривалості зразків арматури класу А500С / П.М. Коваль, І.П. Бабяк // Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій: зб. наук. праць. - Львів: Каменяр, 2005. – Вип. 7. – С. 57 – 62.
12. Лучко Й.Й. Розрахунок фізико-механічних, геометричних та силових параметрів пластичного деформування товстостінних трубчатих з'єднань арматурних стержнів / Й.Й. Лучко // Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій – Л.: Каменяр, 2002. – Вип. 4. - С.112-123.
13. Лучко Й.Й. Оцінка працездатності втулкового з'єднання арматурних стержнів / Й.Й. Лучко, Я.Л. Іваницький, М.М. Гвоздюк // Діагностика, довговічність та реконструкція мостів будівельних конструкцій – Л.: Каменяр, 2003. – Вип. 5. - С.137-143.
14. Лучко Й.Й. Методи оцінки несучої здатності і підвищення тріщиностійкості залізобетонних елементів конструкцій / Й.Й. Лучко // Львів: Слово і комерція, 1997. – 435с.
15. Лучко Й.Й. Міцність, тріщиностійкість та деформативність балок, армованих з'єднаною арматурою. / Й.Й. Лучко // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: зб. наук. праць. - Львів: Каменяр, 2000. – Вип. 4. – С. 371 – 378.
16. Лучко Й.Й. Міцність, тріщиностійкість та деформативність залізобетонних плит, армованих з'єднаною арматурою / Й.Й. Лучко // Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій: зб. наук. праць. - Львів: Каменяр, 2001. – Вип. 3. – С. 148 – 153.
17. Лучко Й.Й. Дослідження арматурного прокату із серповидним профілем / Й.Й. Лучко, І.В. Мельник, С.Т. Штаюра // Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій: зб. наук. праць. - Львів: Каменяр, 2004. – Вип. 6. – С. 82 – 86.
18. Лучко Й.Й. Нові технології і матеріали для арматурних робіт в монолітних залізобетонних конструкціях та спорудах / Й.Й. Лучко // Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій: зб. наук. праць. - Львів: Каменяр, 2007. – Вип. 9. – С.12–25.
19. Лучко Й.Й. Матеріали та балкові зразки, армовані з'єднаною арматурою для дослідження втомної міцності / Й.Й. Лучко, І.І. Вергун, С.М. Сендерський // Діагностика, довговічність та реконструкція мостів і будівельних конструкцій: зб. наук. праць. - Львів: Каменяр, 2006. – Вип. 8. – С.78–83.
20. Мадатян С.А. Арматура железобетонных конструкций / С. А. Мадатян - М.: Воентехлит, 2000. – 256 с.
21. Методичні рекомендації з проектування та технології виготовлення залізобетонних конструкцій армованих стержнями, що з'єднані обтиснутими втулками / Й.Й. Лучко, В.В. Гембара, Я.Л. Іваницький і ін. // Львів: ФМУ ім. Г.В. Карпенка НАН України, 2004. – 27 с.
22. Методологічні аспекти з'єднання арматури обтиснутою втулкою / Й.Й. Лучко, Я.Л. Іваницький, М.Д. Куцигін, Ю.М. Беклемішев // II Міжнародний симпозіум „Механіка і фізика руйнування будівельних матеріалів та конструкцій - Львів, 1996. - С 347-349.
23. Несварные обжимные стыки арматуры в железобетонных конструкциях / Н.Г. Матков, Э.А. Балочик, В.Н. Тубин, Лютиков А.В., // „Бетоны и железобетоны”, № 4. - 2003. - С.6-10.
24. Новая горячекатаная свариваемая арматура класса А500С / С.А. Мадатян, В.В. Дегтярев., Л.А. Зборовский и др.// Бетон и железобетон. 2001. – № 6. –

