

УДК 666.9.022.3

СТЕНОВЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПОЛУСУХОГО ПРЕССОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ГРАНУЛИРОВАННЫХ ИЗВЕСТНЯКОВЫХ ОТХОДОВ КАМНЕДОБЫЧИ

Макарова Е.С., Елькина И.И., Федоркин С.И., Алимов О.У.

ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им В.И. Вернадского»,
Институт «Академия строительства и Архитектуры»,
Республика Крым, г. Симферополь, ул. Киевская, 181,
E-mail: k.makarova11@mail.ru

Аннотация: настоящая статья посвящена исследованию процессов грануляции сырьевых смесей из известняковых отходов камнедобычи и портландцемента и получению на их основе стеновых материалов методом полусухого прессования. Определены оптимальные влажностно-временные параметры изготовления гранул, изготовлены лабораторные образцы стеновых материалов из гранулированных смесей с различным содержанием портландцемента. Установлено, что предел прочности на сжатие образцов из гранулированного сырья на 3-12% превышает прочность образцов из негранулированных сырьевых смесей.

Предмет исследования: стеновые материалы полусухого прессования на основе гранулированных известняковых отходов камнедобычи.

Материалы и методы: Для исследования были применены отходы нуммилитового известняка из месторождения Скалистое (Крым) и портландцемент ПЦ 500 ДО от Новороссийского цементного завода. Физико-механические свойства опытных образцов определяли по стандартным методикам.

Результаты: Эксперименты показали, что прочность при сжатии образцов, изготовленных из гранул с содержанием 5-15% портландцемента и 85-95% отходов камнедобычи, превышает прочность образцов из негранулированного сырья на 3-12%.

Выводы: Применение гранулированных известняковых отходов камнедобычи в качестве основного компонента для производства стеновых материалов методом полусухого прессования позволяет повысить их прочностные характеристики. Добавление портландцемента в определенных пропорциях (5-15%) способствует улучшению прочностных показателей материалов. Дальнейшие исследования могут быть направлены на оптимизацию состава материалов, исследование их долговечности и адаптацию процесса производства к промышленным масштабам.

Ключевые слова: известняковые отходы камнедобычи, портландцемент, гранулирование, полусухое прессование, прочность

ВВЕДЕНИЕ

Особенности геологической истории Крыма определили богатство и разнообразие запасов осадочных пород. Это отложения известняков-ракушечников, нуммилитового, мшанкового, оолитового, рифового, крымбальского и мраморовидного известняка. Все эти породы различаются разнообразием физико-механических свойств. Средняя плотность изменяется от 890 кг/м³ (желтый известняк-ракушечник) до 2700 кг/м³ (мраморовидный известняк), предел прочности при сжатии составляет 0,4 – 182,3 МПа, пористость колеблется от 1,4 до 66%. Все эти разновидности известняков хорошо изучены и описаны [1].

Существующие направления утилизации известняковых отходов достаточно примитивны, неэффективны и не могут заинтересовать предприятия. Поэтому видится иной подход к решению данной проблемы. Необходимо создать технологии, для которых отходы известняка стали бы основным сырьевым материалом, а отвалы – новыми техногенными карьерами.

Одним из эффективных способов многотоннажной утилизации известняковых отходов камнедобычи является получение на их основе стеновых материалов методом полусухого прессования с использованием цементных вяжущих.

Однако полусухое прессование стеновых строительных материалов, таких как кирпич и блоки, из мелкодисперсного сырья является сложной технологической операцией. В процессе полусухого прессования изделий из дисперсного сырья зачастую происходит запрессовка воздуха в материале, что в последующем при снятии нагрузки приводит к возникновению трещин и снижению их прочностных и эксплуатационных свойств. Избежать появления трещин при полусухом прессовании дисперсного сырья можно применяя, например, двухстадийное прессование, но это снижает производительность прессового оборудования.

Повысить качество стеновых материалов и предотвратить появление трещин в материале возможно, также при использовании гранулированного сырья.

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРЕДЫДУЩИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Процесс грануляции дисперсных материалов окатыванием используется во многих отраслях промышленности [2].

