

УДК 622.272

А.Н. Чистяков, М.М. Хайрутдинов, Е.В. Артюхов

**ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ АКТИВАЦИИ
НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА
ЗАКЛАДКИ**

Семинар № 15

Изучение реологических свойств закладочных смесей позволяет оценить транспортабельность смесей по трубопроводу. С учетом полученных данных возможна корректировка составов закладки: изменение количества воды в смеси, введение специальных добавок, что позволит улучшить прочностные свойства и однородность искусственного массива.

Исследование характеристик закладочных смесей производилось по ГОСТ 5802-73 "Растворы строительные. Методы испытаний". При этом определили:

- подвижность свежеприготовленного раствора по глубине погружения конуса;
- объемную массу;
- кривые течения закладочной смеси с помощью ротационного вискозиметра RHEOTEST-2 (ГДР) с рабочим органом цилиндр-цилиндр;
- механические типы структуры суспензии отходов обогатительной фабрики с применением прибора типа Вейлера-Рейбиндера с бесконтактной системой измерения перемещения рифленной пластинки в лоскопараллельном зазоре.

Закладочные материалы, используемые при создании искусственных цементов, должны обладать комплексом необходимых реологических свойств в соответствии с требованиями по их эксплуатации в реальных условиях.

В процессе закладывания цементного массива, закладочный раствор почти непрерывно находится в движении, следовательно, независимо от условий окружающей среды (температуры, давления) его свойства должны обеспечивать хорошую подвижность в течение заданного времени. Закладочный раствор должен оставаться в текучем состоянии в течение всего времени, необходимого для его транспортирования в закладываемую камеру, после чего он должен затвердевать возможно быстрее (т.е. требуется быстрый рост значения модуля упругости E и предельного значения сдвига T_0). Кроме того, закладочные растворы должны обладать минимальной водоотдачей, расслаиваемостью, обеспечивающей стабильность раствора и в состоянии покоя, и при движении, хорошей адгезией к горным породам.

При разработке оптимальных составов для улучшения реологических свойств разработан ряд способов активации закладочных смесей или их компонентов:

Активация закладочной смеси

Под активацией понимают такую обработку вяжущего или смеси в целом в результате которой наиболее полно используются свойства закладочных смесей: повышается их прочность, улучшается транспортабельность, регулируются сроки твердения и т.д.

Способы активации закладочных смесей делятся:

- а) по целевому назначению:
 - увеличение подвижности смесей (транспортабельность, растекаемость);
 - повышение прочностных свойств;
 - регулирование сроков твердения.
- б) по технологическим стадиям закладочных работ:
 - стадия приготовления;
 - транспортирования;
 - укладки.
- в) по объектам воздействия:
 - обработка отдельных компонентов (вяжущее, вода, затвердения, химические добавки);
 - обработка их сочетаний.
- г) по методам воздействия:
 - измельчение вяжущих;
 - воздействие вибрацией;
 - электромагнитная обработка;
 - термообработка (обжиг) компонентов;
 - введение химических добавок.

Последний классификационный признак является определяющим, поскольку в его основе лежат определенные, четко отличающиеся друг от друга, физико-химические явления и технические средства.

Доизмельчение (домол) вяжущих компонентов смеси

Измельчение вяжущих в процессе приготовления закладочных смесей является наиболее распространенным и эффективным способом активации. Этот способ позволяет ускорить процесс гидратации в результате разрушения пленок гидратированной коллоидной массы с поверхности частиц.

Увеличение поверхности вяжущего с разрушением коллоидных пленок приводит к интенсивному гелеобразованию, повышая активность вяжу-

щего и, как следствие, прочности закладки. Установлено, что толщина слоя гидратации зерен вяжущего для образцов в 6 месячном возрасте составляет 15 микрон, т.е. будут гидратировать только зерна размером не более 30 мк, а частицы больших размеров остаются негидратированы и чаще всего выполняют роль микрозаполнителя. При использовании в качестве вяжущего гипса, ангидрида используется доизмельчение на закладочных комплексах. Тоника их помола 80–95 % класса 0,09 мм. Для доменных шлаков необходимая активность достигается при измельчении до крупности 75 мк от 75 до 95 %.

Домол вяжущих (в основном шламов) нашел широкое применение на рудниках цветной и черной металлургии. По данным на горнорудных предприятиях достигнута тоника помола 55–60 % фракции 74 мк. Это позволяет сократить расход вяжущих на 1 м³ смеси - цемента на 35 кг, шлаков на 100 кг.

Типовая схема организации измельчения вяжущего имеет следующий вид.

Со склада граншлак транспортируется конвейером в расходные бункера первой и второй мельниц производительностью по 50 т/ч. Затем граншлак в виде водной эмульсии плотностью 1,75–1,8 кг/л поступает в шаровые мельницы. В разгрузочной части мельницы плотность материала снижается до 1,5 кг/л и подается самотеком в смеситель.

Следует отметить, что тоника помола для шлаков на рудниках изменяется в широких пределах. Так, выход класса 75 мк на Гайском ГОКе – до 80 %, а на Учалинском ГОКе – 60 %. Увеличение тонины помола принято основным направлением в совершенствовании технологии закладочных работ и рекомендовано измельчать

вяжущее до 80-85 % класса 44 мк, либо при мокром двухстадийном измельчении, или при сухом - в вентилируемых мельницах. Основным достоинством домола вяжущих как метода активации является высокая эффективность и простота реализации (наличие серийного выпускаемого измельчительного оборудования - шаровых и стержневых мельниц). Недостатком является дороговизна и громоздкость.

В целом домол – перспективный метод активации закладочных смесей особенно при использовании сложного вяжущего (с использованием зол ТЭЦ и котельных, доменных шлаков и т.д.).

