

НИЗКОУГЛЕРОДНЫЙ ЦЕМЕНТ НА ОСНОВЕ ТЕРМОАКТИВИРОВАННОЙ ГЛИНЫ И ИЗВЕСТНЯКА

¹Смольская Е.А., sea.smol@yandex.ru; ¹Потапова Е.Н., 55pen@mail.ru, ²Рудомазин В.В.

¹Российский химико-технологический университет имени Д.И. Менделеева,
г. Москва, Российская Федерация, +7-925-858-27-55

²Научно-исследовательский институт «Центр экологической промышленной политики»,
г. Москва, Российская Федерация

В настоящее время на мировое производство портландцемента приходится около 7 % общих мировых антропогенных выбросов CO₂. Для достижения целевого сокращения выбросов CO₂ на 50 %, цементной промышленности необходимо сократить прямые выбросы CO₂ на 24 % к 2050 году [1]. Мировые производители цемента считают, что необходимо переходить на экоустойчивые методы производства. Всемирная ассоциация цемента и бетона (GCCA) объявила о запуске инициативы «Climate Ambition 2050» и обозначила основные пункты программы реализации инициативы [2]. Для успешного перехода к производству «углеродно-нейтрального» бетона цементной промышленности необходимо устранить прямые выбросы CO₂; сократить и устранить косвенные выбросы CO₂; внедрить использование новых технологий декарбонизации на производстве в промышленном масштабе; сократить как содержание клинкера в цементе, так и содержание цемента в бетоне; перерабатывать строительный лом для повторного использования в качестве заполнителя при изготовлении бетона; улучшить способность бетона к поглощению CO₂ на протяжении жизненного цикла; повысить энергоэффективность готовой продукции, что позволит сократить расходы на отопление построенных из такого бетона зданий.

Однако, на сегодняшний день не существует альтернативы портландцементу. Наиболее реалистичным вариантом снижения воздействия на окружающую среду является частичная замена клинкера дополнительными вяжущими материалами (SCM) [3]. Разработка ресурсоэффективных композиционных материалов должна основываться на широком использовании вторичных ресурсов (техногенных материалов) в качестве сырьевых материалов. В настоящее время в качестве SCM используют золу-унос и доменный гранулированный шлак, поставки которых весьма ограничены по сравнению с количеством выпускаемого цементного клинкера. Поэтому существует необходимость поиска альтернативных материалов, которые могут сократить использование клинкера и снизить содержание углерода в цементе и бетоне. И в настоящее время все большее внимание уделяется термоактивированным глинам, поскольку их запасы огромны, а обжиг является относительно дешевым, низкоуглеродистым и простым процессом.

Термоактивированные глины проявляют большую пуццолановую реакционную способность [4], поскольку при термической обработке образуются аморфные оксиды кремния и алюминия, которые реагируют с продуктами гидратации цемента с образованием дополнительного количества гидросиликатов (ГСК) и гидроалюминатов (ГАК) кальция.

Выполненные нами исследования показали, что, помимо каолиновой глины можно использовать глины, содержащие и другие глинистые минералы – монтмориллонит, каолинит, галуазит, иллит и др. [5]. При термической обработке при 650–850 °С данные алюмосиликаты характеризуются также высокой пуццолановой активностью (таблица). Далее глины обжигали при T = 650 °С, так как при данной температуре активность алюмосиликатов максимальная (таблица) – 450 мг/г для каолиновой глины (К), 460 мг/г – для монтмориллонитовой (М), 440 мг/г – для иллитовой (И).

Замена части портландцементного клинкера термоактивированными глинами в количестве 15–30 % приводит к повышению прочностных показателей затвердевшего вяжущего и материалов на его основе. Это позволяет добавить к термоактивированной глине дополнительно минеральные добавки. Наиболее перспективной минеральной добавкой считается молотый известняк.