Известно [3], что на образование и рост гранул большое влияние оказывает соотношение между жидкой и твердой фазами. В зависимости от содержания жидкости и твердых дисперсных частиц

наблюдаются различные механизмы гранулообразования. При недостаточном количестве влаги, когда жидкость находится только в зоне контакта частиц, преобладающим является механизм разрушения частиц с последующим их взаимным наложением. По мере увеличения содержания влаги происходит заполнение пор, образуется жидкостная сетка в агломерате твердых частиц, объединенных в гранулу. В этом случае агломерирование частиц происходит под действием капиллярных сил сцепления, действующих на поверхности гранул. Когда твердые частицы полностью покрываются влагой, преобладающим является механизм агломерации, при котором происходит соединение гранул одного порядка размеров в агломераты. Таким образом, в грануляторах окатывания при обычной температуре гранулообразование определяется одновременным действием капиллярных сил сцепления и сил поверхностного натяжения.

Большое практическое значение для управления технологическим процессом гранулирования имеет изучение его кинетики. К настоящему моменту опубликовано достаточное количество работ, описывающих изменение размера гранул в зависимости от параметров процесса гранулирования [3-6 и др.].

В настоящее время процессы грануляции дисперсных известняковых отходов камнедобычи, на наш взгляд, изучены недостаточно. Данные по получению стеновых материалов из гранулированного сырья на основе дисперсных сырьевых смесей на основе известняковых отходов и вяжущих в литературных источниках не выявлены.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Целью настоящей работы являлось исследование процессов грануляции окатыванием дисперсных сырьевых смесей на основе известняковых отходов камнедобычи и цемента и изучение возможности получения из гранул прессованных стеновых материалов.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- исследован процесс гранулирования сырьевых смесей и определены оптимальные влажностно-временные параметры;
- изучена зависимость предела прочности образцов из гранулированных и негранулированных сырьевых смесей при различном расходе цемента.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ АНАЛИЗ

Анализируя предложенные различными авторами аналитические и эмпирические уравнения кинетики гранулообразования, для дальнейших

расчетов скорости роста гранул нами выбрано аналитическое уравнение, предложенное в работе [4] с уточнениями, приведенными в работе [3]. Это уравнение получено с учетом физико-механических, тепломассообменных свойств материала и конструктивных размеров барабанного гранулятора:

$$D_k = D_{я}k_{я}(2N - 1) - k\tau, \quad (1)$$

где: $N = \{1 + 9 \ln[2 - \exp(-18a_m^2 V/D_{я}^2)]\}^{1/2}$;
 $V = 0,785 D_6^2 L_6 \Phi r_n (1 - I_p) / G_c (1 + I)$;
 k – кинетический коэффициент истирания гранул (м/с), зависящий от свойств гранулируемого материала;

D_6 – диаметр барабана гранулятора;
 L_6 – длина барабана гранулятора;
 Φ – коэффициент заполнения барабана;
 G_c – производительность гранулятора по сухому продукту;
 τ – время пребывания материала в грануляторе;
 I_p – влагосодержание порошка золы или глины;
 a_m – коэффициент диффузии;
 $D_{я}$ – диаметр частиц ядра;
 D_k – конечный диаметр гранулы;
 r_n – насыпная плотность золы или глины.

Для расчета кинетического коэффициента истирания гранул k использована аналитическая зависимость [2]:

$$K = 10^{-5} (\omega G_c / \sigma_r)^{1/2} \quad (2)$$

где:

ω – угловая скорость вращения гранулятора;
 σ_r – прочность гранул готового продукта.

При заданном гранулометрическом составе исходного материала и требуемом размере гранул готового продукта формула (1) позволяет определить основные габариты гранулятора барабанного типа.

В лабораторных условиях была проведена экспериментальная проверка применимости формулы (1) для расчета скорости роста зольных гранул в лабораторном барабанном грануляторе диаметром 0,5 м и длиной 1 м. При этом использованы известняковые отходы камнедобычи нуммилитового известняка месторождения Скалистое (Крым) (таблица 1). В качестве вяжущего использовали портландцемент Новороссийского цемзавода ПЦ 500 ДО.

