

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГИПСОВЫХ МАТЕРИАЛОВ

Колобова В.В., Колобов М.Ю.

Колобова Валентина Владимировна

Ивановская государственная сельскохозяйственная академия имени Д.К. Беляева,

г. Иваново, Россия. 153012, Ивановская область, г. Иваново, ул. Советская, д. 45.

E-mail: kolobovavv@mail.ru

Колобов Михаил Юрьевич

Ивановский государственный химико-технологический университет,

г. Иваново, Россия. 153000, Ивановская область, г. Иваново, пр. Шереметевский, 7.

E-mail: mikhailkolobov@rambler.ru

Статья посвящена изучению влияния добавок золы на технологические и технические свойства гипсовых вяжущих материалов. Исследования по механической обработке гипсо-зольных смесей проводились в мельнице ударно-отражательного действия. Наибольших значений прочности гипсо-зольного камня можно достичь при активировании золы. Однако, при длительном хранении гипс подвергается гидратации за счет взаимодействия с влагой воздуха, в результате чего происходит изменение сроков схватывания вяжущего и его комкование. В этом случае для частичного обезвоживания и разбивания комков необходимо проводить механическую обработку гипса. С экономической точки зрения предпочтительнее обрабатывать гипсо-зольную смесь, чем каждый компонент по отдельности. Кроме того, совместная обработка приводит к лучшей гомогенизации смеси.

Совместная активация позволяет увеличивать содержание дешевого компонента – золы в составе смеси до 50%, значительно улучшив при этом прочность изделий. Предложенный способ обработки позволит сэкономить значительное количество гипса и одновременно утилизировать отходы энергетической промышленности.

Ключевые слова: гипсовые вяжущие материалы, зола, механическая обработка, скорость нагружения, прочность.

INCREASING THE EFFICIENCY OF APPLICATION OF GYPSUM MATERIALS

Kolobova V.V., Kolobov M.Yu.

Kolobova Valentina Vladimirovna

Ivanovo State Agricultural Academy named after D.K. Belyaeva,

Ivanovo, Russia. 153012, Ivanovo region, Ivanovo, st. Sovetskaya, 45.

E-mail: kolobovavv@mail.ru

Kolobov Mikhail Yurievich, Sakharov Sergey Evgenievich, Chagin Oleg Vyacheslavovich

Ivanovo State University of Chemical Technology,

Ivanovo, Russia. 153000, Ivanovo region, Ivanovo, Sheremetevsky ave., 7.

E-mail: mikhailkolobov@rambler.ru

The article is devoted to the study of the effect of ash additives on the technological and technical properties of gypsum binders. Research on the mechanical processing of gypsum-ash mixtures was carried out in a shock-reflective mill. The highest values of the strength of gypsum-ash stone can be achieved by activating the ash. However, during long-term storage, gypsum undergoes hydration due to interaction with air moisture, as a result of which there is a change in the setting time of the binder and its clumping. In this case, for partial dehydration and breaking up lumps, it is necessary to mechanically process the gypsum. From an economic point of view, it is preferable to process gypsum-ash mixture than each component separately. In addition, co-processing results in better homogenization of the mixture. Joint activation allows to increase the content of a cheap component - ash in the mixture up to 50%, while significantly improving the strength of products. The proposed method of processing will save a significant amount of gypsum and at the same time utilize waste from the energy industry.

Keywords: gypsum binders, ash, mechanical treatment, loading rate, strength.

Одним из перспективных направлений развития промышленности строительных материалов является разработка строительных композитов на основе гипсовых вяжущих материалов.

Строительный гипс характеризуется быстрым твердением полученного камня, но по истечении 28 суток наблюдается резкое снижение его прочности в связи с деструкцией [1]. Для решения этой проблемы в производстве строительных материалов наряду с основными вяжущими веществами широко применяют активные минеральные добавки, которые обеспечивают гидравличность вяжущего и дальнейший рост прочности за счет формирования нового типа структуры [2, 3]. Одной из таких добавок может являться «летучая зола» – отходы от сжигания каменноугольного или другого твердого топлива, используемого в тепловых электростанциях [4-7].