- С.12-14.
25. Прочность и деформативность опрессованных растянутых соединений арматуры / С.А. Мадатян, В.В. Дегтярев, Б.Н. Фридлянов и др. // Бетон и железобетон. - 2004. - №3. - С. 13-17.
26. Рекомендации по применению в железобетонных конструкциях термомеханически упрочненной свариваемой стержневой арматуры новых видов. - ГНЦ «Строительство». НИИЖБ. - М.: 1997, - 16 с.
27. Самокрутов А.А. Ультразвуковая дефектоскопия бетона эхометодом: состояние и перспективы / А.А. Самокрутов, В.Г. Шевалдыкин, В.Н. Козлов //В мире науки.-2002.-№2.-С.6-10.
28. Спосіб з'єднання арматурних стержнів обтиснутих втулкою / Я.Л. Іваницький, Й.Й. Лучко, М.М. Гвоздюк, У.А. Вергун // Проблеми ресурсу і безпеки експлуатації конструкцій, споруд та машин: зб. наук. праць. - 2006. – С.435 – 439.
29. Шешенин С.В. О прикладных итерационных методах / С.В. Шешенин, И.С. Кузь //Вычислительная механика деформируемого твердого тела – Москва, 1990. – Вып.1. – С.63-75.
30. Шешенин С.В. Применение вариационно-разностного метода к осесимметричным задачам теории упругости / С.В. Шешенин, И.С. Кузь // Упругость и неупругость. – Москва, 1987. – С.39-44.
31. James R. Cagley and Richard Apple. Comparing costs - butt splices versus lap splices// Concrete International. -July 1998. - pp. 55-56.
32. Mechanical connection of reinforcing bars // ACI Structural Journal, - V.88, – № 2. – 1991.
33. Kus S. Zaciskane zlacza tulejowe pretow zbrojenia / Stanislaw Kus, Jerzy Lukaszynski //Inzynieria i budownictwo.-#10. – 1992.- str.363-366.

УДК: 666.9: 691.511: 691.316

ПРИНЦИПЫ ФОРМИРОВАНИЯ СТРУКТУРЫ ПОРТЛАНДИТОВЫХ СИСТЕМ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИХ УГЛЕКИСЛЫМ ГАЗОМ

к.т.н., доц. Н.В. Любомирский

Национальная академия природоохранного и курортного строительства

Современные тенденции оптимального сочетания экологичности и экономичности при получении готовой продукции затрагивают все промышленные отрасли, в том числе и строительство. В соответствии с «Киотским протоколом к рамочной Конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата» антропогенные выбросы парниковых газов в эквиваленте диоксида углерода в период с 2008 по 2012 год не должны превышать уровня таких выбросов 1990 г. Источниками наибольших выбросов CO₂ в строительной индустрии является энергоемкое производство цемента – основного материала для получения искусственного строительного камня. Снижение расхода цемента и переход на менее энергоемкие может значительно уменьшить загрязнение атмосферы углекислым газом.

Для решения глобальных экологических проблем, а также ресурсосбережения на современном этапе не достаточно оптимизировать традиционные процессы структурообразования материалов, необходимо разрабатывать новые «прорывные» направления и принципы получения бесцементных искусственных строительных изделий и материалов. В такой

постановке перспективным является изучение вопросов формирования искусственного портландитового камня на основе альтернативных подходов к организации процессов твердения кальциевой извести – карбонизации изделий в среде углекислого газа. Реализация этой идеи позволит на 2/3 утилизировать выделяющийся при обжиге углекислый газ, используя его в качестве основного сырьевого компонента.

Карбонизацию извести всегда считали вторичным процессом твердения известковых растворов. При взаимодействии с окружающей средой процесс карбонизации извести протекает очень медленно, на протяжении многих столетий. Это связано с низкой концентрацией CO_2 в воздухе и образованием блокирующей пленки карбоната кальция на поверхности частиц извести. О роли карбонизации в процессе твердения известково-песчаных растворов существуют различные мнения. V. Rodt [1], например, считает значение карбонизации в процессах твердения небольшим. Выдержанный им в течение 4-х недель образец известково-песчаного раствора содержал всего лишь 0,03 % углекислого газа (по объему), находившегося только в поверхностном слое образца.

Высказывалось мнение о том, что карбонизация влияет на твердение известково-песчаных растворов уже в начальном периоде [2, 3]. N. Zalmanoff [4] считает, что для того, чтобы химическая реакция карбонизации гидроксида кальция проходила с более высокой скоростью, действию реакции следует подвергать большую величину поверхности известкового теста. При этом следует обеспечить доступ CO_2 к поверхностям взаимодействия углекислого газа и извести путем постоянного удаления воды затворения и воды, выделяющейся в результате реакции.

