

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ СЕКВЕСТРАЦИИ ДИОКСИДА УГЛЕРОДА

Аннотация. Рассмотрены вопросы глобальных выбросов CO_2 , связанные, в частности, с развитием строительной индустрии. Реновация жилых и промышленных объектов привела к образованию огромных объемов строительных отходов, содержащих цемент на основе соединений кальция, что позволило рассматривать их основными источниками для минерализации CO_2 с преобразованием его в термохимически стабильные карбонаты. Показано, что применение карбонизированных бетонных отходов в качестве вторичного наполнителя значительно улучшает характеристики бетона. Рассчитано теоретическое максимальное поглощение углекислого газа бетонными отходами, образовавшимися при сносе стандартного десятиэтажного жилого здания. Проведены экспериментальные исследования методом термогравиметрического анализа процесса взаимодействия образца CaO с газовыми компонентами, характерными для продуктов сжигания органического топлива, используемого при производстве цемента. Получены данные по температурным режимам взаимодействия CaO с указанными газами-реагентами.

Ключевые слова: карбонизация; отходы строительства; материалы на основе цемента; улавливание CO_2 ; термогравиметрический анализ.

Abstract. The global CO_2 emissions associated, in particular, with the development of the construction industry are considered. Renovation of residential and industrial buildings has led to the formation of huge volumes of construction waste containing cement based on calcium compounds, which allowed to consider them as the main sources for CO_2 mineralization with its conversion into thermochemically stable carbonates. It has been shown that the use of carbonized concrete wastes as a recycled filler significantly improves the characteristics of concrete. The theoretical maximum absorption of carbon dioxide by concrete wastes from the demolition of a standard ten-story residential building has been calculated. Experimental studies have been carried out by thermogravimetric analysis of the interaction of a CaO sample with gas components, characteristic for the products of organic fuels combustion used in cement production. Data on temperature regimes of interaction of CaO with the above reagent gases have been obtained.

Key words: carbonization; construction waste; cement-based materials; CO_2 capture; thermogravimetric analysis.

Углекислый газ считается основным парниковым газом и причиной глобального потепления [1]. Одним из основных источников выбросов углерода является строительная промышленность, на долю которой приходится примерно 33 % соответствующих глобальных выбросов парниковых газов [2]. Выбросы CO_2 в основном образуются на стадии производства строительных материалов (72,89 %), при этом выбросы CO_2 от производства цемента составляют 40,69 % [3].

Быстрое развитие строительной отрасли приводит к увеличению сноса старых бетонных зданий и строительства новых, что требует производства строительных материалов в больших объемах, прежде всего цемента. Отходы, получаемые в результате демонтажа старых зданий, перерабатывают и

используют в качестве наполнителя при производстве бетона. Однако бетоны из вторичного заполнителя имеют ухудшенные физико-механические свойства, что приводит к их более низкой прочности и долговечности [4].

Производство цемента основано на декарбонизации известняка (CaCO_3). Поэтому материалы на основе цемента и, соответственно, отходы сноса зданий характеризуются высоким содержанием CaO и могут рассматриваться в качестве базового материала для минерализации CO_2 с образованием термохимически стабильных карбонатов. При этом по данным [5] применение карбонизированного вторичного наполнителя, полученного из переработанных бетонных отходов, значительно улучшает характеристики бетона. Это связано со следующими факторами. Химический состав цементной пасты изменяется в результате осаждения CaCO_3 , и микроструктура пасты в процессе взаимодействия с CO_2 становится более плотной. Преобладающий размер пор в цементном тесте смещается с 50 нм до размера менее 10 нм. В результате материалы на основе такого цемента после процесса карбонизации имеют улучшенные механические свойства, непроницаемость и долговечность.