Влияние турбулентной активации и виброактивации на закладочную смесь

При приготовлении закладочной смеси целесообразно использовать турбулентную активацию, сущность которой заключается в расщеплении флоккул цементно-водной суспензии. Это приводит к насыщению суспензии коллоидными частицами. При турбулентном перемешивании в закладочных смесях возникает градиент скорости, благодаря чему понижаемся вязкость смеси и поверхности вяжущих частиц освобождаются от гидратных образований. На ряде рудников Канады используются турбулентная активация смесей (цемент + хвосты обогащения). Цемент из бункера через ячейковый питатель поступает в отделении вертикального закладочного трубопровода, засасывается в него и перемешивается с хвостами. Основные недостатков этой схемы является сложность автоматизации процесса приготовления закладки и точность дозировки цемента. При вращении металлического диска расположенного в смесительной камере происходит перемешиваний смеси, разрушение

внутренних связей ее компонентами, что позволяет получить однородную смесь с высокой подвижностью и активностью. Пятивалковый активатор-смеситель непрерывного действия состоит из отдельных секций, включающих статор и ротор, смонтированные на общей раме. Между секциями оборудованы вихревые камеры. По этой схеме предварительно цемент смешивают с водой, потом суспензию обрабатывают в активаторе и смешивают с заполнителем. Обработка суспензии производится при ее подаче в зазор между статором и ротором, где при вращении последнего возникают большие внутренние напряжения, вызванные не равномерным распределением скоростей. Это приводит к разрушению гидратных образований на поверхности зерен, а полученная смесь не отдает воду, более подвижна и однородна по составу. Применение таких активаторов позволяет сократить расход цемента на 40 %, повышает прочность на 25-30 %.

За рубежом также применяются аналогичные активаторы (системы Каскрит), но циклического действия.

Из сказанного выше следует, что турбулентная активация может иметь хорошую перспективу для улучшения реологических свойств твердеющих смесей при условии создания надежных конструкций активаторов.

Одним из перспективных направлений активации смесей является их виброобработка на стадии приготовления. Виброперемешивание смесей усложняет траекторию движения зерен ее компонентов, что приводит к большому числу их соударений. Это способствует удалению с зерен цементного клинкера (продуктов диспергирования и перекристаллизации) и приводит к обнажению их поверхности для взаимодействия в водой (повышает активность цемента).

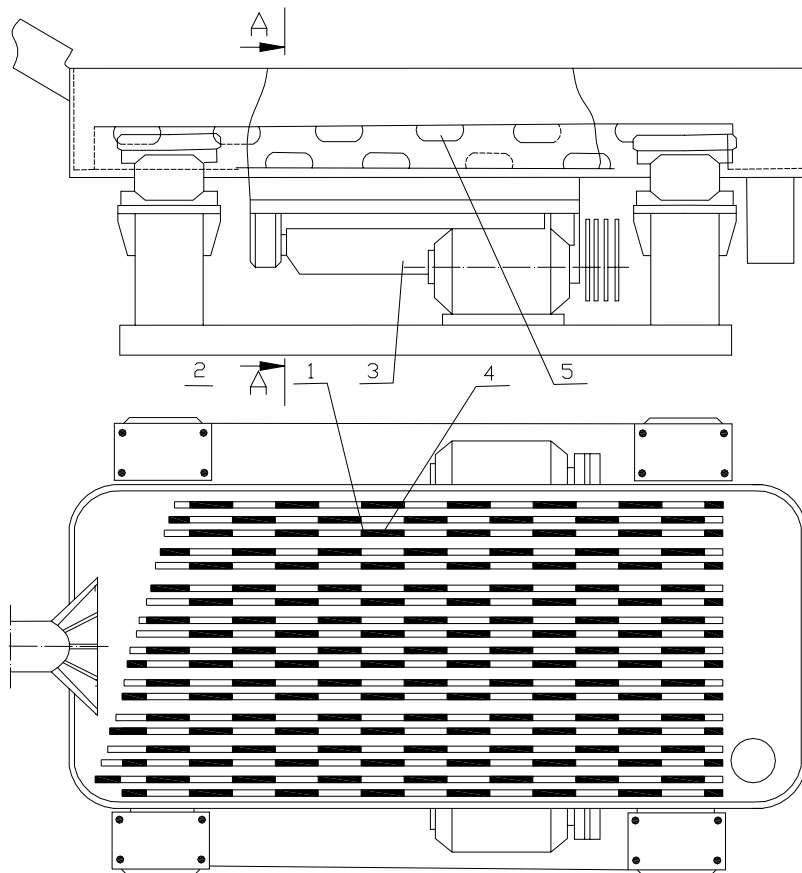


Рис. 1. Виброактиватор: 1 - лоток; 2 - горловина с делителем лотка; 3 - электродвигатель; 4 - перегородки; 5 - окно

Кроме этого, вибрация способствует более равномерному распределению цементного клея между зернами вяжущего и микрозаполнителя, что резко снижает вязкость смеси. Это особенно важно вследствие вредного влияния избытка воды на прочность закладки цемента водой.

В настоящее время разработаны и применяется ряд виброактиваторов непрерывного действия. Виброактиватор (рис. 1), который состоит из рамы, лотка и вибратора. Смесь через горловину с делителем потока 2 и перегородками 4 поступает на лоток 1, который разделен на мелкие каналы,

сообщающиеся через расположенные в перегородках окна 5. Под действием силы гравитации и направленной возмущающей силы вибратора смесь, поступающая через горловину на лоток, приобретает сложное зигзагообразное движение, результирующая которого проходит по диагонали лотка. Через окна смесь попадает в соседние каналы, передвигаясь вверх или вниз в зависимости от расположения окон в результате чего происходит соударение зерен цемента с зернами заполнителя, разрушение зерен цемента и активное перемешивание смеси.