Настоящая работа посвящена изучению влияния добавок золы на технологические и технические свойства гипсовых вяжущих материалов. Исследования проводились с золой из золоотвалов Ивановской ТЭЦ-2. Отвалы золы Ивановской ТЭЦ-2 представляют собой продукт сгорания каменного угля Кузнецкого бассейна. По химическому составу зола на 85–90% состоит из окислов железа, алюминия, кремния, кальция и магния. По прочности связи различают однородные и агрегированные (состоящие из нескольких зерен) частицы. Однородные частицы золы представляют собой стекловидную фазу, агрегированные включают в себя коксовые остатки, зерна кварца, стекловидную фазу, глинистые вещества, возникновение которых обусловлено их неполным расплавлением. Эти частицы обладают повышенной способностью окисления в воздушной среде, абсорбции влаги, изменяясь при этом в объеме и оказывая разрушающее действие на гипсовый камень. Для исключения этого отрицательного воздействия агрегированных частиц золы на технические свойства полученного материала эти агломераты необходимо разрушать. Для тонкого измельчения и достижения высокой степени активности компонентов смеси используют центробежные мельницы [8-13].

Экспериментальные исследования по механической обработке гипсо-золевых смесей проводились в мельнице ударно-отражательного действия.

При производстве гипсо-золевого вяжущего в существующей технологии в состав смеси может вводиться до 30% золы от общего веса материала. Механическая активация смеси может привести к расширению границ использования золы. Исходя из этого, в экспериментальных исследованиях была использована зола в количестве 30%, 40%, 50% и 60% от общего веса смеси.

Результаты исследования влияния процентного содержания золы и скорости механической обработки частиц гипсо-золевой смеси на прочность изделий на её основе представлены на рис.1.

Увеличение содержания золы в необработанной смеси ведет к снижению прочности материала (рис.1, кривая 3). При высокоскоростной обработке компонентов в мельнице с разными скоростями нагружения частиц материала ход кривых аналогичен рассмотренной выше кривой, однако прочностные характеристики возрастают в 1,5 и более раз (рис.1, кривые 1, 2). Увеличение прочности обработанного материала обусловлено более качественным перемешиванием компонентов смеси в рабочей камере мельницы и образованием в продукте активирования гипсо-золевых «агрегатов» – результата сухого взаимодействия между частицами гипса и золы. При ударном нагружении частицы золы разрушаются с образованием так называемых «вакансий» – свободных от электронов связей. Наличие в материале «вакансий» приводит к тому, что зола еще в сухом состоянии образует с частицами гипса прочные соединения – «агрегаты», существование которых подтверждают микроскопические исследования структуры материала. Присутствие таких «агрегатов» в смеси приводит к увеличению прочности вяжущего, а их количество зависит от метода и скорости механической обработки исходного материала.

С другой стороны гипс, обработанный в мельнице ударного действия, частично теряет межкристаллитную влагу, при этом количество потерянной воды зависит от скорости его обработки. При последующем затворении обработанной смеси водой из-за потерянной в процессе механической обработки влаги происходит ускоренный процесс гидратации гипса, который приводит к тому, что гипс не успевает образовывать соединения с той частью золы, которая не принимала участия в образовании «агрегатов».

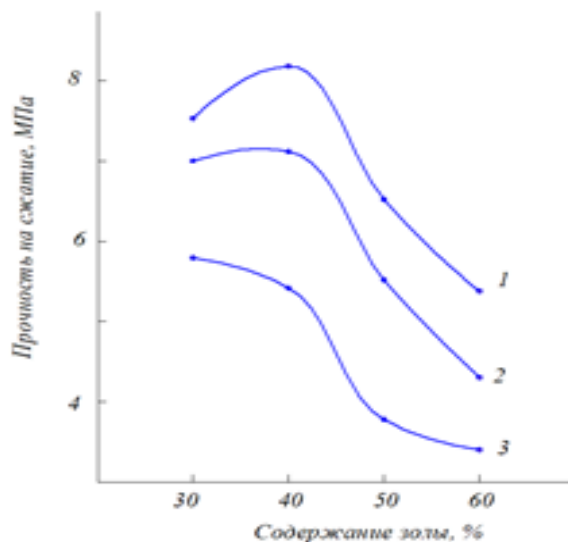


Рис. 1. Зависимость прочности гипсо-зольного вяжущего от содержания золы:

1 – скорость нагружения 50 м/с; 2 – скорость нагружения 70 м/с; 3 – зола не обработана

Fig. 1. Dependence of the strength of the gypsum-ash binder on the ash content:

1 - loading speed 50 m/s; 2 - loading speed 70 m/s; 3 - ash is not processed

В этом случае оставшаяся зола выступает в качестве балласта, и увеличение её содержания приводит к резкому снижению прочности полученных образцов и даже к их самопро-

извольному разрушению. Полученные зависимости подтверждают сделанное предположение (рис.1, кривые 1, 2).