Разные мнения существуют о природе и структурообразовании продукта искусственной карбонизации извести. Д. Менделеев [5] отмечает студенистую форму карбоната кальция, получаемого в начальной стадии карбонизации, химический состав которого не вполне ясен. В. Kosman [6] и Fuks [7] полагают, что продукт карбонизации в начальной стадии представляет собой гидрооксикарбонат $\text{CaCO}_3 \cdot n\text{Ca}(\text{OH})_2$. Н. Михайлов [8] указывает, что продукты твердения при карбонизации извести относятся к типу коллоидов с кристаллизацией в виде карбоната субмикроскопической величины.

Из анализа литературных источников видно, что нет однозначного мнения о роли карбонизационного периода в твердении извести, о структурообразовании кристаллов кальцита и химических процессах перехода $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в CaCO_3 . Процесс получения искусственного камня CaCO_3 путем карбонизации известкового теста зависит главным образом от концентрации CO_2 , влажности формуемой смеси и температуры протекания процесса, оптимизировать которые довольно сложно из-за не изученности процесса.

Причиной, мотивирующей активизацию исследований закономерностей карбонизации извести является широкое распространение и доступность сырья для производства извести, что позволяет при минимальных затратах денежных средств легко осуществлять повсеместное развитие производства материалов на ее основе с твердением изделий без применения сложного автоклавного оборудования. Новые данные о возможности организации безавтоклавного производства водостойких изделий на основе известковых

систем представляют большой интерес для строительства и промышленности строительных материалов.

Целью настоящей работы является обоснование принципов формирования структуры материалов на основе извести карбонизационного твердения путем установления закономерностей структурообразования и фазовых превращений в портландитовых системах при обработке их углекислым газом.

Для изучения процессов структурообразования известковых систем при карбонизации изготавливали образцы-цилиндры диаметром 30 мм, полученные контактным формованием структуры известкового теста с различной влажностью формовочной смеси (W) 15 – 25 % мас. при удельном давлении прессования (P) 5 – 25 МПа. Образцы изготавливали из извести, полученной при гашении извести-кипелки, активность которой составляла 68 %. Состав извести-пушенки, определенный по данным химического анализа и ДТА представлен в табл. 1 и 2.

Таблица 1

Химический состав извести-пушенки, % мас.

| SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | CaO | MgO | MnO | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O ₅ | SO ₃ | CO ₂ | H ₂ O ⁺ |
|------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------|------|------|------|------------------|-------------------|-------------------------------|-----------------|-----------------|-------------------------------|
| 2,1 | 1,2 | 0,4 | < 0,05 | 71,2 | 0,59 | 0,02 | 0,16 | 0,08 | 0,05 | 0,15 | 3,73 | 20,3 |

Таблица 2

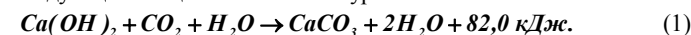
Состав извести-пушенки (по данным ДТА), % мас.

| Ca(OH) ₂ | CaCO ₃ | H ₂ O | Остальное |
|---------------------|-------------------|------------------|-----------|
| 86,00 | 7,00 | 3,00 | 4,00 |

Продукты реакции карбонизации известкового теста изучали с помощью методов дериватографического анализа и электронной сканирующей микроскопии. Дериватографический анализ проводили на дериватографе Q – 1500D с одновременной съемкой четырех кривых: интегральной кривой нагревания (Т), дифференциальной кривой нагревания (ДТА), кривой изменения массы (ТГ), дифференциальной термогравиметрической кривой (ДТГ), по которым определяли тепловые эффекты, сопровождающие фазовые превращения и химические реакции. Режимы анализа следующие: диапазон 0 – 1273 К; чувствительность Т – 1000, ТГ – 500, ДТГ – 1/15, ДТА – 1/15; скорость подъема температуры 10 град/мин; время нагрева – 6000 с. Электронную сканирующую микроскопию выполняли на микроскопе РЕММА-102-02, SELMI.

Опытные образцы карбонизировали в среде CO_2 с поддержанием постоянной 100 %-ной концентрации газа.