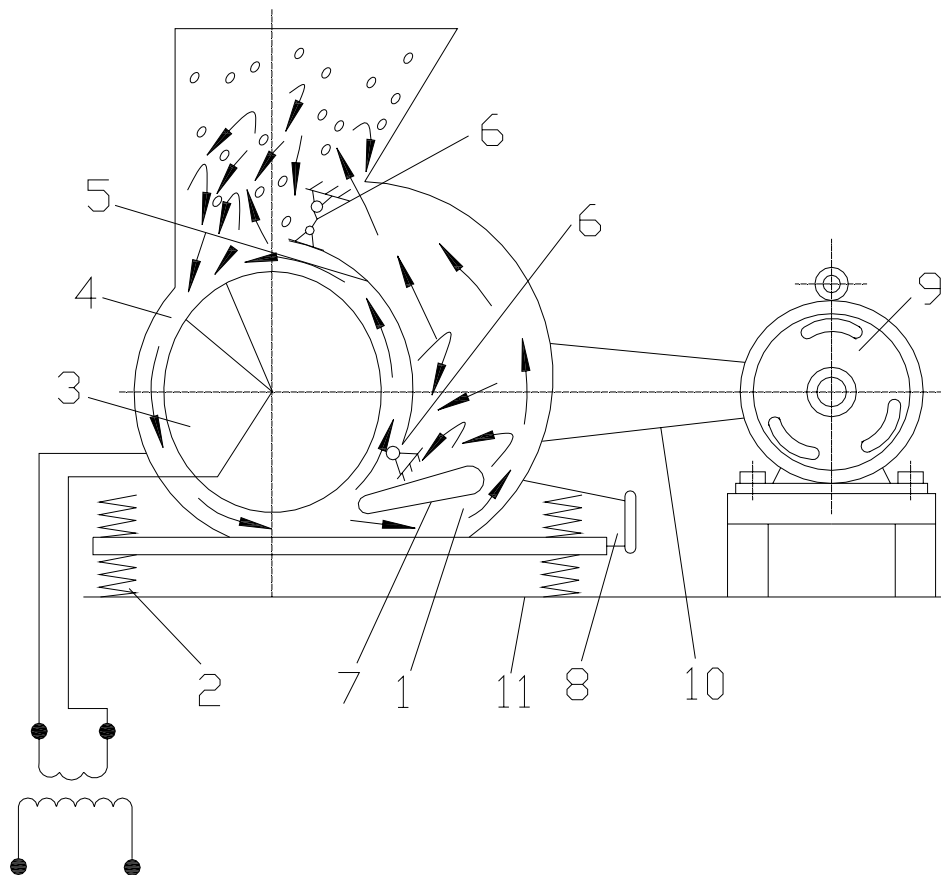


Рис. 2. Вертикальный вибросмеситель: 1 – корпус; 2 – упругие опоры; 3 – ротор; 4 – дебаланс; 5 – откидной щиток; 6 – шарниры; 7 – рассекатель; 8 – разгрузочное устройство; 9 – электродвигатель; 10 – клиноремённая передача; 11 – станина

Изменением угла наклона лотка регулируется время активации.

Техническая характеристика виброактиватора: амплитуда колебаний - 3 мм, частота колебаний 1500-6300 кол/мин, угол наклона лотка - 0-7°. Промышленные испытания активатора показали, что при частоте колебаний 3500 и угле наклона 0° прочность смеси увеличивается в 1,5-2,5 раза, а расход цемента снижается до 25 %.

Вертикальный вибросмеситель (рис. 2) состоит из корпуса б, грузонесущего органа 5 (навитая на трубу по спирали стальная пластина). Спи-

ралевидная форма рабочего органа служат для увеличения пути прохождения смеси по вибросмесителю. Рабочий орган устанавливается на пружине 2, служащей демпфером колебательной системы, а его верхней опорой служит втулка 3, которая крепится неподвижно на приемной воронке 4. Вибропривод 1 расположен на валу грузонесущего рабочего органа в верхней его части. Смесь готовится предварительно в лопастном смесителе и поступает в приемную воронку и, двигаясь вниз по рабочему органу, подвергается воздействию вибрации. Техническая характери-

стика вибратора: амплитуда колебаний 0,6 мм, частота вибраций-50 Гц, оптимальное время активации 1-2 мин. Установлено, что прочность образцов при обработке смеси повысилась на 1/3, расход цемента снизился на 20 %, водовяжущее отношение на 25 % .

Общим недостатком лотковых виброактиваторов является то, что смесь двигаясь по лотку забивает его каналы, окна, переливается через края лотка. При дальнейшем совершенствовании их конструкции виброактиваторы могут применяться в горном деле.

После прекращения вибрирования, связи разрушенные между частицами восстанавливаются и вязкость смеси повышается. Следовательно, необходимо воздействие на закладочный материал на всем протяжении транспортирования.

Суть вибротранспортирования заключается в придании трубопроводу продольных колебаний, в результате чего в пристенном слое смеси образуется область тиксотропного разжижения снижающая сопротивление движению.

Установлено, что использование виброактивации возможно при скоростях транспортирования смеси до 0,5-0,8 м/с, эффект достигается при частоте колебаний более 15 Гц при амплитуде 0,2-0,4 мм, а наиболее интенсивное перемещение смеси по трубопроводу происходит при частоте 40-200 Гц.

Использование вибротранспортирования закладочных смесей на рудниках возможно при использовании эксцентриковых вибраторов устанавливаемых на трубопроводе. Опоры-амортизаторы, на которых установлен трубопровод, придают направленность колебаний. Угол вибрации составляет 45°.

Достоинство вибротранспортирования является простота конструкции вибраторов и опор трубопроводов, небольшие энергозатраты, улучшенные транспортабельные свойства, оперативность ликвидации пробок. Ограничением широкому применению является необходимость их растекания в камерных под углом не более 8°, что обусловлено минимально допустимой подвижностью закладочной смеси. Другой сложностью применения вибротранспортирования является то, что для образования в пристенном слое смеси области тиксотропного различия необходимо, чтобы не мене; 80 % инертного заполнителя имело (фракцию-34 мк).

