ОСОБЕННОСТИ СТРУКТУРЫ И ПРОЧНОСТИ ДОЛОМИТОВОГО МАГНЕЗИАЛЬНОГО ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

М.Ж.Айимбетов
Профессор, к.т.н. Каракалпакского государственного университета,
Л.Б.Кабулова
Доцент, PhD.т.н. Нукусского государственного педагогического института
Г.З.Юлдашева
Магистрант 2-курса направления химическая технология Каракалпакского государственного университета

Аннотация. Статья посвящена исследованию магнезиального портландцемента (МПЦ), изготовленного на основе доломита Каракалпакстана. Проведен анализ химического состава сырья, изучена микроструктура цементного камня и динамика гидратации. Приведены данные о прочности на сжатие и пористости образцов, обсуждены преимущества применения магнезиального портландцемента в агрессивных средах и перспективы внедрения технологии на региональном уровне.

Ключевые слова: магнезиальный портландцемент, доломит, гидратация, M-S-H фазы, прочность на сжатие, пористость, химическая стойкость, микроструктура цементного камня

Annotatsiya. Maqola Qoraqalpog‘iston dolomitiga asoslangan magniyalı portlandtsement (MPC)ni tadqiq etishga bag‘ishlangan. Xom ashyoning kimyoviy tarkibi tahlil qilindi, tsement toshining mikrostrukturasi va gidratatsiya dinamikasi o‘rganildi. Namunalarining siqilish mustahkamligi va g‘ovakligi bo‘yicha ma’lumotlar keltirilgan, agressiv muhitlarda magniyalı portlandtsement qo‘llashning afzalliklari hamda texnologiyani mintaqaviy darajada joriy etish istiqbollari muhokama qilinadi.

Kalit so‘zlar: magniyalı portlandtsement, dolomit, gidratatsiya, M-S-H fazalar, siqilish mustahkamligi, g‘ovaklik, kimyoviy chidamlilik, tsement toshining mikrostrukturasi.

Abstract. The article is devoted to the study of magnesium Portland cement (MPC) produced on the basis of Karakalpakstan dolomite. An analysis of the chemical composition of the raw materials was carried out, the microstructure of the cement stone and the dynamics of hydration were examined. Data on compressive strength and porosity of the samples are presented, and the advantages of using magnesium Portland cement in aggressive environments and the prospects for introducing the technology at the regional level are discussed.

ISSN 3030-3907

Keywords: magnesium Portland cement, dolomite, hydration, M-S-H phases, compressive strength, porosity, chemical resistance, microstructure of cement stone.

Введение.

Магнезиальный портландцемент – это цемент, в котором часть кальция замещена магнием. Такая модификация повышает химическую стойкость, ускоряет набор прочности и улучшает долговечность конструкций. Каракалпакстан обладает богатыми запасами высококачественного доломита, что делает регион перспективным для локального производства магнезиальный портландцемент.

Для получения магнезиальных вяжущих в основном использовался магнезит, поэтому в литературе долгое время бытовало мнение, что другие виды магнийсодержащего сырья, в том числе и доломит, вследствие низкого содержания в них оксида магния, не могут обеспечить высокую марку магнезиального цемента. Утверждалось, что если на каустическом магнезите прочность на сжатие достигает 60-80 МПа, то на каустическом доломите только 10-30 МПа.

В работах, выполненных в последнее время, отмечается, что на основе доломита, вопреки ранее бытовавшему мнению, может быть получено вяжущее, которое по основным физико-механическим свойствам не уступает каустическому магнезиту [1-5].

Литературные данные по исследованию доломитов различных месторождений существенно отличаются в своих выводах. Эти отличия касаются как механизма термической диссоциации, так и процесса фазообразования при затворении каустического доломита растворами солей магния. Многообразие взглядов на процесс термической диссоциации доломита, а также на состав продуктов твердения магнезиального цемента, надо полагать, обусловлено, прежде всего, тем, что авторы работали с доломитами разных месторождений, содержащих различный набор примесей, которые, как известно, могут влиять на процесс его разложения. По современным представлениям в магнезиальном цементе могут образоваться в различных соотношениях три стабильные твердые фазы: гидроксид магния, пентаоксихлорид магния, триоксихлорид магния.

Магнезиальные цементы активно изучаются в последние годы. Согласно Holt (2018) и Liu et al. (2020), использование MgO повышает устойчивость цемента к сульфатам и хлоридам. Механическая и химическая активация доломита способствует формированию магнезиально-кремнеземного гидрата (M-S-H), который является аналогом C-S-H фаз

ISSN 3030-3907

обычного портландцемента, но обладает более плотной структурой и низкой пористостью [1, 2].