Карбонизация гашеной извести является гетерогенной реакцией, в которой твердая, жидкая и газообразная составляющие участвуют вместе, и описывается следующим общим химическим уравнением:



Согласно химическому уравнению реакции карбонизации гидроксида кальция и разнице молекулярных масс $\text{Ca}(\text{OH})_2$ и CaCO_3 масса твердого осадка CaCO_3 ,

в случае полной карбонизации известкового теста, должна быть больше в $K = 100/74 = 1,35$ раз. Следовательно, по приросту массы, т.е. по отношению фактической массы опытных карбонизированных образцов к теоретически возможной массе образцов при полной их карбонизации можно определить степень и полноту искусственной карбонизации известкового теста (рис. 1).

Некоторые расчетные показатели степени карбонизации представлены на рис. 1. Показатель степени карбонизации 100 % свидетельствует, что в исследуемой системе процесс образования CaCO_3 не в полной мере происходит по схеме, описываемой уравнением (1), а проходит в несколько стадий с образованием различных промежуточных соединений.

Исследование продуктов карбонизации известкового теста показал, что термограммы проб исследуемых образцов (рис. 2) имеют три явно выраженных эндотермических эффекта. Первый эндотермический эффект в диапазоне температур 190 – 310 °С. Термоэффекты в данном интервале температур, как правило, характеризуют удаление кристаллизационной воды из вещества. Второй эндотермический эффект при 520 – 540 °С отражает содержание Ca(OH)_2 . Третий значительный по площади эндотермический эффект при температуре 900 °С соответствует разложению карбоната кальция.

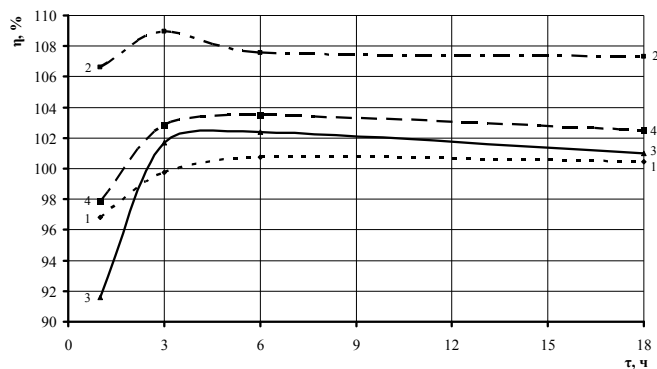


Рис. 1. Показатели степени карбонизации образцов с течением времени в зависимости от начальной влажности известкового теста и удельного давления прессования: 1, 2 – $P = 5$ МПа, $W = 15$ и 25 % мас.; 3, 4 – $P = 20$ МПа, $W = 15$ и 25 % мас.

Анализируя величину эндотермических эффектов (см. рис. 2), видно, что с увеличением продолжительности карбонизации уменьшается содержание Ca(OH)_2 и соответственно возрастает содержание карбоната кальция CaCO_3 .

Поскольку рассматриваемая химическая реакция невозможна без участия воды, вполне логично считать, что образование карбоната кальция происходит, в том числе, и в результате процесса гидратации с образованием гидратных соединений. Согласно теории Le Chatelier основным требованием получения высокой механической прочности является перенасыщение

раствора первичными продуктами, окружающими стабильную часть системы во время ее осаждения. Придерживаясь этой теории можно предположить, что карбонат кальция присутствует в растворе во время реакции в двух формах различной степени гидратации: гидратированный и не гидратированный [4]. С подачей CO_2 в камеру с известковыми образцами углекислый газ вступает в химическую реакцию с известковым тестом и на поверхности зерна Ca(OH)_2 образуется CaCO_3 , который, обладая высокой реакционной активностью, взаимно растворяется в Ca(OH)_2 с образованием гидратированного карбоната $\text{CaCO}_3 \cdot x\text{Ca(OH)}_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$. Растворение CaCO_3 вызывает насыщение по отношению к гидратированному карбонату кальция и одновременно раствор становится перенасыщенным по отношению к преобразованному безводному CaCO_3 . Установившееся временное стабильное состояние в растворе ведет к кристаллизации карбоната кальция и выпадения его в осадок, оставляя раствор ненасыщенным по отношению к гидратированному карбонату кальция. Этот процесс сопровождается выделением свободной воды. Для насыщения системы гидратами карбоната более гидратированный CaCO_3 растворяется и, в конечном итоге, пройдя непрерывный процесс из двух стадий, превращается в заключительный продукт – кристаллический карбонат кальция.