Установка виброэлектротурбулентного активатора-смесителя, имеющая емкость с ротором, укрепленную на упругих опорах, позволяет одновременно использовать три способа активации: турбулентное перемешивание, вибро - и электроактивацию. При работе установки вращение ротора обеспечивает турбулентновихревое движение, закладочной смеси, наличие упругих опор-вибрацию, а между ротором и корпусом ёмкости подается напряжение, что позволяет получить эффект злектроактивации. Для этой установки не исключено проявление других способов активации: микроактивации, магнитная обработка воды, влияние ультразвука. Для улучшения реологических свойств возможно применение смеситель-активатора.

Электромагнитная обработка воды

Методы физико-химической активности в технологии закладочных работ начали использоваться относительно недавно. Электромагнитная активация воды получила развитие в конце 80-х годов прошлого столетия.

Впервые электромагнитная активация воды затвердения твердеющей закладки успешно применена на рудниках Кривого Рога и на Зырянском комбинате. Прирост прочности закладки составил 25-40 %. Использование электромагнитной активации воды при приготовлении бетонной крепи на предприятиях повышает прочность бетона на 20-30 %, подвижность на 50 %, время начала схватывания сокращается в 2,5-3 раза.

Механизм омагничивания воды представляется как изменение ее полной структуры в ассоциаты вплоть до разрыва связей Н-О.

При использовании установки трансформаторного типа, напряженность магнитного поля достигается путем введения немагнитных прокладок в набор П-образного магнитопровода.

Достоинствами этого метода являются снижение водоотделение смеси, повышение однородности, улучшение пластических свойств теста, более полное вовлечение в процесс воды и цемента. Применение омагниченной воды позволяет снизить расход шлака на 30 % при фиксированной прочности 7-8 МПа.

Внедрение этого метода может снизить расход цемента на 50 кг/м^3 при сохранении прочности 5 МПа.

Предложено также использовать электрофизический метод управления качеством закладочного массива с использованием высоковольтного электрического разряда в цементном растворе. Экспериментальные исследования цементных растворов применительно к условиям Текелийского рудника показали, что при водоцементном отношении 0,8-1,8 расход энергии в импульсе составляет 4500 Дж – 3600 Дж соответственно. При этом достигается прирост прочности закладки в среднем на 30 %. Установ-

лено так же что введение в состав 0,2 % сульфидно-спиртовой бражки от массы цемента снижает расход энергии до 40 %.

Химические добавки

Одним из наиболее эффективных методов активации закладочной смеси является применение химических добавок. Они применяются для:

- ускорения процессов твердения;
- увеличения дальности транспортирования закладочных смесей;
- обеспечения качественного заполнения выработанного пространства.

В настоящее время накоплен большой опыт введения химических добавок в строительные растворы и бетоны. В СССР около 30% бетонных смесей производятся с химическими добавками. При этом используются около 60 индивидуальных и комплексных добавок.

Введением в состав химдобавок достигается;

- снижение на 12 % расхода цемента и повышение прочности смеси на 25 %;
- улучшение технологических свойств смеси (укладываемости в очистном пространстве, однородности, нераслаиваемости и др.);
- регулируемость потери подвижности твердеющей смеси во времени, скорости процессов схватывания, твердения.

Согласно существующей классификации добавки делятся на 4 класса:

- добавки, реагирующие с вяжущими веществами с образованием труднорастворимых или малодиссоциированных соединений;
- добавки, влияющие на растворимость минеральных вяжущих и не вступающие с ними в химическую реакцию;

- добавки готовые центры кристаллизации (затравки);
- добавки ПАВ, адсорбирующихся на зернах вяжущих и гидратных образований.

Комплексные добавки делятся на 2 категории;

- состоящие из двух и более добавок одного класса;
- сочетание добавок различных классов.

Следует отметить, что комплексные добавки имеют ряд преимуществ перед индивидуальными:

- они обладают полифункциональностью действия, т.е. оказывают влияние сразу на несколько характеристик твердеющей смеси;
- существенно усиливают какой-либо эффект, предельно достигаемый при введении однокомпонентных добавок;
- удается резко уменьшить или полностью удалить нежелательное побочное действие каждой составляющей комплексной добавки;
- большая универсальность действия или независимость получения эффекта от химико-минералогического состава цемента.

По технологии ведения закладочных работ и требованиям предъявляемым в горном деле к материалам, закладочные смеси отличаются от строительных бетонов. Закладочные смеси обладают меньшей жесткостью, чем строительные бетоны, имеют больший угол растекания и водовязущее отношение, в них входят многокомпонентные вяжущие.

Применение химдобавок в горном деле в настоящее время находит широкое применение. Известно применение полиакриламида на Текелийском руднике. В США и Канаде в твердеющую закладку вводят "Цианофил 142".

Снижение расхода цемента в закладочной смеси возможно при введении в смесь искусственные пластификаторов. Так, использование 0,5-0,7 кг/м³ сульфатного шелока (отхода целлюлозно-бумажного комбината) позволило снизить расход цемента с 120 кг/м³ до 70 кг/м³ при постоянном расходе медно-никелевого шлака 300-350 кг/м³. При этом на 23 % снизилось количество вода затвердения и объемный вес с 2,4 т/м до 1,9 т/м³.

Исследовались активаторы твердения вяжущих, такие как вода ее смесь с не гашеной известью, едкий натр, сульфат натрия, хлористый кальций, нитрит-нитраты кальция и др.

В качестве ускорителя твердения весьма эффективно использовать комплекс хлоритовых солей: NaCl – 20 %, KCl – 0,6 %, CaCl₂ – 0,24 %, MgCl₂ – 1,3 %, CaSO₄ – 0,27%, Br – 0,09 %, CO₂ – 0,003 %. Применение растворов хлористых солей повышает на 25-45 % прочность образцов приготовленные на пресной воде.

Институтом "Уннпромедь" исследовалась пластифицирующе –воздухововлекающая добавка - отход производства фталевого ангидрида. Установлено, что замена этим отходом 0,15 % цемента позволяет сократить на 25 % расход цемента.