Теоретическое максимальное поглощение углекислого газа K_{CO_2} (в масс. %), может быть рассчитано с использованием модифицированной формулы Steinour [6]:

$$K_{\text{CO}_2 \text{ поглощ.}} = 0,785 \cdot (\% \text{CaO} - 0,53 \cdot \% \text{CaCO}_3 - 0,7 \cdot \% \text{SO}_3) + 1,091 \cdot \% \text{MgO} + 0,71 \cdot \% \text{Na}_2\text{O} + 0,468 \cdot (\% \text{K}_2\text{O} - 0,632 \cdot \% \text{KCl})$$

Для определения процента улавливания CO_2 отходами сноса зданий по этой формуле, взяли стандартное десятиэтажное здание с двумя подъездами, вычислили примерный объем бетона для такого здания и его химический состав (в масс. %). Полученные значения для бетона марки М100 приведены на рис. 1.

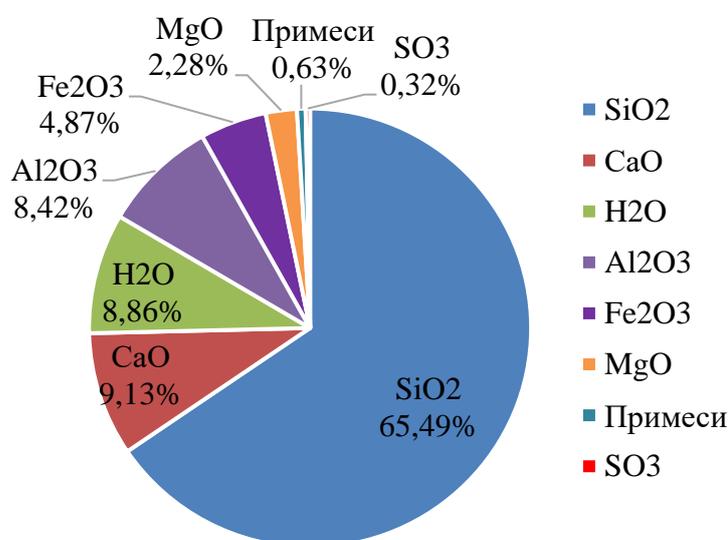


Рис. 1. Диаграмма химического состава бетона М100

Теоретическое максимальное поглощение углекислого газа K_{CO_2} отходами бетона составило 9,48 %, т.е. каждым килограммом отходов будет связано примерно 0,1 кг CO_2 , а всего отходами сноса такого здания (7200 м³) будет

связано в виде карбонатов 1,6 млн кг CO₂. Для отходов из бетона марки М300 каждым килограммом отходов будет связано примерно 0,13 кг CO₂, а всего будет связано в виде карбонатов 2,1 млн кг CO₂.

Экспериментальные исследования процесса карбонизации оксида кальция были проведены с целью изучения взаимодействия CaO с различными газами-реагентами (H₂O, CO₂, N₂). Эксперименты проводились на анализаторе NETZSCH STA 449 F3 методом ТГА, во время разогрева печи весами анализатора фиксировалось изменение массы навески, масс-спектрометром записывался газовый состав образующихся продуктов. Параметры экспериментов приведены в таблице 1.

Таблица 1

Параметры экспериментов карбонизации оксида кальция

| № эксперимента | Масса навески CaO, мг | Состав дутья, % об. | Температурная программа | Скорость нагрева, °С /мин |
|----------------|-----------------------|--|-----------------------------|---------------------------|
| 1 | 30 | 50% N ₂ + 50% H ₂ O | Нагрев до 1000 °С | 20 |
| 2 | 30 | 50% N ₂ + 50% H ₂ O | Нагрев до 650 °С | 20 |
| | | 50% CO ₂ + 50% H ₂ O | Нагрев от 650 °С до 1000 °С | |

Результаты экспериментов представлены на рис. 2 и 3. В эксперименте №1 (рис. 2) процесс гидратации образца CaO проходил в диапазоне 217-465 °С, при дальнейшем нагреве происходил обратный процесс с существенным снижением массы. Дальнейшее снижение массы в диапазоне температур 522-622 °С и незначительное выделение CO₂ связано с разложением примесей, содержащихся в исходном образце CaO.