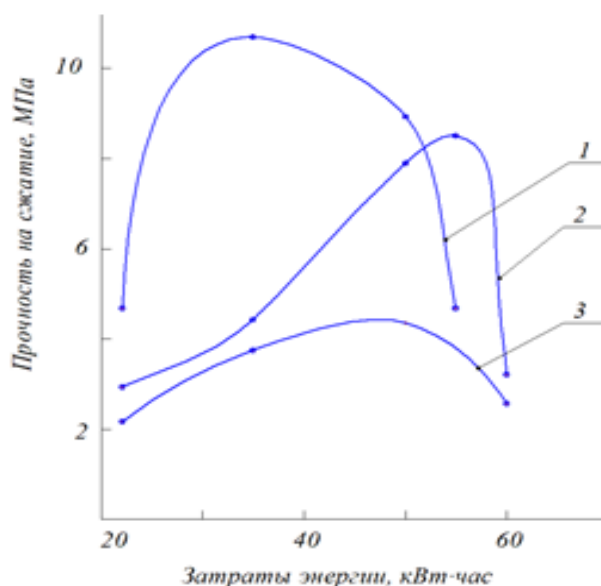


Рис. 2. Зависимость прочности гипсо-зольного камня от способа обработки компонентов:

1 – обработана зола; 2 – обработана смесь; 3 – обработан гипс

Fig. 2. Dependence of the strength of gypsum-ash stone on the method of processing components:

1 - ash processed; 2 - the mixture is processed; 3 - gypsum processed

В связи с вышеизложенным, большой интерес представляло изучение влияния механической активации каждого из компонентов смеси на прочность полученного материала. С этой целью были проведены исследования по активированию отдельно гипса и золы при одинаковых условиях обработки. Во всех опытах исследуемая смесь состояла из 50% гипса и 50% золы. Результаты эксперимента представлены на рис.2. Наименьшей прочностью на сжатие после 7-суточного твердения обладают образцы, изготовленные на основе обработанного гипса с последующим добавлением золы (рис.2, кривая 3). Низкая прочность такого материала обусловлена, на наш взгляд, процессом предварительной агломерации механически активиро-

ванного гипса. Известно, что при механической обработке материалов в высокоскоростных мельницах ударного действия до 30% подводимой энергии аккумулируется в полученном продукте [8]. При этом аккумулируемая материалом энергия пропорциональна подводимой. Одним из релаксационных процессов накопленной энергии является процесс агломерации, который оказывает существенное влияние на удельную поверхность измельченного материала. Так, например, при высокоскоростной обработке гипса с ростом скорости вращения рабочих органов машины удельная поверхность порошка вначале понижается, достигая значений меньших, чем у необработанного материала, а затем вновь растет (табл. 1).

Таблица 1

Зависимость удельной поверхности гипса от скорости механической обработки

Table 1. Dependence of the specific surface area of gypsum on the speed of machining

Скорость обработки, м/с	30	40	50	60	70	Необработ.
Удельная поверхность, м ² /кг	817	808	750	791	823	800

Рост удельной поверхности гипса при скоростях механического активирования выше 50 м/с можно объяснить тем, что при более низких скоростях обработки агломерация была обусловлена не только увеличением поверхностно-активных сил частиц материала, но и присутствием в них межкристаллитной влаги. С ростом скорости нагружения гипс частично теряет связанную воду и процесс агломерации протекает только за счет увеличения активности порошка. Кроме того, с повышением скорости вращения рабочих органов мельницы увеличивается вентиляционный эффект, вследствие чего самые мелкие частицы гипса выносятся воздушным потоком из рабочей камеры измельчителя необработанными.

При диспергировании гипсо-зольной смеси кривая зависимости прочности материала от скорости нагружения носит экстремальный характер (рис.2, кривая 2). В этом случае увеличение прочности образцов происходит за счет роста поверхностно-активных сил частиц смеси с образованием гипсо-зольных «агрегатов». При повышении энергозатрат более 55 кВт·час значения прочностных характеристик резко снижаются. Падение прочности обусловлено ростом активности материала и, как следствие, ускоренной гидратацией гипса.

Сравнивая кривые зависимости прочности гипсо-зольного камня от затрат энергии очевидно, что образцы, полученные на основе

активированной золы и необработанного гипса, обладают прочностью на сжатие в пределах 11÷11,5 МПа уже при затратах энергии 30 кВт·час, в то время как при совместной обработке частиц смеси наибольшую прочность образцы приобретают только при энергозатратах 55 кВт·час (рис.2, кривые 1, 2). Рост затрат энергии при активировании золы выше 30 кВт·час приводит к увеличению активности частиц золы, обладающих собственными вяжущими свойствами, вследствие чего происходит частичная гидратация золы влагой воздуха.

