

УДК 666.913

ОБОСНОВАНИЕ ФРАКЦИОННОГО СОСТАВА ЧАСТИЦ СЫРЬЕВОГО ГИПСА ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ α -ФОРМЫ ГИПСОВОГО ВЯЖУЩЕГО С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХСТАДИЙНОЙ ТЕХНОЛОГИИ

Канд. техн. наук А.А. Баранова

ОБҐРУНТУВАННЯ ФРАКЦІЙНОГО СКЛАДУ ЧАСТИНОК СИРОВИННОГО ГІПСУ ДЛЯ ОТРИМАННЯ α -ФОРМИ ГІПСОВОГО В'ЯЖУЧОГО З ВИКОРИСТАННЯМ ДВОСТАДІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ

Канд. техн. наук А.А. Баранова

SUBSTANTIATING THE FRACTIONAL MAKEUP OF RAW GYPSUM PARTICLES TO OBTAIN THE GYPSUM BINDER α -FORM USING A TWO-STAGE PROCESS

Cand. of techn. sciences A.A. Baranova

В статье представлена разработанная двухстадийная технология получения гипсового вяжущего α -формы. На первой стадии проводится обжиг мелкодисперсного сырья в турбулентном потоке газообразного теплоносителя. На второй стадии - осуществляется выравнивание температурного поля по всему объему частиц. Проведено обоснование гранулометрического состава частиц сырья для интенсификации процессов получения гипса α -формы. Разработана конструкция камеры томления для равномерного истечения материала на втором этапе термообработки.

Ключевые слова: гипс α -формы, камера томления, диспергирование, саморазрушающийся свод, идеальное вытеснение.

У статті подана розроблена двостадійна технологія отримання гіпсового в'язучого α -форми. На першій стадії проводиться випал дрібнодисперсної сировини в турбулентному потоці газоподібного теплоносія. На другій стадії - здійснюється вирівнювання температурного поля по всьому об'єму частинок. Проведено обґрунтування гранулометричного складу частинок сировини для інтенсифікації процесів одержання гіпсу α -форми. Розроблено конструкцію камери томління для рівномірного витікання матеріалу на другому етапі термообробки.

Ключові слова: гіпс α -форми, камера томління, диспергування, звід, що саморуйнується, ідеальне витіснення.

The paper describes the developed two-stage process for obtaining the α -form gypsum binder. To intensify gypsum heat treatment the fine raw material should be calcined under conditions preventing

formation of secondary calcium sulphate dihydrate. The first heat treatment stage involves fine material calcination in a turbulent flow of a gaseous heat carrier. To ensure a uniform chemical composition of calcined gypsum particles, the second heat treatment stage occurring in a heat-holding chamber involves equalising the temperature field over the entire particle volume. Raw material particles are dispersed to increase the rate of heterogeneous processes. The fractional makeup of raw material particles has been substantiated to intensify the processes of obtaining α -form gypsum. The dispersion process includes two basic stages. The first one involves breakdown of particles with an external force applied usually to their aggregate. The second stage involves aggregation of particles, both spontaneous and that caused by external compressing forces. Rosin-Rammler equations are used to calculate the specific area of material particles fed for calcination. The heat-holding chamber has been designed for even material outflow at the second heat treatment stage.

Keywords: *α -form gypsum, heat holding chamber, dispersion, self-destructing crown, ideal elusion.*

Введение. По обеспечению экономии энергетических ресурсов и требований по экологии гипсовые материалы и изделия на их основе находятся в более предпочтительном положении по сравнению с другими строительными материалами. Это обусловлено простотой и экологичностью их производства. Из всех видов гипсовых вяжущих материалов наибольший интерес вызывает высокопрочный гипс α -формы, так как он при достаточно высокой прочности относится к низкотемпературным и наименее энергозатратным видам вяжущих.