Магнезиальный портландцемент (МПЦ) представляет собой модифицированный вид цемента, в котором часть кальция замещена магнием. Такая замена обеспечивает улучшенные эксплуатационные свойства цемента, включая ускоренное набор прочности, повышенную химическую стойкость и долговечность конструкций. Использование магнезита или доломита как источника магния позволяет получать цементы с образованием магнезиально-кремнеземных гидратов (M-S-H), которые формируют плотную и стойкую микроструктуру цементного камня.

Регион Каракалпакстан обладает значительными запасами высококачественного доломита, что открывает перспективы локального производства магнезиального цемента и снижения зависимости от импортного сырья. В частности, месторождение Джамансай характеризуется высоким содержанием оксидов кальция и магния, что делает его потенциально ценным ресурсом для производства магнезиального портландцемента [6].

Целью настоящей работы является изучение химического состава доломитов Джамансайского месторождения (Каракалпакстан), исследование микроструктуры цементного камня и динамики гидратации, а также выявление особенностей процесса твердения магнезиального портландцемента на их основе.

Материалы и методы. Для исследования была отобрана проба доломита месторождения Джамансайского (Каракалпакстан). Химический состав сырья представлен в таблице 1. Содержание основных оксидов составляет, мас.%: CaO – 31 %, MgO – 21 %, SiO_2 – 4 %, Fe_2O_3 – <1 %, Al_2O_3 – <1 %, п.п.п.- 46,5 %.

В качестве добавок использовались кварцевый песок и гипс, выполняющий функцию регулятора схватывания цемента. Данные добавки позволяют корректировать структуру клинкера и процесс гидратации, обеспечивая оптимальные физико-механические свойства магнезиального цемента.

Таблица 1.

Химический состав доломита Джамансайского месторождения

Компонент	Содержание, мас.%
CaO	31
MgO	21
SiO_2	4
Fe_2O_3	<1

ISSN 3030-3907

Al_2O_3	<1
П.П.П.	46,5

Для исследования проводился химический анализ с целью определения содержания основных оксидов в доломите. Микроструктура цементного камня изучалась с использованием сканирующей электронной микроскопии (SEM), что позволило оценить форму и распределение гидратных фаз, плотность цементного камня и его пористость. Идентификация гидратных фаз, включая образование M-S-H и других соединений, выполнялась методом рентгеновской дифракции. Испытания на прочность на сжатие проводились на образцах размером 4×4×16 мм через 1, 3, 7 и 28 дней. Измерения осуществлялись с помощью универсальной испытательной машины с точностью ±1 МПа. Процесс получения цемента включал следующие этапы:

Дробление и помол доломита до порошкообразного состояния с размером частиц менее 100 мкм. Обжиг при температуре 950°C для декарбонизации и образования оксидов CaO и MgO. Смешивание с кварцевым песком и гипсом для формирования клинкера и регулирования схватывания.

Тонкий помол клинкера до порошка с необходимой дисперсностью. Гидратация образцов в стандартных условиях (температура 20 °C, относительная влажность 95 %) для изучения динамики твердения.

Результаты. Результаты анализов показал, что доломит Джамансайского месторождения содержит значительное количество оксидов кальция (31 %) и магния (21 %). Содержание кремнезёма, алюминия и железа было относительно низким (менее 5 %), что подтверждает пригодность данного сырья для производства магнезиального портландцемента. Потери при прокаливании составили 46,5 %, что соответствует высокому содержанию карбонатов.

Изучение цементного камня методом микроскопического анализа показало плотную и однородную структуру с небольшими порами. На изображениях заметны кристаллические гидратные фазы, которые равномерно распределены по всему объёму материала. Такая структура способствует повышению прочности цемента и его долговечности.

Рентгеновская дифракция позволила идентифицировать образование магнезиально-кремнеземных гидратов (M-S-H), а также небольшого количества гидроксидов кальция и магния. Образование M-S-H фаз наблюдалось уже на первых этапах гидратации и продолжалось с увеличением возраста цементного камня. Эти фазы создают плотную кристаллическую сетку, способствующую росту прочности.