Из полученных результатов следует, что наибольших значений прочности гипсо-зольного камня можно достичь при активировании золы. Однако, при длительном хранении гипс подвергается гидратации за счет взаимодействия с влагой воздуха, в результате чего происходит изменение сроков схватывания вяжущего и его комкование. В этом случае для частичного обезвоживания и разбивания комков необходимо проводить механическую обработку гипса. С экономической точки зрения предпочтительнее обрабатывать гипсо-зольную смесь, чем каждый компонент по отдельности. Кроме того, совместная обработка приводит к лучшей гомогенизации смеси.

Нами также были проведены экспериментальные исследования по выбору оптимального содержания в смеси активированной золы.

На рис. 3 представлен график зависимости прочности на сжатие гипсо-зольного камня от процентного содержания активированной золы. Увеличение содержания активированной золы от 40% до 50% приводит к резкому повышению прочности образцов. Зола в этом случае выступает в качестве активного, более реакционноспособного компонента, а увеличение её

содержания в смеси обуславливает возникновение большего количества гипсо-зольных «агрегатов» и, следовательно, рост прочности полученного материала. Дальнейшее увеличение содержания золы нецелесообразно вследствие того, что содержание гипса в количестве 40% недостаточно для образования прочных монолитов.

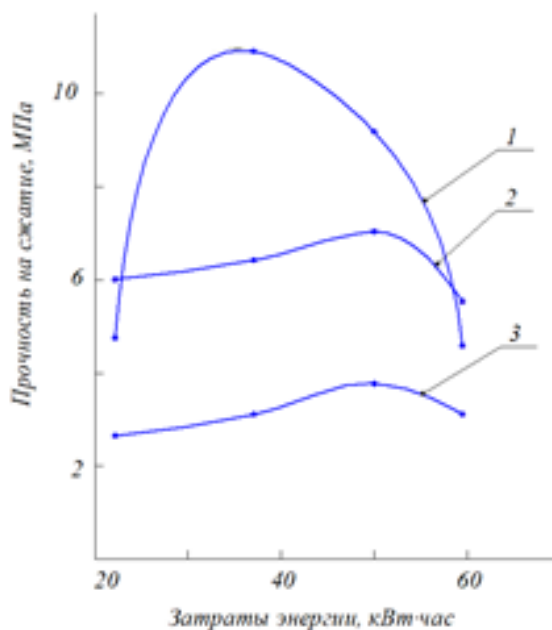


Рис. 3. Зависимость прочности гипсо-зольного камня от содержания активированной золы:

1 – 50% золы, 2 – 40% золы, 3 – 60% золы

Fig. 3. Dependence of the strength of gypsum-ash stone on the content of activated ash:

1 - 50% ash, 2 - 40% ash, 3 - 60% ash

Таким образом, применение высокоскоростной механической активации исходных компонентов смеси в технологии получения вяжущего на основе гипса и золы оказывает положительное воздействие на прочностные свойства полученного материала. Совместная активация позволяет увеличивать содержание дешевого компонента – золы в составе смеси до 50%, значительно улучшив при этом прочность изделий. Предложенный способ обработки позволит сэкономить значительное количество гипса и одновременно утилизировать отходы энергетической промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шкробко Е.В., Маноха А.М., Гущина Е.Н., Андрушина Е.Е., Шибяева Г.Н. Эффективные гипсоцементнозольные композиционные вяжущие вещества. *Ползуновский вестник*. Барнаул: АлтГТУ. 2012. № 1/2. С. 153–156.

2. Ферронская А.В. Развитие теории и технологий в области силикатных и гипсовых материалов. Сборник материалов академических чтений, ч.1. М.: МГСУ. 2000. С. 47–56.

3. Коровяков В.Ф. Повышение эффективности производства и применения гипсовых материалов и изделий. В сб.: М., ГАСНТИ. 2002. С. 51–56.

4. Алкснис Ф.Ф. Твердение и деструкция гипсоцементных композиционных материалов. Л.: Стройиздат, 1988. 103 с.

5. Борисенко Л.Ф., Делицын Л.М., Власов А.С. Перспективы использования золы угольных тепловых электростанций. М.: ЗАО «Геоинформмарк». 2001. 68 с.

6. Цельковский Ю.К. Опыт промышленного использования золошлаковых отходов ТЭС. *Новое в российской энергетике*. 2000. № 2. С. 22–31.