Постановка проблемы в общем виде и ее связь с важными научными и практическими задачами. Гипс α -формы, как правило, получают в герметичных аппаратах, в которых возможно создать давление (автоклавы, самозапарочные аппараты, демпферы) [1, 2], или в аппаратах для дегидратации двуводрата сульфата кальция в жидких средах [3]. Недостатком таких технологий является высокая затрата энергии, превышающая в десятки раз теоретические расходы на дегидратацию гипса. Это обусловлено тем, что в таких варят куски сырья крупного размера (40 – 70 мм). Для экономии энергоресурсов необходимо обжигать мелкодисперсное сырье. Дальнейшее развитие технологии производства гипсовых вяжущих должно быть основано в первую очередь на интенсификации тепловых процессов и совершенствовании теплотехнического оборудования, работающего на новых научно обоснованных режимах обжига.

Анализ последних исследований и публикаций. Процессы дегидратации двуводного гипса $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ при его термической обработке до полуводного –

$\text{CaSO}_4 \cdot 0,5\text{H}_2\text{O}$ и безводного – CaSO_4 являются основой производства гипсовых вяжущих веществ и имеют большое практическое значение [4- 6]. Анализ современных технологий получения гипса показал, что повышение их эффективности должно базироваться не только на теоретических представлениях процессов дегидратации двуводного гипса, но и на процессах вторичной гидратации полуводного гипса и ангидрита, для чего необходимо создать термодинамические условия.

Определение цели и задачи исследования. Целью исследования является определение фракционного состава частиц сырьевого гипса для получения высокопрочного гипса α -формы путем реализации двухстадийной технологии обжига.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи: провести анализ влияния дисперсности частиц гипсового сырья на интенсификацию процесса их обжига с использованием разработанной двухстадийной технологии, обосновать условия, при которых будет происходить равномерное перераспределение температуры в частицах на второй стадии тепловой обработки для получения высокопрочного гипса.

Основная часть исследования. Для интенсификации тепловой обработки гипса необходимо проводить обжиг мелкодисперсного сырья, создавая условия для предотвращения образования вторичного двуводного гипса. Поэтому на первой стадии тепловой обработки проводится обжиг мелкодисперсного материала в турбулентном потоке газообразного теплоносителя. При этом необходимо учитывать термодинамические условия дегидратации двуводного гипса (температуру обжига и давление) с целью

удаления воды в жидкокапельном состоянии. Скорость потока теплоносителя должна отвечать размерам частиц сырья. Для обеспечения однородности химического состава частиц обожженного гипса необходимо реализовать вторую стадию тепловой обработки, которая проводится в камере томления, для выравнивания температурного поля по всему объему частицы и перехода безводной формы сульфата кальция в полугидрат за счет перераспределения влаги из молекул двуводного гипса в безводные [7].

Интенсивность обжига двуводного гипса обусловлена в первую очередь размерами частиц, т.е. чем меньше диаметр частиц сырьевого материала, тем быстрее будет происходить процесс дегидратации [8, 9]. Максимальная скорость обжига будет достигаться в случае использования пылевидного материала, однако в этом случае появляется ряд проблем. Пылевидные частички гипса имеют большую поверхностную энергию, в результате чего будет наблюдаться их агрегация и образование комков неконтролируемого размера, что ведет к нарушению процесса обжига и зонированию химического состава в частице.

Диспергирование твердых тел осуществляется с целью повышения скорости гетерогенных процессов. В процессе диспергирования имеют место два основных этапа. Первый – разрушение частиц внешней силой, прилагаемой обычно к их совокупности. Второй – агрегация частиц, как самопроизвольная, так и вызванная внешними сжимающими усилиями. Изучение диспергирования связано с проблемой прочности твердого тела и проблемой агрегативной устойчивости, рассматриваемой физико-химией дисперсных систем и поверхностных явлений. Оба процесса – разрушение и агрегация – существенным образом зависят от природы внешней среды и условий ее взаимодействия с частицами. Для дисперсных систем вследствие относительно высокоразвитой поверхности раздела фаз влияние среды особенно велико.

Наряду с диспергированием и агрегацией при измельчении, как и при всяком другом виде механической обработки, происходит изменение кристаллической структуры и энергетического состояния поверхностных слоев частиц. Их исследование представляет

интерес для физики поверхностных явлений и очень важно для понимания механизма измельчения. Состояние поверхностных слоев существенно влияет на взаимодействие частиц между собой и со средой и, тем самым, на дисперсность порошков.