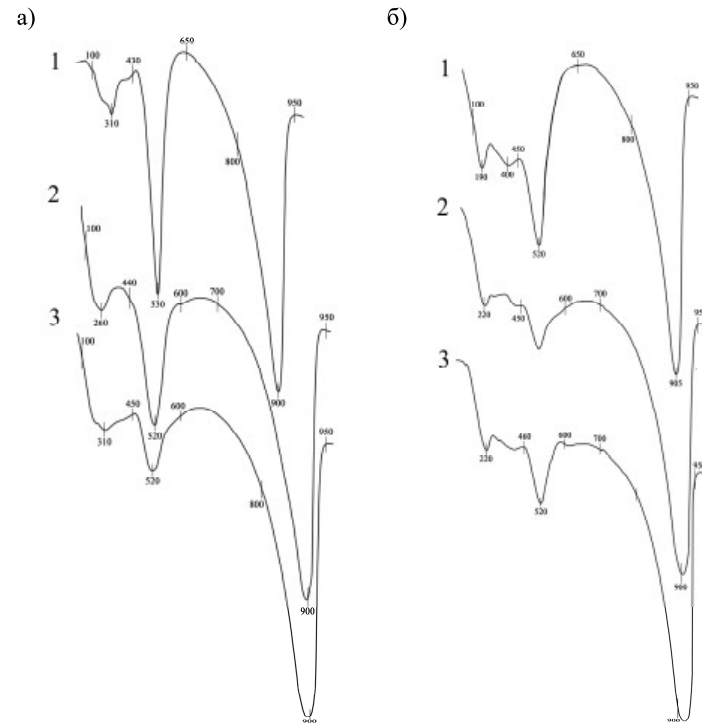


Рис. 2. Термограммы (ДТА) продуктов карбонизации опытных образцов, полученных полусухим формованием из известкового теста влажностью 15 % мас. и удельном давлении прессования 5 МПа (а) и 20 МПа (б), карбонизируемых в течение, ч: 1 – 1; 2 – 6; 3 – 18

Исследование структуры карбонизированных образцов с помощью сканирующего электронного микроскопа (рис. 3) подтверждают выдвинутые предположения.

На микрофотографиях образцов, карбонизируемых непродолжительное время, видно как из пластинчатых кристаллов $\text{Ca}(\text{OH})_2$ возникают гидратные формы карбоната кальция (см. рис. 3, а, б) и игольчатые кристаллы новообразованного CaCO_3 (см. рис. 3, в). Опытный образец, карбонизированный в течение 18 ч состоит кристалликов кальцита скаленоэдрической формы, имеющими различную оптическую ориентировку размером 15-35 мкм (см. рис. 3, г).

Исследование этого процесса показывает, что он имеет природу, противоположную той, которая имеет место в окружении гидратных соединений. Если гидратация других вяжущих веществ влечет трансформацию соединений от низшей степени гидратации к высшей, то среда карбоната характеризуется превращением более гидратированных соединений в менее гидратированные. Это различие между карбонатной средой и средой других известных гидравлических материалов, при которых молекулы воды вступают в химическую реакцию, не мешает определить карбонат-кристаллизацию как «гидравлическая система», так как вода в обоих случаях играет интегрирующую роль и включается в соединения на одной из стадий реакции.

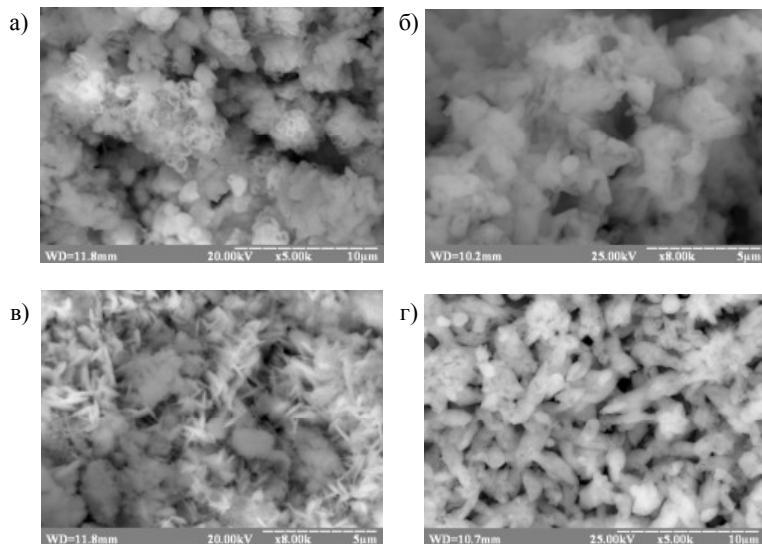
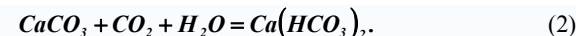