На основании имеющегося опыта использования добавок в о приготовлении строительных растворов можно ориентироваться на

применение наиболее пригодных по условиям стоимости, дефицитности химдобавок в твердеющих смесях. Однако окончательный вывод можно будет сделать после проведения лабораторных исследований для конкретных промышленных условий.

Анализ литературных источников показал, что в строительной промышленности выделены количественные и качественные закономерности меха-

Добавка	Оптимальное кол-во добавки % кг	Снижение расхода цемента за счет ввода добавки, %
1. NaCl	1/3	4-8
2. CaCl ₂	1/3	4-10
3. Na ₂ SO ₄	1/3	4-8
4. ССБ, СДБ	0,2/0,6	2-5
5. СНВ	0,01/0,03	4-8
6. ЦНИПС-1	0,01/0,03	4-8
7. ВЛКЖ	0,1/0,3	4-8
8. Мылонафт	0,1/0,3	4-8
9. СПД	0,01/0,03	4-8

низма действия добавок для жестких и малоподвижных бетонных смесей с низким водоцементным отношением. В отличие от бетонных твердеющие закладочные смеси характеризуются большой подвижностью.

Исследованы различные добавки (ускорители твердения и ПАВ) и дана им оценка, а так же выполнены ориентировочные расчеты снижения расхода вяжущего при введении некоторых химических добавок.

Из таблицы видно, что введение добавок снижает расход цемента. Необходимо также учитывать, что применение добавок улучшает реологические характеристики смеси, что отразится на снижении расхода электроэнергии, увеличении длины транспортирования закладочной смеси повысится интенсивность отработки месторождения.

Анализ показывает, что большая часть добавок – это органические ПАВ, которые делятся на 2 группы – гидрофильные – повышающие смачиваемость вяжущего с водой и гидрофобные – понижающие.

Регуляторы реологических свойств

Гидрофильные молекулы пластифицирующих добавок (ССБ, СДБ) приводят к образованию вокруг вяжущего водных оболочек, препятствующих слипанию гидратирующих зерен вяжущего в хлопья (флокулы) и увеличивают подвижность цементного

теста. Введение этих добавок снижает скорость гидратации и твердения смеси. Регулирование скорости твердения ($CaCl_2$, $Ca(NO_3)_2$, и др.). Мылонафт, асидол, ГКЖ-10 – гидрофобные добавки. Они адсорбируются на зернах цемента в виде мельчайших моно-мономолекулярных слоев, образуя на их поверхности водоотталкивающую пленку, которая также замедляет процесс твердения смесей. Для ускорения этого процесса вводят ускоритель твердения ($MgCl_2$ и др.).

Глины используют как хорошие пластификаторы. Однако для прочности, глинистые добавки – вредные примеси. Наличие глины резко снижает прочность закладочного массива. В то же время наличие глины в закладочной смеси повышает сроки затвердевания, т.к. глина плохо отдаёт воду. Глину, в качестве добавки, рекомендуют использовать в тех случаях, когда активность вяжущего выше необходимой для получения заданной прочности. Для цементного вяжущего высокой активности возможны добавки глинистых минералов: бентонита до 1 % и каолина до 30 % от веса заполнителя.

Черный шлол (ЧШ) – хороший пластификатор при введении 0,1 % от веса цемента, а оптимальное содержание мылонафта не более 0,08 %.

Сильным пластификатором является кремнийорганическая жидкость (ГКЖ-10 (Водно-спиртовый раствор этилсиликата натрия). Добавка ГКЖ-10 в количестве 0,1-0,5 % от веса цемента замедляет процесс схватывания на 3-16 часов, а 0,5-1 % увеличивает подвижность цементного теста с 3,8 до 7,5 см.

Большой эффект дает использование суперпластификаторов (СП), разработанных на основе полимеров (например, сульфурованная меланиноформальдегидная смола). Введение СП в количестве 0,2-5 % от массы цемента увеличивает подвижность смеси до 50 см при обычных расхода воды.

Регуляторы процессов схватывания и твердения вяжущих.

Самая распространенная добавка $CaCl_2$, являющаяся катализатором для двух и трехкальциевых силикатов и реакцией с трехкальциевым амонином и черырёхкальциевым алюмоферитом с образованием хлоралюминатов. Отрицательным моментом является вызываемая им (в количестве 1,5-2 %) коррозия металла трубопровода. Используются также до 1-1,5% хлористый и азотнокислый натрий, позволяющие повысить прочность растворов в 1,5-2 раза. Для снижения коррозии используют нитрит натрия $NaNO_2$.

Регуляторы структуры вяжущих.

К регуляторам структуры вяжущих относят: гипс, алюминиевую пудру и др. Гипс – устраняет усадку бетонов на тонкоизмельченном вяжущем, поскольку реакция гипса с амонинитным составляющим цемента происходит с образованием гидросульфаталюмината кальция, который при кристаллизации расширяется. Использование гипса с высокоалюминатными цемен-тами позволяет получить безусадочные расширяющиеся бетоны. Алюминие-

вая пудра образует ячеистую структуру в закладочном массиве при атом уменьшается объемный вес и увеличивается полните закладки.

Уплотняющие добавки: амонинат натрия, хлористое железо, водорастворимые смолы ТЭГ и ДЭГ, мочевиноформальдегидная смола МФ-17, также являются регуляторами структуры вяжущих. Введение 1-3 % хлористого железа от веса вяжущего повышает прочность на 20-35 %. Для повышения прочностных и технологических свойств твердеющих смесей на основе граншлака, золошлаковых отходов ГРЭС в качестве добавок рекомендуются использовать адипинат натрия (2-5 л/м³), гипсо-щелочные добавки (18 и 5 кг/м³), хлористый кальций (8-12 кг/м³, ХСТН (4-10 кг/м³).