Для получения гранул использовали сырьевые смеси из известняковых отходов фракции менее 2,5 мм с содержанием портландцемента 5,10 и 15% (мас.). Из полученных сырьевых смесей прессовали образцы цилиндры высотой и диаметром 5 см при удельном давлении прессования 20 МПа. Для сравнения прессовали образцы из негранулированных сырьевых смесей тех же составов. В 28 суточном возрасте определяли предел прочности образцов при сжатии.

Таблица 1. Гранулометрический состав известняковых отходов камнедобычи
Table 1. Granulometric composition of limestone waste from stone mining

Место образования отходов	Насыпная плотность, кг/м ³	Влажность, %	Содержание фракций (% по массе) размером (мм)							
			Более 40	20-40	10-20	5-10	2.5-5	0.63-2.5	0.315-0.63	0-0.315
Камнерезная машина в карьере	1550	7,4	—	—	1,0	1,2	3,7	19,1	25,0	50,0
Комбайн в горной выработке	1190	8,7	13,4	27,1	24,3	8,8	8,0	5,2	7,2	6,0
Камнерезная машина в горной выработке	1510	8,1	—	—	0,7	0,5	4,5	17,3	23,0	54,0
В отвале вблизи горной выработки	1200	8,5	12,1	24,4	21,9	7,9	7,7	6,4	8,8	10,8

Результаты сопоставления расчетных и экспериментальных данных зависимости диаметра зольных гранул от времени пребывания в

грануляторе приведены на рис. 1 и свидетельствуют об их достаточной сопоставимости (максимальное отклонение не превышает 9%).

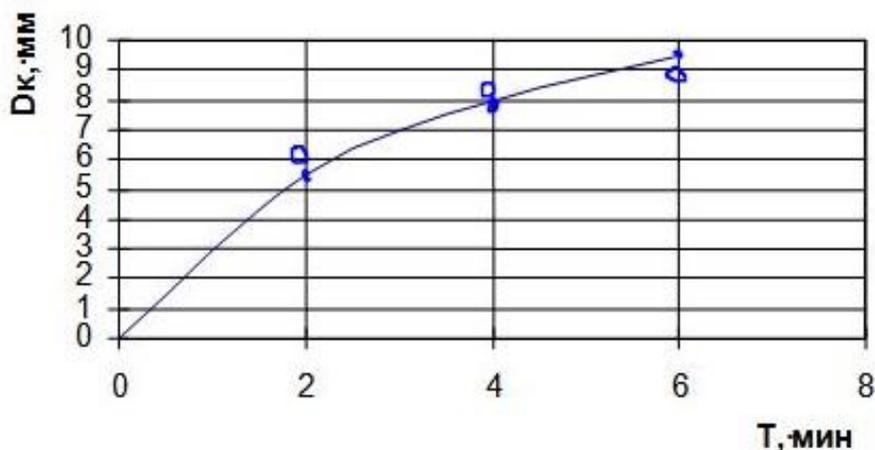


Рис. 1. Зависимость диаметра гранул из известняково-цементных смесей от времени пребывания в грануляторе (• - расчетная зависимость, ° - известняково-цементная смесь)

Fig. 1. Dependence of the diameter of granules from limestone-cement mixtures on the residence time in the granulator (• - calculated dependence, ° - limestone-cement mixture)

Существующий опыт получения гранулированных продуктов, а также анализ уравнения (1) свидетельствуют о том, что основными параметрами, определяющими качество гранул, являются их влагосодержание и длительность пребывания материала в грануляторе. Как известно, для гранулирования методом окатывания характерна очень узкая область оптимальных отношений жидкой и твердой фаз. Влажность материала в грануляторе существенно влияет на выход товарной фракции. Например, при

гранулировании аммофоса, оптимальная влажность материала, соответствующая 75 %-ному выходу товарной фракции, находится в диапазоне от 6 до 7% [3].

Исследование зависимости выхода товарной фракции известняково-цементных гранул (диаметром 5-10 мм) от влажности сырья в грануляторе (рис. 2) показало, что по мере увлажнения сырьевой смеси выход товарной фракции гранул увеличивается.