Рис. 3. Микрофотографии известковых образцов в начальной стадии карбонизации (а, б, в) и после карбонизации в течение 18 ч (г)

При увеличенных концентрациях CO_2 во влажном известковом тесте вследствие растворения углекислого газа в воде неизменно будет образовываться угольная кислота, которая, будучи двухосновной, при взаимодействии с гидроксидом кальция может давать две соли: среднюю – карбонат кальция CaCO_3 и кислую – гидрокарбонат кальция $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ [9, 10] по реакции:



Поскольку опыты нами проводились при 100 % концентрации CO_2 , с целью подтверждения предположения образования в изучаемой системе гидрокарбоната кальция, химическим анализом по методике [11] определили возможное содержание данного новообразования в карбонизированных образцах (табл. 3).

Данные химического анализа свидетельствуют об образовании в изучаемой системе гидрокарбоната кальция. Максимальное количество $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ образуется в системе в течение трех часов карбонизации, что и выражается в значительном приросте массы опытных образцов (см. рис. 1). Возможно прозрачные кристаллы, которые видны на рис. 3, а и есть гидрокарбонат кальция. С увеличением продолжительности карбонизации известкового теста количество новообразования $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ снижается.

Таблица 3

Содержание $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ в карбонизированных образцах

| Условия получения образцов | | Содержание $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, %, при карбонизации в течение, ч | | | |
|----------------------------|------|---|------|------|------|
| P, МПа | W, % | 1 | 3 | 6 | 18 |
| 15 | 15 | 35,5 | 38,0 | 36,5 | 32,0 |
| 15 | 22,5 | 32,5 | 40,0 | 25,0 | 22,0 |

Процесс получения вторичного карбоната кальция путем искусственной карбонизации известкового теста при повышенных концентрациях углекислого газа можно представить следующим образом. С подачей углекислого газа в карбонизационную камеру происходит мгновенная карбонизация известкового теста, о чем свидетельствует быстрый рост температуры в камере карбонизации (с 20 до 70 °С). Этот процесс сопровождается обильным выделением воды. Поскольку углекислого газа в избытке часть его растворяется в выделившейся воде, в результате чего образуется угольная кислота, которая, в свою очередь, вступает в химическую реакцию с новообразованным карбонатом кальция и в системе возникает гидрокарбонат кальция, растворенный в воде. Присутствующий в системе гидроксид кальция также растворяется в выделяющейся воде, образуя раствор сильного основания, который по известному уравнению химической реакции снижения жесткости воды нейтрализует гидрокарбонат кальция. Последний разлагается с выпадением карбоната кальция в водонерастворимый осадок:



Определение карбонизированного слоя опытных образцов (рис. 4) и дериватографический анализ материала наружных слоев и центральной зоны карбонизированных образцов свидетельствует о том, что карбонизация известкового материала начинается на поверхности известкового теста постепенно, с течением времени, продвигается вглубь.



Рис. 4. Карбонизированная (неокрашенная область) и не карбонизированная (окрашенная область) слоев на сколах опытных образцов-цилиндров, полученных при P 5 МПа из известкового теста влажностью (слева направо): 15, 17,5, 20, 22,5 и 25 % мас.

По кривым ДТГ и ТГ определяли количественное содержание новообразованного карбоната кальция и гидроксида кальция в карбонизированных опытных образцах. Результаты представлены в табл. 4.