Химическая связь адсорбируемой молекулы с поверхностью в общем случае описывается волновой функцией, представляющей собой сумму волновых функций для ковалентной и ионной связи. Расчет энергии химической связи наиболее корректно разработан на основе метода молекулярных орбит Миликена - Гунда. Точность расчетов химической сорбции в значительной мере зависит от возможности учета степени заполнения поверхности, геометрической структуры поверхностного слоя и их влияния на величину суммарной энергии. В тех случаях, когда химическая адсорбция сопровождается диссоциацией молекул на атомы, для ее осуществления необходима некоторая энергия активации. Энергия активации определяется не только механизмом элементарного акта разрушения, но и природой адсорбционных центров. Основная особенность электронной теории заключается в том, что в ней учитывается влияние объема твердого тела. В частности, Коган показал, что в случае малых размеров тела положение уровня Ферми на его поверхности зависит от дисперсности, в связи с чем изменяются и ее удельные адсорбционные свойства. Эффект дисперсности становится заметным, когда размер зерен сравним с длиной дебаевского экранирования.

Характеристикой измельчаемого материала является распределение его частиц по размерам, или его гранулометрический состав. Значения интегральной функции $R(\delta)$ описывается зависимостью Розена – Рамлера

$$R(\delta) = \exp(-b \delta^n), \quad (1)$$

где b и n - параметры идентификации кривой к опытным данным, ($b = 18039,05$, $n = 1,244768$).

Если гранулометрический состав характеризуется числами, приведенными в таблице, то материал представленный частицами менее 0,1 мм составляет менее 2 % (рис. 1).

Гранулометрический состав материала

№ п/п	Диаметр ячейки сита, мм	Остаток на сите (в долях к исходной навеске), R(δ)	Расчетное значение R(δ) по уравнению Розена-Раммлера
1	0,1	0,98	0,988419
2	0,14	0,97	0,976275
3	0,315	0,95	0,871750
4	0,4	0,85	0,795027
5	0,63	0,65	0,543864
6	1,0	0,1	0,193116
7	1,25	0,01	0,070174