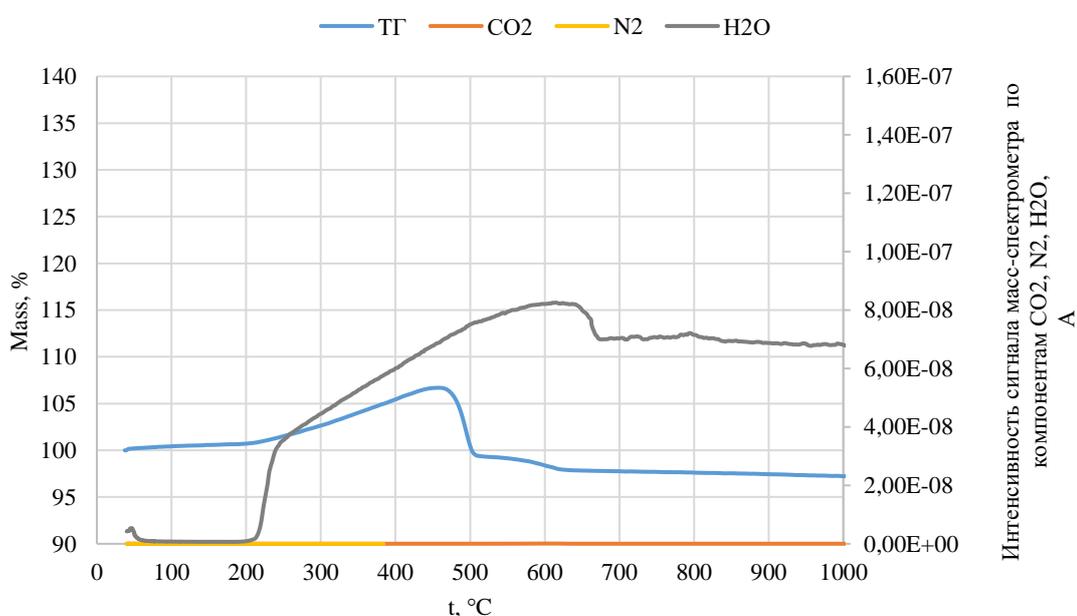


Рис. 2. Данные термического и газового анализа эксперимента №1

Температурная программа эксперимента №2 была аналогичной, но при температуре 650 °С происходило переключение с N₂ на CO₂ в составе дутья. Процесс изменения массы образца (рис. 3) до изменения состава дутья был аналогичен эксперименту №1. После ввода CO₂ начался резкий рост массы за счет процесс карбонизации CaO с образованием карбоната кальция CaCO₃. При достижении температуры 825°С, масса образца снижалась, что связано с разложением CaCO₃.