Таблица 4

Содержание карбоната кальция в опытных образцах

| Условия получения образцов | | Содержание CaCO_3 / $\text{Ca}(\text{OH})_2$, % в образцах, карбонизированных в течение | | | | | |
|----------------------------|--------|---|---------------|------------|---------------|------------|---------------|
| W, % мас. | P, МПа | 1 ч | | 6 ч | | 18 ч | |
| | | внеш. слой | центр образца | внеш. слой | центр образца | внеш. слой | центр образца |
| 15 | 5 | 59 / 29 | 64 / 22 | 68 / 21 | 75 / 12 | 77 / 12 | 77 / 12 |
| 15 | 20 | 70 / 18 | 71 / 17 | 80 / 8 | 77 / 12 | 80 / 8 | 75 / 12 |
| 25 | 5 | 73 / 14 | 36 / 50 | 80 / 8 | 75 / 12 | 80 / 8 | 80 / 8 |
| 25 | 20 | 65 / 23 | 10 / 75 | 68 / 21 | 46 / 41 | 71 / 17 | 71 / 17 |

Результаты табл. 4 свидетельствуют, что количество новообразованного CaCO_3 в опытных образцах зависит от влажности известкового теста, а также от удельного давления прессования образцов, т.е. от плотности структуры. Так при минимальной формовочной влажности 15 % с увеличением давления прессования количество карбоната кальция увеличивается. Образцы, полученные при меньших давлениях прессования, имеют большую пористость, быстро высушиваются под действием теплоты, выделяющейся в результате реакции карбонизации, и, как следствие, скорость карбонизации замедляется. У образцов же более плотной структуры влажность в системе сохраняется дольше, а значит, сохраняются благоприятные условия для

карбонизации известкового теста. Подобным образом можно объяснить и повышенное содержание CaCO_3 в центре образца по сравнению с наружным слоем в ранние сроки карбонизации: наружные слои подсыхают быстрее, чем внутренние и граница карбонизации известки перемещается вглубь образца, т.е. туда, где сохраняется необходимая для химической реакции влажность. С увеличением влажности известкового теста до 25 % мас. большее количество вторичного карбоната кальция образуется в образцах с менее плотной структурой. Таким образом, создавая определенные влажностные условия и начальную плотность известковых систем можно направленно управлять структурообразованием искусственного каменного материала на основе известки карбонизационного твердения, добиваясь полной карбонизации известкового теста.

Суммируя содержание карбоната и гидроксида кальция в карбонизированных образцах и, учитывая 4 % мас. примесей, которые содержит исходная известь (см. табл. 1) видно, что в составе опытных образцов содержится порядка 5 – 7 % мас. гидратных карбонаткальциевых соединений. Однако, по данным химического анализа [11] содержание гидрокарбоната кальция в карбонизированных образцах в зависимости от условий получения их составляет от 20 до 40 % мас. Столь большая разница между дериватографическим и химическим анализом свидетельствует, что все гидратные соединения являются нестабильными и легко переходят в кристаллический кальцит, следовательно, могут рассматриваться как промежуточный продукт карбонизационного твердения известковых вяжущих веществ.

Из проведенных теоретических и практических исследований следует, что процесс образования вторичного карбоната кальция при искусственной карбонизации известкового теста неоднозначен и связан с образованием различных промежуточных соединений: гидратированных карбонатов кальция различной степени гидратации и гидрокарбоната кальция. Эти процессы могут протекать в карбонизируемой системе в одно и то же время или чередоваться в зависимости от концентрации углекислого газа, а также наличия в системе свободной воды. Таким образом, структура материала, получаемого из известкового теста карбонизационного твердения, может включать молекулы $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{CaCO}_3 \cdot x\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 \cdot y\text{H}_2\text{O}$ и $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, связанных с карбонатом кальция. Сходство кальцита CaCO_3 и порландита $\text{Ca}(\text{OH})_2$ в смысле их принадлежности к одной и той же кристаллической решетке, предполагает однородность их силовых полей, что влечет повышение прочности карбонизированной системы. Прочность на сжатие опытных образцов после выдерживания их в среде углекислого газа в течение 1 ч превышает прочность образцов до карбонизации в среднем в 3 раза, в течение 3 ч – в 5,5 раза, в течение 6 ч – в 7 раз, в течение 18 ч – в 8,5 раз и достигает 35 МПа в зависимости от начальной влажности известкового теста и удельного давления прессования. Коэффициент размягчения достигает показателя 0,8 – 0,9, что позволяет классифицировать получаемый материал как водостойкий.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Rodt V. Zum Erhartungsproblem des Kalkmortels // Tonindustrie-Zeitung. – 1936. – № 8. – P. 97.
2. Donath. Tonindustrie Zeitung. – 1926. – № 50. – P. 744, 817.
3. Хинт И.А. Твердение известково-песчаных материалов при обычной температуре // Бюллетень научно-технической информации «Силикальцит», Таллин – 1960. – № 5. – С. 59 – 71.
4. Zalmanoff N. Carbonation of Lime Putties To Produce High Grade Building // Rock Products. – 1956. – August. – P. 182 – 186; September. – P. 84 – 90.
5. Менделеев Д.И. Основы химии, 8-е изд., 1906.
6. Kosman B. «Zeitschrift für Electrochemie». – 1920. – № 9/10.
7. Fuks. Tonindustrie Zeitung. – 1940. – № 23.
8. Розенфельд Л. Исследования пенокарбоната. – М.: ЦНИПС, 1955. – № 23. – 51 с.
9. Доронин Н.А. Кальций. – М.: Госхимиздат, 1962. – 191 с.
10. Карапетьянц М.Х. Общая и неорганическая химия. – М.: Химия, 1994.
11. Крёмков А.П. Основы аналитической химии. – М.: Химия. – 1976.