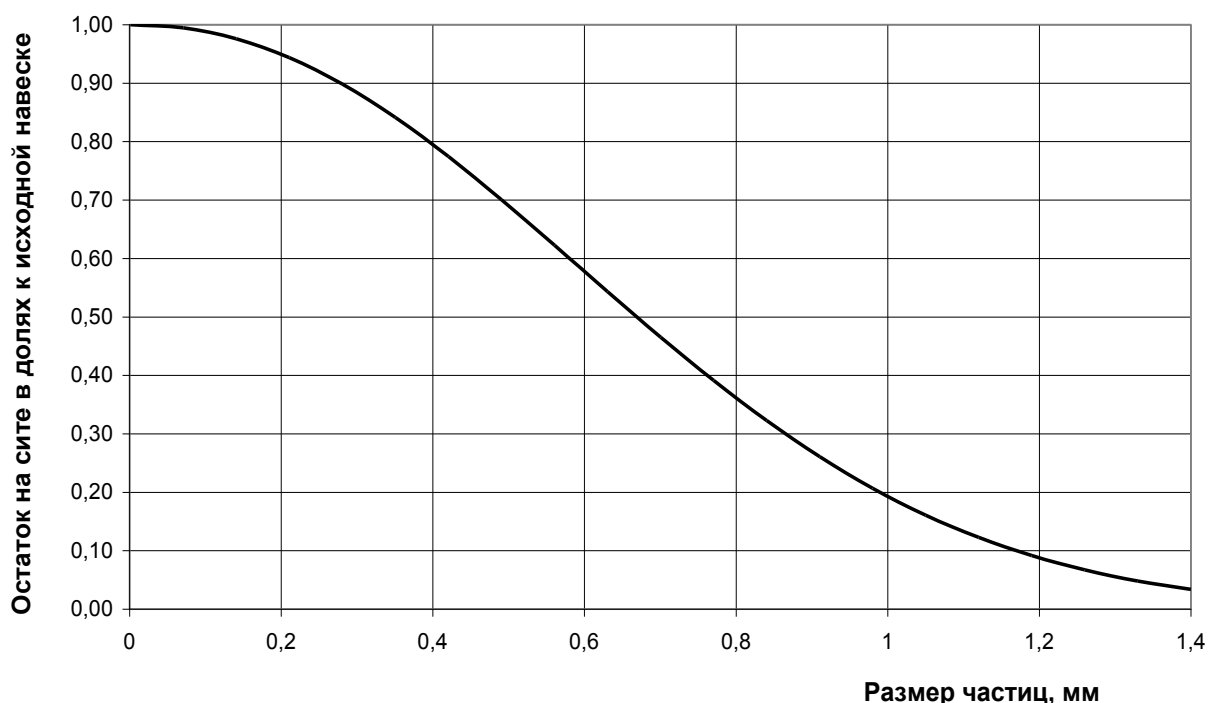


Рис. 1. Характеристика распределения гранулометрического состава измельченного гипсового сырья

Для того чтобы исключить значительное влияние частиц размером менее 0,1 мм, когда проявляется эффект агрегации, необходимо измельчить гипсовый камень до остатка на сите 0,315 порядка 90 %. Рекомендуемая тонкость помола гипсового камня – 0,3-1,0 мм. В соответствии с расчетом по уравнению Розена – Раммлера удельная поверхность частиц материала, подаваемых на обжиг, равна 44 см²/г.

Задачей тепловой обработки гипсового сырья является создание условий образования полуводного гипса по всему объему частицы. Для этого молекулы воды, которые выделяются при дегидратации в результате диффузии из центральной зоны, должны попасть в наружный слой, чтобы в нем произошла реакция образования полуводного гипса, для чего в технологической схеме предусмотрена камера томления. Итак, конструкция камеры

томления должна обеспечивать равномерное распределение температуры по всему объему частицы, то есть частицы должны находиться в равных условиях, для этого истечение обязано быть равномерным по всему объему емкости, необходимо избежать явления сегрегации, налипания частиц, сводообразования.

Для создания режима близкого к идеальному вытеснению гипса принимаем конструкцию камеры томления в виде цилиндра и с разгрузочной частью, которая обеспечивает истечение материала равномерно как сплошное тело.

Сводообразование во многом зависит от формы и размера выпускного отверстия. Образование статического свода в связных мелкофракционных материалах можно объяснить тем, что по линии свода возникают напряжения сжатия (с конечным значением σ_n) в направлении касательной к линии свода, в то время как в направлении нормали к линии свода напряжения равны нулю.

Для образования статического свода необходимо, чтобы вертикальная касательная сила, действующая по периметру выпускного отверстия, могла выдержать массу материала над отверстием.

Очертания свода обычно совпадают с траекториями главных наибольших

напряжений. Напряжение сжатия σ_n достигает максимального значения у основания свода. Напряжение тем выше, чем больше выпускное отверстие. Максимально допустимая величина этого напряжения σ_{max} , отвечающая равновесному состоянию данного материала, определяется кругом напряжений, касательным одновременно оси τ и линии предельных касательных напряжений. Такое напряженное состояние может возникать только при определенном размере выпускного отверстия (сводообразующего). Если размер выпускного отверстия превышает размеры сводообразующего, напряжение сжатия превысит величину σ_{max} . При этом в материале произойдут пластические деформации, равновесие свода нарушится и начнется беспрепятственное истечение материала. Основными параметрами, характеризующими статический свод, является форма кривой свода, максимальная высота и предельное сводообразующее отверстие.

На рис. 2 показана схема образования свода над круглым отверстием. Выделим элементарный объем $abba$ в толще сыпучей массы, образующей свод, при помощи вертикальной цилиндрической поверхности с образующей ab и поверхностями главных напряжений aa и bb .

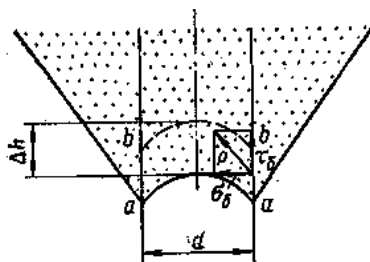


Рис. 2. Схема образования свода над круглым отверстием

Определим вес выделенного элемента

$$G = \frac{\pi d^2}{4} \Delta h \rho g. \quad (2)$$

Условие равновесия выражается зависимостью

$$G = \tau_0 \pi d \Delta h. \quad (3)$$

Приравняв правые части обоих

равенств, получим $d = \frac{4\tau_0}{\rho g}$.