Термообработка (обжиг) компонентов закладочной смеси

Тепловая обработка в варочных котлах

Этот способ получения применяется при небольших объемах производства, так как оборудование и топливное устройство их достаточно просты, рис. 3. Недостатки этого способа – невозможность использования мелочи гипсового камня и неравномерность обжига.

При температуре около 200 °С гипс переходит в растворимый ангидрит. Поэтому весьма важно в течение процесса варки в котлах все время контролировать температуру, по возможности не доводя ее до 220 °С и ни в коем случае не допуская превышения хотя бы на короткий срок названного предела.

По схеме производства строительного гипса с применением варочных котлов камень в кусках размером 300-500 мм доставляется из рудников и карьеров на завод, где подвергается дроблению в щековых и молотковых дробилках. В щековых дробилках осу-

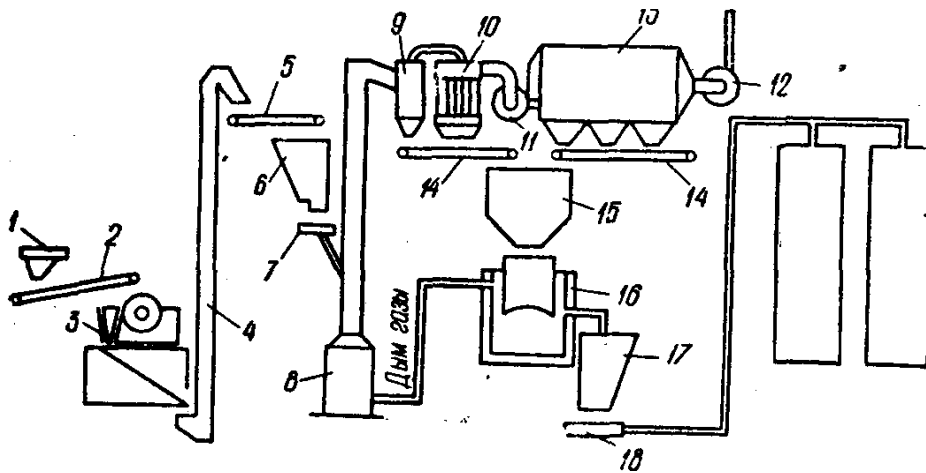


Рис. 3. Схема производства строительного гипса с применением варочных котлов: 1 – приемный бункер камня; 2 – пластинчатый транспортер; 3 – дробилка; 4 – элеватор; 5 – транспортер; 6 – бункер гипсового щебня; 7 – тарельчатый питатель; 8 – шахтная мельница; 9 – сдвоенный циклон; 10 – батарея циклонов; 11 и 12 – вентиляторы; 13 – электрофильтр; 14 – винтовой транспортер; 15 – бункер гипсового порошка; 16 – гипсоварочный котел; 17 – бункер выдерживания; 18 – пневмонасос; 19 – склад готового вяжущего

существляется первичное дробление камня до размера кусков 30-50 мм, в молотковых дробилках - вторичное дробление до размера частиц 0-15 мм. Все чаще начинает применяться одностадийное дробление в молотковых дробилках до величины частиц 0-25 мм.

Измельчение гипсового щебня производят в аэробильных, рудничных, роliko-маятниковых и других мельницах. Помол гипса в мельницах должен обеспечивать получение порошка преимущественно с кубической (а не лещадной) формой частиц. Это создает условия для наиболее быстрого и равномерного удаления гидратной воды из кристаллов гипса. Лучшими для этого являются мельницы, измельчающие материал ударным воздействием, например шахтные, а также роliko-маятниковые мельницы. В этих мельницах помол двуводного гипса совмещен с операцией сушки. Температура газов для сушки при входе в мельницы колеблется от 300 до 500 °С.

Для достижения требуемой тонкости помола гипса (не более 15 % остатка на сите № 02), скорость газового потока в шахтной мельнице и помольной камере роliko-маятниковой мельницы, должна составлять, соответственно, 2,8-4 и 4-6 м/сек. Производительность шахтных и роliko-маятниковых мельниц, применяемых в настоящее время, равна 3-5; 12-25 т/ч, для первых и 10 т/ч для вторых.

Из мельниц газопылевая смесь проходит через систему пылеочистительных устройств. Движение газов в системе принудительное, осуществляется оно с помощью центробежных вентиляторов.

Обжиг во вращающихся печах (сушильных барабанах)

На обжиг направляют фракции гипсового щебня 10-20 и 20-35 мм. Фракция 0-10 мм является отходом производства и используется в качестве муки для гипсования почвы или после дополнительного помола идет

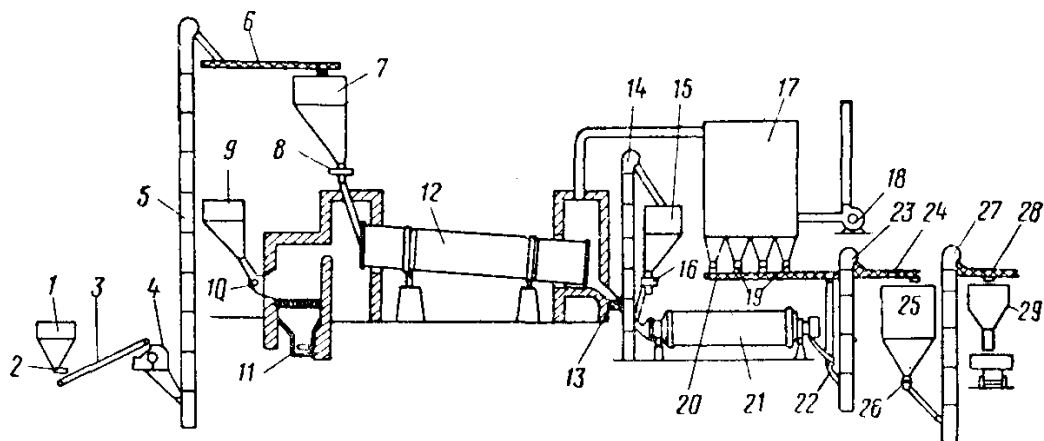


Рис. 4. Схема производства гипса с обжигом во вращающихся печах (сушильных барабанах): 1 – приемный бункер; 2 – лотковый питатель; 3 – ленточный транспортер; 4 – молотковая дробилка; 5, 23, 27 – элеваторы; 6 – шнек; 7 – бункер шепня; 8 и 16 – тарельчатые питатели; 9 – бункер угля; 10 – пневмозагрузчик угля; 11 – скребковый транспортер; 12 – сушильный барабан; 13, 19, 20, 24, 26, 28 – шнеки; 14 – элеватор; 15 – бункер обожженного шепня; 17 – пылесадительная камера; 18 – вентилятор; 21 – шаровая мельница; 22 – течка; 25 и 29 – бункер полуводного гипса