Таблица 1 – Влияние температуры обжига глин на пуццоланическую активность

Наименование	Температура, °С				
	650	700	750	800	850
	Пуццоланическая активность, мг/г поглощенного Ca(OH) ₂				
Каолинитовая (К) глина	450	430	380	350	310
Монтмориллонитовая (М) глина	460	420	390	360	320
Иллитовая (И) глина	440	410	370	340	305

Установлено, что при добавлении в композицию с термоактивированной глиной 15-25 % карбонатсодержащих материалов, таких как отсев известняка, доломитизированный известняк, мергель – возможно получить цемент, в котором клинкерная составляющая уменьшится до 50 %. При этом прочность такого цемента существенно увеличивается, по сравнению с бездобавочным составом. На рисунке показана прочность портландцемента (на изгиб и сжатие) с различными добавками – как отдельно с термоактивированными глинами (в количестве 25 %), так и в комплексе с карбонатсодержащими добавками (далее - Ca).

Максимальной прочностью на изгиб и сжатие характеризуется состав, содержащий 25 % термоактивированной монтмориллонитовой глины и 25 % известняка – 36,3 МПа на изгиб и 75,3 МПа при сжатии, что в 1,4 раза больше по сравнению с бездобавочным составом (ПЦ).

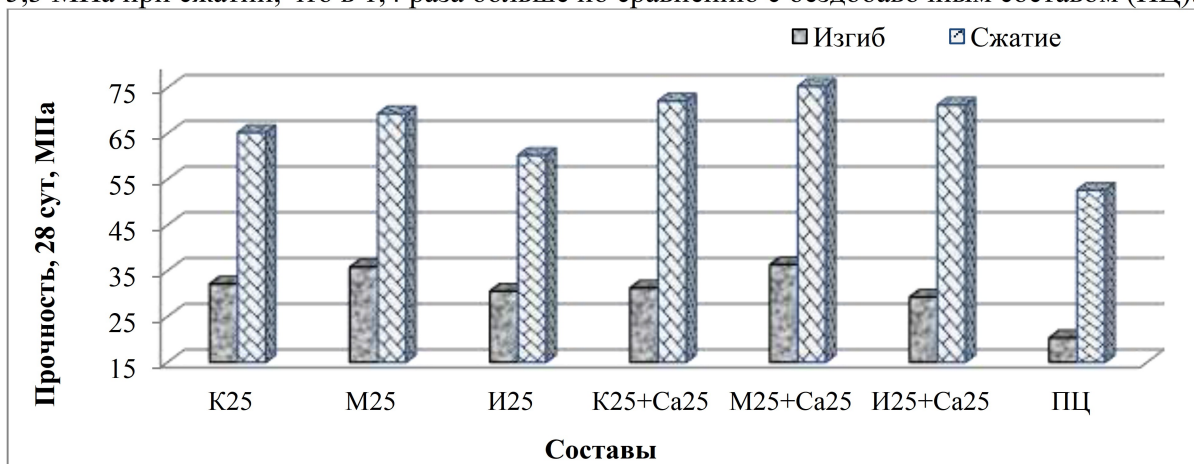


Рисунок – Прочность портландцемент с добавками на 28 сут твердения.

Таким образом, разработанный композиционный цемент, содержащий всего 50 % портландцементного клинкера, можно считать низкоуглеродным цементом, поскольку при его производстве удастся сэкономить около 50 % топлива, и существенно снизить выбросы CO₂.

Список литературы

1. International Energy Agency. Low-Carbon Transition in the Cement Industry // Technology roadmap for cement [Электронный ресурс]. 2018: сайт. – URL: <https://www.iea.org/reports/technology-roadmap-low-carbon-transition-in-the-cement-industry>
2. Overmann, S.; Vollpracht, A.; Matschei, T. Reactivity of Calcined Clays as SCM. A Review. Materials. 2024, 17, 312. <https://doi.org/10.3390/ma17020312>
3. Environment, U.N., Scrivener, K.L., John, V.M., Gartner, E.M. Eco-efficient cements: Potential economically viable solutions for a low-CO₂ cement-based materials industry. Cement and Concrete Research. 2018. 114, 2–26.
4. Dmitrieva E., Potapova E. The effect of heat-treated polymineral clays on the properties of Portland cement paste // Materials Today: Proceedings, 2021. Т. 38, № 4, с. 1663-1668.
5. Korchunov I.V., Dmitrieva E.A., Potapova E.N., Sivkov S.P., Morozov A.N. Resistance of the Hardened Cement with Calcined Clays // Iranian Journal of Materials Science and Engineering, 2022. Т. 19, с. 4.