7. Некрасов А. С., Синяк Ю. В. Перспективы развития топливно-энергетического комплекса России на период до 2030 года. *Проблемы прогнозирования*. 2007. № 4. С. 21–52.

8. Колобова В.В., Колобов М.Ю. Математическая модель процессов накопления и диссипации энергии в материале при его обработке в измельчителе-активаторе. *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2015. № 1 (10). С. 46–49.

9. Колобова В.В., Колобов М.Ю. Особенности измельчения фосфорсодержащих руд. *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2016. № 4 (17). С. 77–82.

10. Блиничев В.Н. Повышение эффективности массообменных процессов за счет механоактивации гомогенных и гетерогенных сред. В сборнике: Повышение эффективности процессов и аппаратов в химической и смежных отраслях промышленности. сборник научных трудов Международной научно-технической конференции, посвящённой 105-летию со дня рождения А. Н. Плановского. 2016. С. 36–44.

11. Колобов М.Ю., Колобова В.В. Механическая активация компонентов, входящих в состав бетонов. В сборнике: Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности. сборник научных статей по итогам второй международной научной конференции. 2020. С. 103–105.

12. Гущина Т.В., Гущина Е.А., Колобов М.Ю., Блиничев В.Н. Исследование мельницы ударно-отражательного действия. *Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение*. Иваново. 2020. № 3. С. 54–59.

13. Колобов М.Ю., Чагин О.В., Блиничев В.Н. Повышение долговечности рабочих органов центробежно-ударных измельчителей. *Российский химический журнал*. Иваново. 2019. т. LXIII, № 3–4. С. 40–44. DOI: 10.6060/rcj.2019633.5

REFERENCES

1. Shkrobko E.V., Manokha A.M., Gushchina E.N., Andryushina E.E., Shibaeva G.N. Effective gypsum-cement-ash composite binders. *Polzunovsky Bulletin*. Barnaul: AltSTU. 2012. N 1/2. P. 153-156.

2. Ferronskaya A.V. Development of theory and technology in the field of silicate and gypsum materials. Collection of materials for academic readings, part 1. M.: MGSU. 2000. P. 47–56.

3. Korovyakov V.F. Increasing the efficiency of production and use of gypsum materials and products. In collection: M., GASNTI. 2002. P. 51–56.

4. Alksnis F.F. Hardening and destruction of gypsum-cement composite materials. L.: Stroyizdat, 1988. 103 p.

5. Borisenko L.F., Delitsyn L.M., Vlasov A.S. Prospects for the use of ash from coal-fired thermal power plants. M.: ZAO "Geoinformmark". 2001. 68 p.

6. Tselykovsky Yu.K. Experience in the industrial use of ash and slag waste from TPPs. *New in the Russian energy sector*. 2000. N 2. P. 22–31.

7. Nekrasov A.S., Sinyak Yu.V. Prospects for the development of the fuel and energy complex of Russia for the period up to 2030. *Forecasting problems*. 2007. N 4. P. 21–52.

8. Kolobova V.V., Kolobov M.Yu. Mathematical model of the processes of accumulation and dissipation of energy in the material during its processing in the grinder-activator. *Agrarian Bulletin of the Upper Volga Region*. 2015. N 1 (10). P. 46–49.

9. Kolobova V.V., Kolobov M.Yu. Features of crushing of phosphorus-containing ores. *Agrarian Bulletin of the Upper Volga Region*. 2016. N 4 (17). P. 77–82.

10. Blinichev V.N. Increasing the efficiency of mass transfer processes due to mechanical activation of homogeneous and heterogeneous media. In the collection: Increasing the efficiency of processes and devices in the chemical and related industries. collection of scientific papers of the International Scientific and Technical Conference dedicated to the 105th anniversary of the birth of A. N. Planovsky. 2016. P. 36–44.

11. Kolobov M.Yu., Kolobova V.V. Mechanical activation of the components that make up concrete. In the collection: Priority areas of innovation in industry. collection of scientific articles on the results of the second international scientific conference. 2020. P. 103–105.

12. Gushchina T.V., Gushchina E.A., Kolobov M.Yu., Blinichev V.N. Research of a shock-reflective mill. *Modern high technologies. Regional application*. Иваново. 2020. N 3. P. 54–59.

13. Kolobov M.Yu., Chagin O.V., Blinichev V.N. Increasing the durability of the working bodies of centrifugal impact grinders. *Russian chemical journal*. Иваново. 2019. vol. LXIII, N 3-4. P. 40–44. DOI: 10.6060/rcj.2019633.5