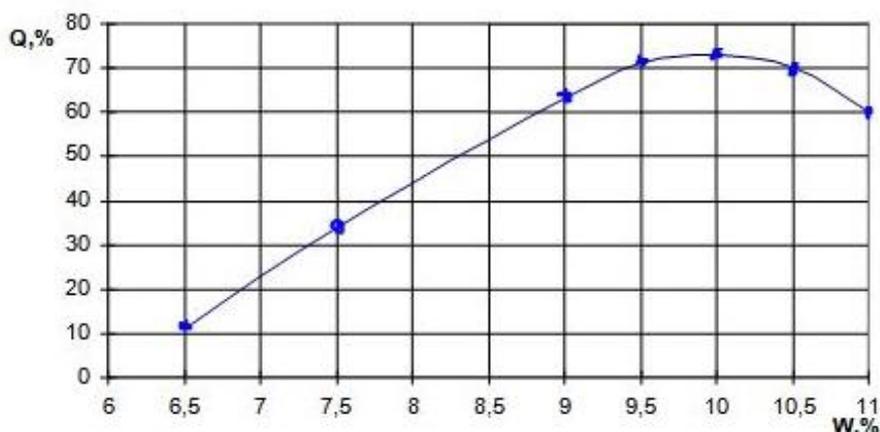


Рис. 2. Зависимость выхода гранул диаметром 5-10 мм (Q) от влажности сырьевой смеси в грануляторе (W).
Fig. 2. Dependence of the yield of granules with a diameter of 5-10 mm (Q) on the moisture content of the raw material mixture in the granulator (W).

Максимальный выход гранул (65-73%) фракции диаметром 5-10 мм соответствует оптимальной влажности материала 9-10%. Таким образом, из свежесформованных гранул можно сразу формовать изделия, исключив операцию сушки. Испытания образцов, изготовленных в

лабораторных условиях из свежесформованных гранул, приведен в таблице 2.

Результаты определения предела прочности при сжатии полученных образцов с различным содержанием цемента в 28-суточном возрасте проведены в таблице 2.

Таблица 2. Зависимость предела прочности при сжатии прессованных образцов из гранулированных и негранулированных известняково-цементных смесей от количества цемента
Table 2. Dependence of the compressive strength of pressed samples from granular and non-granular limestone-cement mixtures on the amount of cement

N п/п	Состав сырьевой смеси, % (мас.)	Вид сырьевой смеси	Предел прочности при сжатии, МПа
1	известняк – 95 портландцемент – 5	негранулированная	10,5
		гранулированная, размер гранул 5 – 10 мм	10,8
2	известняк – 90 портландцемент – 10	негранулированная	15,4
		гранулированная, размер гранул 5 – 10 мм	16,9
3	известняк – 85 портландцемент – 15	негранулированная	21,2
		гранулированная, размер гранул 5 – 10 мм	23,8

Результаты испытаний таблица 2 свидетельствуют о повышении предела прочности при сжатии образцов на основе гранулированных известняковых отходов камнедобычи и портландцемента на 3-12% по сравнению с негранулированными. Причем, с увеличением содержания портландцемента в сырьевой смеси с 5 до 15% прочность образцов из гранулированного сырья возрастает в 2,2 раза.

ВЫВОДЫ

1. Изучен процесс грануляции окатыванием сырьевых смесей на основе известняковых отходов камнедобычи и портландцемента. Установлено, что максимальный выход гранул фракции диаметром 5-10 мм составляет 67 %. При этом влажность гранул

соответствует оптимальной влажности материала 9-10%, необходимой для полусухого прессования изделий.

2. Показано, что предел прочности при сжатии образцов, спрессованных из гранул содержащих 5-15% портландцемента и 85-95% отходов камнедобычи на 3-12% превышает прочность образцов из негранулированного сырья.