на обжиг в варочных котлах. Фракции 10-2- и 20-30 мм обжигаются отдельно. Материал элеватором передают в расходный бункер и с помощью тарельчатого питателя непрерывно направляют во вращающуюся печь.

Обжиг гипса может осуществляться за счет тепла газов направляемых в печь, либо за счет передачи тепла газов через стенки печи, как это происходит при наружном обогреве барабана (рис. 4).

По направлению горячих газов относительно обжигаемого материала различают печи, работающие по принципу прямотока (направление движения газов и материала в печи совпадает) и противотока (газы и материал движутся навстречу друг другу). Последняя схема предпочтительнее, так как отличается пониженным расходом топлива.

Температура газов в печах при входе и выходе их соответственно равна 950-1000 и 17-220 °С, при

прямотоке и 750-800 и около 100 °С при противотоке.

По схеме производства гипса с обжигом в барабанах, в зависимости от размера кусков исходного гипсового камня и кусков, направляемых в печь, дробление осуществляют по одно- или двухступенчатой схеме в шнековых или других дробилках. Исходное сырье дробят до размера частиц 0-35 мм в диаметре.

Сушильные барабаны могут работать на твердом, жидком и газообразном топливе. Удельный расход условного топлива в них составляет около 5-6 % массы готового продукта.

Обожженный материал направляется в расходные бункера, расположенные у шаровой мельницы. Выдерживание его в бункерах обычно способствует улучшению продукта вследствие дегидратации неразложившегося двуводрата за счет тепла, аккумулярованного в материале, и перехода растворимого ангидрита в полуводный гипс.

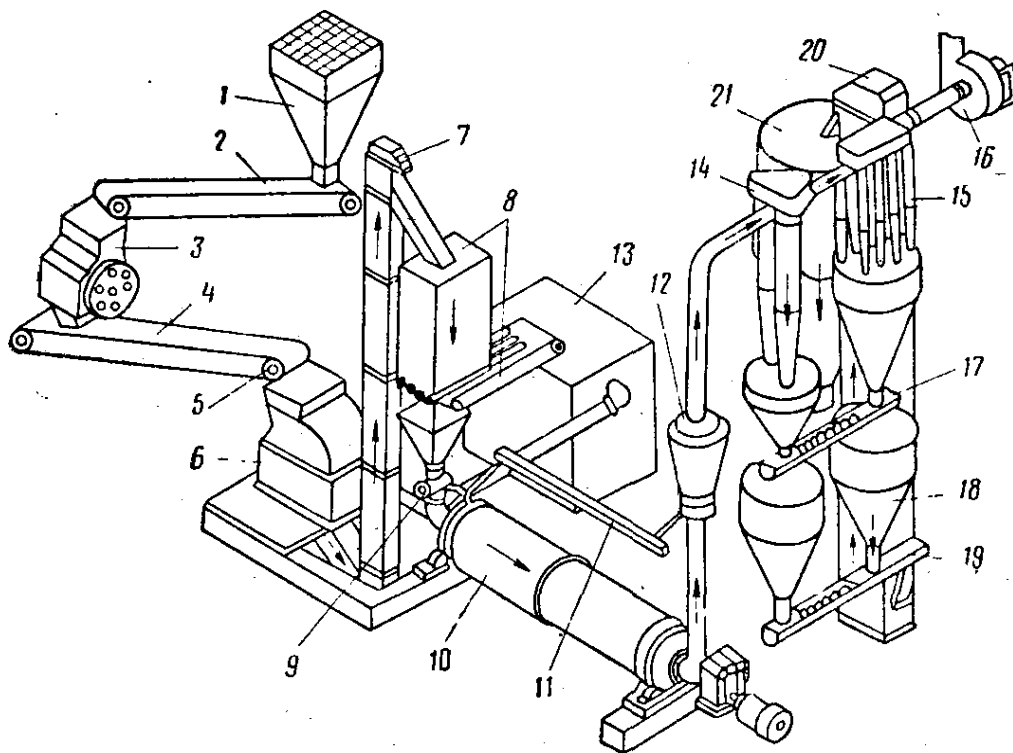


Рис. 5. Схема совмещенного помола и обжига гипса: 1 – приемный бункер; 2 – ленточный транспортер; 3 – дробилка щековая; 5 – магнитный сепаратор; 6 – дробилка молотковая; 7 – элеватор ленточный; 8 – весовой дозатор; 9 – барабанный затвор; 10 – мельница шаровая; 11 – шнек возврата материала; 12 – сепаратор воздушный; 13 – топка; 14 – система пылеосаждения I ступени; 15 – система пылеосаждения II ступени; 16 – вентилятор высокого давления; 17 – распределительный шнек; 18 – бункер; 19 – шнек; 20 – элеватор цепной; 21 – бункер готовой продукции

Измельчение обожженного материала производят в одно- или двухкамерных шаровых мельницах.

Обжиг гипса во вращающихся печах идет непрерывно и поддается автоматизации. Получающийся при этом гипс отличается пониженной водопотребностью и повышенным качеством. Этот способ производства в настоящее время получил применение в отечественной и зарубежной практике.