УДК 624.073

ПОВЫШЕНИЕ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ БЕЗБАЛОЧНЫХ ПЕРЕКРЫТИЙ

инж. Марков А.А.

ООО «Настрой» г.Запорожье

Рассматривается усиление поврежденного здания с железобетонным безбалочным монолитным перекрытием, которое нормально эксплуатировалось 35 лет и затем в течение последующих 15 лет только частично использовалось.

Обследуемое здание холодильника на 8 тысяч тонн продуктов 5-этажное с подвалом с размерами в плане 30x50 м. Здание спроектировано в 50-е годы институтом «Гипрохолод». Конструктивная система каркасная с безбалочными перекрытиями. Шаг колонн 6 м, толщина плиты перекрытия 19см, стены кирпичные самонесущие. Сечение колонн круглое Ø720 и 510мм.

Обследование показало, что при эксплуатации из несущих конструкций, в основном, повредились перекрытия. Колонны и капители имеют меньшие повреждения. Перекрытия разрушились местами в нижней части. Удаление слоя пола на 9 участках на всех перекрытиях показало, что кроме слоя асфальта, бетонной стяжки и утеплителя, на плите перекрытия имеется слой битума толщиной 10-20 мм. Этот слой защитил бетон перекрытия от проникновения влаги и воздуха и, соответственно, от карбонизации и коррозии арматуры. Кроме того, при бетонировании защитный слой на верхней грани плиты был выполнен 50-60мм, а в нижней части около 10 мм. Из-за этого арматура в нижней части плиты имела большие повреждения. Рис.1.



Рис.1. Коррозия арматура в нижней зоне плит

Эта работа является продолжением работы, выполненной в 2005г. и ранее опубликованной в 2007г. [1]. Были выполнены обследования, статические расчеты и натурные испытания конструкций, на основании которых допускалась эксплуатация здания при полезной нагрузке на перекрытие 15кН/м².

В 2008 г. Заказчиком была поставлена задача разработать мероприятия, обеспечивающие нормальную работу холодильника при полезной нагрузке на перекрытие 20кН/м². Для выполнения этого задания в 2008 г. были выполнены:

- дополнительные обследования конструкций,
- проанализированы имеющиеся методы усиления конструкций,
- выполнены статические расчеты усиленных конструкций, выявлены особенности работы безбалочных перекрытий,
- разработаны и сопоставлены несколько вариантов усилений перекрытий.

Выполнено освидетельствование конструкций перекрытий и колонн с целью оценки изменения состояния конструкций за 3 года эксплуатации и определены возможности их усиления. При визуальном осмотре фиксировались дополнительные повреждения. Площадь перекрытия с отслоившимся защитным слоем бетона увеличилась на 5%-10%. Наибольшие повреждения отмечены на перекрытиях над третьим и четвертым этажами.

В 9 местах, преимущественно в районе капителей, на площади 700x700мм удален пол для оценки прочности бетона. Уточнен имеющийся состав пола.

Сравнение данных испытаний с испытаниями, проведенными в 2005 г. показывает, что данные для колонн на момент обследования практически не отличаются. Измерение же класса бетона в верхней зоне плит показывает, что