3. Использование процесса гранулирования сырья из известняковых отходов камнедобычи и портландцемента позволяет получить стеновой материал методом полусухого прессования с пределом прочности при сжатии 10,8 - 23,8 МПа при расходе цемента в пределах 5-15%, что соответствует марке стеновых материалов М100 – М200. При этом упрощается процесс прессования и формируется бездефектная структура образцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Любомирский Н.В. Минерально-сырьевая база строительной индустрии Крыма: Справочник/ авт. – сост. Н.В. Любомирский, С.И. Федоркин – Симферополь: ИТ “Ариал”, 2021. – 540с.
- 2 Макарова Е.С., Технология производства золокерамических материалов наполненной каркасно-сотовой структуры// Е.С. Макарова, С.И. Федоркин “Строительство и техногенная безопасность” – Сб.научных трудов НАПКС Вып.9. – Симферополь, НАПКС. 2004. – С. 76-78
3. Классен П.В., Гришаев И.Г. Гранулирование./ П.В. Классен, И.П. Шомин – М.: Химия, 1991. – 240 с.
4. Классен П.В. Основы техники гранулирования./ П.В. Классен, Гришаев И.Г. М.: Химия. 1982.-272 с.
5. Murthu D.V., Ananth M.S.//Chem. Eng. J. 1982.V. 23. № 2. P.177-183.
6. Ouchiyama Norio. Tanaka Tatsuo//J. Soc. Powder Technol. Jap. 1982. V. 19. № 3. P.183-190.

BIBLIOGRAPHY

1. Lyubomirsky N.V. Mineral resource base of the construction industry of the Crimea: Handbook/ author - comp. N.V. Lyubomirsky, S.I. Fedorkin – Simferopol: IT “Arial”, 2021. – 540s.
- 2 Makarova E.S., Technology of production of gold-ceramic materials of a filled frame-honeycomb structure// E.S. Makarova, S.I. Fedorkin “Construction and technogenic safety” - Collection of scientific papers of NAPKS Vol.9. – Simferopol, NAPKS. 2004. – pp. 76-78
3. Klassen P.V., Grishaev I.G. Granulation./ P.V. Klassen, I.P. Shomin – M.: Khimiya, 1991. – 240 p.
4. Klassen P.V. Fundamentals of granulation technique./ P.V. Klassen, Grishaev I.G. M.: Chemistry. 1982.-272 p.
5. Murthu D.V., Ananth M.S.//Chem. Eng. J. 1982.V. 23. № 2. P.177-183.
6. Ouchiyama Norio. Tanaka Tatsuo//J. Soc. Powder Technol. Jap. 1982. V. 19. № 3. P.183-190.

SEMI-DRY PRESSED WALL MATERIALS BASED ON GRANULAR LIMESTONE WASTE FROM STONE MINING

Makarova E.S., Yelkina I.I., Fedorkin S.I., Alimov O.U.

V.I. Vernadsky Crimean Federal University, Academy of construction and architecture,
181, Kievskaya str., Simferopol, 295050, Russian Federation

Abstract: this article is devoted to the study of the processes of granulation of raw materials mixtures from limestone waste of stone mining and Portland cement and the production of wall materials based on them by semi-dry pressing. The optimal humidity-time parameters of the manufacture of granules were determined, laboratory samples of wall materials from granular mixtures with different contents of Portland cement were made. It was found that the compressive strength of samples from granulated raw materials exceeds the strength of samples from non-granulated raw materials by 3-12%.

Subject of research: semi-dry pressed wall materials based on granular limestone waste from stone mining.

Materials and methods: Nummilite limestone waste from the Skalistoe deposit (Crimea) and Portland cement PC 500 DO from the Novorossiysk Cement Plant were used for the study. The physical and mechanical properties of the prototypes were determined by standard methods.

Results: Experiments have shown that the compressive strength of samples made from granules containing 5-15% Portland cement and 85-95% of stone mining waste exceeds the strength of samples from non-granulated raw materials by 3-12%.

Conclusions: The use of granular limestone waste from stone mining as the main component for the production of wall materials by semi-dry pressing makes it possible to increase their strength characteristics. The addition of Portland cement in certain proportions (5-15%) improves the strength characteristics of materials. Further research can be aimed at optimizing the composition of materials, studying their durability and adapting the production process to industrial scales.

Key words: limestone waste from stone mining, Portland cement, granulation, semi-dry pressing, strength