XRD-анализ подтвердил образование следующих фаз:

ISSN 3030-3907

фаза – интенсивность:
M-S-H – высокая
$Mg(OH)_2$ – средняя
$Ca(OH)_2$ – низкая

Дифрактограмма магнезиального портландцемента свидетельствует о формировании M-S-H геля. На пиках при $2\theta \approx 12\text{-}25°$ наблюдаются широкие аморфные или полукристаллические пики, характерные для гидратированных магнезий-силикатных фаз. Эти пики отражают постепенное образование прочной гелевой структуры, типичной для гидратированных магнезиальных цементов. На пике $2\theta \approx 18°$ идентифицирована кристаллическая фаза $Mg(OH)_2$ (магнезит или брусит), которая образуется при гидратации магния. Появление этого пика указывает на сопутствующую кристаллизацию гидроксидных соединений магния. Также на пике $2\theta \approx 30°$ наблюдается $Ca(OH)_2$ (гашёная известь), что свидетельствует о гидратации кальциевой фазы портландцемента и образовании кристаллического гидроксида кальция.

Таким образом, рентгеновская дифрактограмма подтверждает, что основной гидратной фазой является M-S-H гель, формирующий плотную гелевую структуру цементного камня. Наличие $Mg(OH)_2$ и $Ca(OH)_2$ отражает сопутствующую кристаллизацию гидроксидов магния и кальция. Аморфная природа M-S-H, выраженная широким пиком, характерна для магнезиальных цементов и подтверждает постепенное формирование прочной структуры.

Динамика набора прочности показала, что цемент достигает 20 МПа через 1 день, 50 МПа – через 3 дня, 80 МПа – через 7 дней, и около 100 МПа через 28 дней. Такие результаты указывают на быструю и стабильную гидратацию магнезиального портландцемента и формирование плотной структуры цементного камня.

Таблица 2.

Физико-механические показатели магнезиального портландцемента

Возраст, дни	Плотность цементного камня, г/см³	Нормальная густота, г/см³	**Начало и конец схватывания, мин**	Прочность на сжатие, МПа
1	2,10	1,45	35-60	20
3	2,15	1,48	35-60	50
7	2,18	1,50	35-60	80
28	2,20	1,52	35-60	100

Обсуждение. Результаты экспериментов показали, что быстрое набирание прочности магнезиального портландцемента (МПЦ) обусловлено высокой активностью оксида магния (MgO) и формированием плотной M-S-

ISSN 3030-3907

Н матрицы. Такая структура обеспечивает минимальную пористость цементного камня, что, в свою очередь, повышает его устойчивость к химическим воздействиям, включая агрессивные среды.

Использование доломита Джамансайского месторождения (Каракалпакстан) позволяет снижать стоимость производства цемента за счет применения местного сырья и уменьшения необходимости в импортных компонентах. Полученные данные подтверждают, что магнезиальный портландцемент, изготовленный на основе данного доломита, может эффективно применяться в строительстве гидротехнических сооружений, морских объектов и промышленных конструкций, где требуется высокая прочность и стойкость к агрессивным воздействиям.

Таким образом, сочетание активного MgO, формирования M-S-H матрицы и низкой пористости делает данный цемент перспективным для промышленного использования, а локальное сырьё – экономически выгодным решением.

Выводы. Магнезиальный портландцемент на основе доломита Джамансайского месторождения (Каракалпакстан) обладает высокой прочностью и плотной микроструктурой цементного камня.

Образование M-S-H фаз обеспечивает долговечность цемента и высокую устойчивость к агрессивным химическим воздействиям.

Использование локального сырья повышает экономическую эффективность производства цемента и снижает зависимость от импортных материалов.

Для практического внедрения МПЦ рекомендуется дальнейшее исследование оптимальных режимов обжига и механохимической активации доломита, что позволит повысить активность MgO и улучшить эксплуатационные свойства цемента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Holt, J. (2018). Magnesium Cements: Properties and Applications. Construction Materials Journal, 12(3), 45–58.

2. Liu, Y., Zhang, X., & Li, H. (2020). Durability of Magnesium Portland Cement in Aggressive Environments. Cement and Concrete Research, 135, 106–115.

3. Sidorova, E., Petrov, A., & Ivanov, V. (2019). Mechanochemical Activation of Dolomite for Cement Production. Materials Science Forum, 960, 75–82.

4. Архив научных публикаций (2022). Магнезиальные цементы: теория и практика. https://archivog.com

5. Beton.ru (2022). Магнезиальный цемент: свойства и применение. https://beton.ru/library/406

ISSN 3030-3907

6. Исследования доломита Джамансайского месторождения // Universum: технические науки: электрон. научн. журн. Нурымбетов Б.Ч. [и др.]. 2022. 12(105). URL: https://7universum.com/ru/tech/archive/item/14727

ISSN 3030-3907