Подставив предельное значение τ_0 , получим необходимый диаметр отверстия, выраженный через параметры сыпучего материала

$$d = \frac{4\tau_0(1 + \sin \varphi)}{\rho g}. \quad (4)$$

Конструкция днища камеры томления должна обеспечивать равномерное истечение гипсового материала. Поэтому предлагается двойное днище, состоящее из горизонтального круглого элемента с максимальным количеством отверстий, размер которых препятствует сводообразованию, и эллиптического наклонного сплошного разгрузочного элемента. Для промышленного образца вместо второго элемента устанавливается регулируемое разгрузочное устройство. Горизонтальный круглый элемент выполняет функцию выравнивания эпюры скоростей частиц, движущихся в камере томления.

Выводы исследования. В результате проведенных исследований обоснован фракционный состав частиц гипсового камня, необходимый для интенсификации процесса обжига в газообразном потоке теплоносителя по двухстадийной технологии. Определена удельная поверхность частиц сырья с использованием уравнения Розена – Раммлера. Найдены условия свободного и равномерного истечения материала по всему поперечному сечению камеры, которые обеспечивают движение материала, близкое к модели идеального вытеснения.

Список использованных источников

1. Кондращенко, Е.В. Термодинамика реакций дегидратации двуhydrата сульфата кальция. [Текст] / Е.В. Кондращенко // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДУБА ХОТБ АБУ, 2002. – Вип. 17. – С. 93 – 96.
2. Спосіб одержання гіпсового в'язучого та установка для його здійснення [Текст]: пат. № 20055 України, МПК6 C04B28/14 / Чернишова Р.О., Долінський А.А.; заявл. 28.02.95; опубл. 25.12.97, Бюл. № 6.
3. Клименко, В.Г. Влияние природы гипсового сырья на активность продуктов его термообработки. [Текст] / В.Г. Клименко, А.Н. Володченко // Изв. вузов. Химия и химическая технология. – 1999. – Т.42. – Вып. 3. – С. 53-56.
4. Кондращенко, Е.В. Исследование перераспределения температуры внутри частиц обожженного гипса в камере томления / Е.В. Кондращенко, А.Н. Баранов, А.А. Баранова // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». – Харків: НТУ, 2008. – Вип. 13. – С. 24 – 30.
5. Будников, П.П. Гипс, его исследование и применение. [Текст] / П.П. Будников. – М.-Л.: Стройиздат, 1943. – 374 с.
6. Ферронская, А.В. Гипсовые материалы и изделия (производство и применение). [Текст]: справочник / А.В. Ферронская. – М., 2004 – 485 с.
7. Спосіб випалу гіпсу у завислому стані при підвищеному тиску [Текст]: пат. № 31289, Україна // Кондращенко О.В., Бабушкін В.І., Баранов А.М., Баранова А.А. (Україна); опубл. 10.04.2008.; Бюл. № 7.
8. Ходаков, Г.С. Тонкое измельчение строительных материалов. [Текст] / Г.С. Ходаков. – М.: Издательство литературы по строительству, 1972. – 240 с.
9. Ходаков, Г.С. Физика измельчения. [Текст] / Г.С. Ходаков. – М.: Наука, 1972. – 307 с.

Рецензент д-р техн. наук, профессор О.В. Кондращенко

Баранова Анна Андріївна, канд. техн. наук, доцент кафедри технології будівельного виробництва і будівельних матеріалів Харківського національного університету міського господарства імені О.М. Бекетова. Тел.: (057) 707-31-10. E-mail: Anna_1504@mail.ru

Baranova Anna Andreevna, cand. of techn. sciences, docent Department of technology building and construction materials production Kharkiv National University urban economy named O.M. Beketov. Tel.: (057) 730-10-42. E-mail: Anna_1504@mail.ru