Производство вяжущего на основе гипса во взвешенном состоянии

Эта технология включает следующие основные операции: дробление

камня в щебень до размеров 0 – 40 мм; совмещенные сушку, помол и обжиг его в мельницах (шахтных, шаровых и т. п.) при температуре входящих газов 600–700 °С; осаждение обожженного материала в пылеосадительных аппаратах; транспортирование на склад готовой продукции (рис. 5).

Схемы получения гипса этим способом отличаются друг от друга типами устанавливаемых мельниц и дробилок, а также наличием или отсутствием рециркуляции газов, прошедших пылеосадительные устройства.

Рециркуляция, хотя и связана с дополнительным расходом электроэнергии, позволяет использовать для разбавления горячих газов вместо холодного воздуха газы с температурой 120–130 °С.

При совмещенном помоле и обжиге двуводного гипса дегидратация в основном идет в мельнице, а также в потоке газов при прохождении пылесадительных устройств.

В тихоходных шаровых мельницах, где материал находится значительное время, процесс дегидратации протекает преимущественно в них. В быстроходных (аэробильных, молотковых и т. п.) мельницах материал задерживается короткое время, и процесс дегидратации происходит в основном в трубах и пылесадительных устройствах, в результате чего происходит неполная дегидратация двуводного гипса. Кроме того, кратковременное воздействие газов с высокой температурой создает предпосылки, к получению полуводного гипса в виде частичек с очень, пористой структурой, а также с примесью растворимого ангидрита. Это обуславливает его большую водопотребность и быстрые сроки схватывания (2-4 мин).

Вязущее надлежащего качества получают на установках с тихоходными шаровыми мельницами.

Нетрадиционные методы

Использование феррогальванических реакторов (ФГР). ФГР – представляет собой емкость, заполненную смесью железного и медьсодержащего скрапа. Возможна замена медьсодержащего скрапа: латунию, бронзой или графитом, который обладает более положительным электрохимическим потенциалом по отношению к железу. Применяется для обработки шахтной воды, содержащей твердые минеральные примеси, что приводит к коагуляции и соосаждению.

Одним из отрицательных факторов, снижающих прочность закладки из отходов обогащения является высокая степень дисперсности материала, что повышает расход вяжущего.

Феррогальваническое кондиционирование хвостов с высоким содержанием глинисто-смолистой фракции позволяет снизить расход цемента от 30 до 100 кг/м³. Этот прием позволяет исключить операцию дешламации. Коэффициент использования цемента при этом возрастает в 2-3 раза. Разработан феррогальванический реактор коленного типа производительностью в 8-10 раз выше (на единицу объема), чем у барабанного реактора. Установлено, что при применении феррогальванического реактора коленного типа, позволяет достичь прироста прочности закладочного массива на 40-60 %. Отстойные осадки очистных сооружений рудников можно добавлять в закладочную смесь в качестве активизирующей добавки в количестве до 10 % от веса инертного заполнителя. До 15 % могут быть введены в закладочную смесь с целью захоронения без снижения прочности. Коэффициент использования цемента возрастает с 0,02 до 0,06 для Гайского и с 0,045 до 0,07 для Березовского рудников.

Выводы

- в цветной металлургии накоплен большой опыт по использованию твердеющих закладочных смесей. Основным вяжущим компонентом является цемент. В последнее время ведутся работы по использованию отходов производства с целью снижения расхода дорогостоящих цемента и шлака и замене их отходами других отраслей промышленности, химической, энергетической, пищевой, целлюлозно-бумажной и др.);

- применяемые на практике составы закладочных смесей харак-

теризуются использованием нестандартных заполнителей (горных пород, отходов обогащения и др.) и повышенным до 450-500 л/м³ содержанием;

- выполненный аналитический обзор применяемых и разрабатываемых способов активации позволяет сделать вывод, что доизмельчение будет эффективным в случае применении сложного вяжущего, включающего золы ТЭЦ или доменные шлаки и не эффективно для цемента;

- наиболее универсальным и эффективным методом активации является виброобработка смесей на стадии приготовления и транспортирования. Однако для его реализации не решено ряд вопросов – нет типового серийно выпускаемого оборудования (активаторов, электромагнитных вибраторов, упругих опор бетононоводов);

- заслуживает внимание электромагнитная активация компонентов смеси. Однако высокая чувствительность этого метода к внешним факторам (режим обработки, содержание солей, состав смеси и др.) не позволяет получать стабильные результаты;

- наиболее перспективным является: использование отходов производства, снижающих себестоимость и химических добавок, улучшающих ус-

ловия транспортирование закладочных материалов и качество искусственного массива, снижающих расход дефицитных и дорогостоящих вяжущих материалов;

- в качестве вяжущего, в основном, используют цемент, а также, в сочетании с цементом, металлургические шлаки, золы и гипсосодержащие материалы. При этом низкомарочные вяжущие вещества применяют только при их наличии вблизи рудников. Бесцементные гипсосодержащие вяжущие компоненты применяют редко;

- для придания гипсосодержащим материалам вяжущих свойств их подвергают глубокой термообработке в печах, котлах и сушильных барабанах с предварительным и последующим измельчением;

- гипсовое вяжущее имеет короткие сроки схватывания (2–4 мин), что ограничивает или практически исключает возможность его применения для закладки выработанного пространства при очистных работах. Это объясняется тем, что в процессе перемешивания литых смесей и последующей транспортировке до места укладки гипсовые материалы теряют свои вяжущие свойства и отрицательно воздействуют на формируемый закладочный массив, разупрочняя его.

ГИАБ

Коротко об авторах

Чистяков А.Н. – кандидат технических наук, главный горняк ОАО «Сильвинит»,
Хайрутдинов М.М. – кандидат технических наук, доцент,
Артюхов Е.В. – студент,
Московский государственный горный университет.

Доклад рекомендован к опубликованию семинаром № 15 симпозиума «Неделя горняка-2008». Рецензент д-р техн. наук, проф. *Е.В. Кузьмин*.