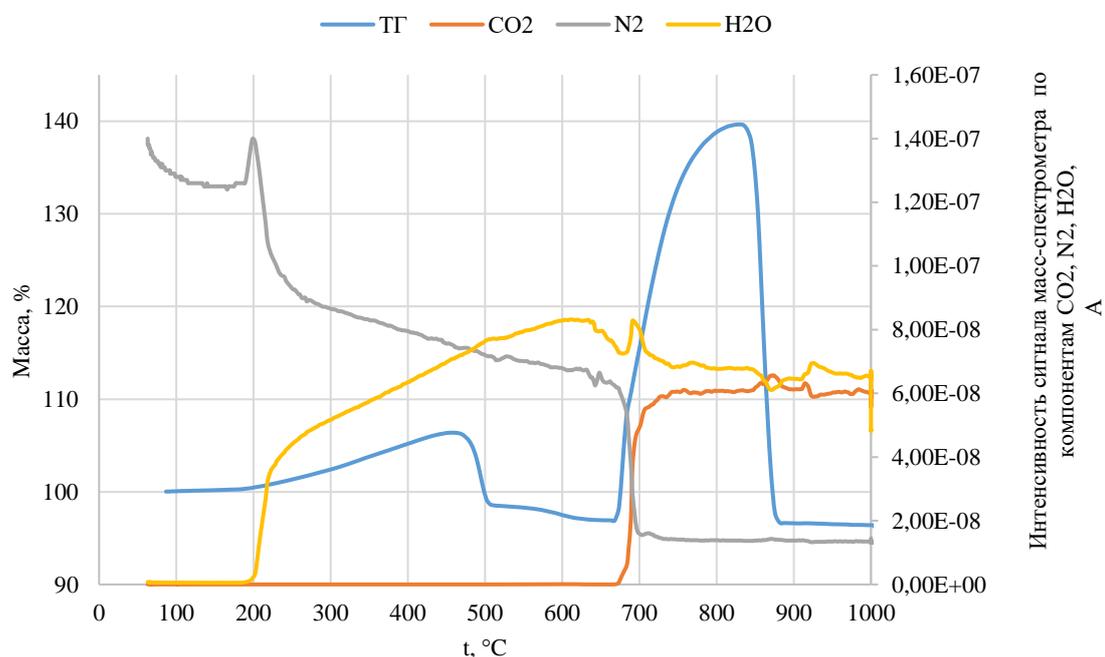


Рис. 3. Данные термического и газового анализа эксперимента №2

Минерализация CO₂ с использованием отходов на основе цемента может быть разработана и применена как экологически безопасная технология, имеющая значительные экономические и экологические преимущества. Кроме того, рассматриваемая технология секвестрации CO₂ может улучшить не только физические свойства переработанных заполнителей и отработанного цемента, но и микроструктуру и эксплуатационные характеристики изготовленных с их использованием бетонов, способствуя тем самым повторному использованию строительных отходов и отработанного цемента в производстве строительных материалов. Применение такой технологии позволит уменьшить углеродный след за счет связывания CO₂, а также сокращения добычи природных строительных материалов.

Список использованных источников

1. Outlook of carbon capture technology and challenges / Т. Wilberforce, А. Baroutaji, В. Soudan, А.Н. Al-Alami, А.Г. Olabi // Science of the Total Environment. 2019. №657. P. 56–72.

2. Life cycle assessment of grocery, perishable and general merchandise multi-facility distribution center networks / J. Burek, D. Nutter // Energy and Buildings. 2018. №174. P. 388–401.

3. Research on the life-cycle CO₂ emission of China's construction sector / Z. Zhang, B. Wang // Energy and Buildings. 2016. №112. P. 244–255.

4. Effect of shrinkage reducing admixture on creep of recycled aggregate concrete / Z.-h. He, H.-b. Hu, I. Casanova, C.-f. Liang, S.-g. Du // Construction and Building Materials. 2020. №254. A. 119312.

5. Utilization of CO₂ curing to enhance the properties of recycled aggregate and prepared concrete: A review / C. Liang, B. Pan, Z. Ma, Z. He, Z. Duan // Cement and Concrete Composites. 2020. №105. A. 103446.

6. A review of mineral carbonation technologies to sequester CO₂ / A. Sanna, M. Uibu, G. Caramanna, R. Kuusik // Chemical Society Reviews. 2014. № 43. P. 8049–8080.

УДК 669.046.44

А. И. Хакимов, Г. В. Воронов, А. Н. Алексеев

ФГАОУ ВО «Уральский федеральный университет

имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», г. Екатеринбург, Россия

ОСНОВНЫЕ ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ 32-Х КАМЕРНОЙ ПЕЧИ ОБЖИГА УГЛЕГРАФИТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Аннотация. Печь предназначена для получения углеграфитовой продукции (УПГ) путем обжига заготовок, при котором содержащийся в заготовках связующий материал превращается в кокс, прочно соединяющий частицы сухой шихты. Благодаря этому обожженные заготовки приобретают механическую прочность и электропроводность. В представленной работе произведен анализ работы существующей печи [1].

Ключевые слова: печь обжига, углеграфитовая продукция, инжекционные горелка, электропроводность, дымовые газы.

Abstract. The furnace is designed to produce carbon-graphite products by firing work pieces, in which the binder contained in the work pieces turns into coke, which firmly binds the dry charge particles. Due to this, the fired work pieces acquire mechanical strength and electrical conductivity. The presented work analyzes the operation of the existing furnace.

Key words: roasting furnace, carbon-graphite products, injection burners, electrical conductivity, flue gases.

Обжиг заготовок происходит при температуре 900 ...1100 °С без доступа кислорода воздуха и при условии, при котором обеспечивается отсутствие деформации заготовок и изделий. Для этого обжиг заготовок производится в печи, заполненной специальной защитной пересыпкой. В качестве пересыпки используется мелкий кусковой антрацит.