

Таким образом, предложена методика синтеза технологической линии обогащения позволяющая определить количество стадий измельчения, операций обогащения, ожидаемые показатели разделения исходя из размера вкрапленности ценного минерала, сепарационной характеристики разделительного аппарата, допустимого качества концентрата и потерь с отходами переработки.

Список литературы

1. Справочник по обогащению руд. Обоганительные фабрики, под ред. О.С. Богданова, Ю.Ф. Ненарокова, 2-е изд. Перераб. и дополн. – М.: Недра, 1984, – 358 с.
2. Младецкий И.К. Синтез технологий обогащения полезных ископаемых: Монография. – Днепропетровск: НГУ, 2006. – 161 с.
3. Левченко К.А., Младецкий И.К., Швед В.В., Чвилева А. Особенности стадийного выделения концентрата. Синтез структуры разделительных блоков // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2015. – Вип. 60 (101). – С.31-42.
4. Випробування і контроль процесів збагачення корисних копалин: Навчальний посібник. – І.К. Младецкий, П.І. Пілов, К.А. Левченко, Я.Г. Куваєв. – Дніпро: Журфонд, 2019. – 204 с
5. Левченко К.А., Младецкий И.К., Стадийное выделение тонких фракций при обогащении полезных ископаемых // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2016. – Вип. 62 (103). – С. 3-11.
6. Левченко К.А., Пілов П.І., Младецкий И.К. Методика аналитического расчета технологических показателей обогащения полезных ископаемых // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2014. – Вип. 57 (98). – С. 66-74.
7. Ахметшина И.В, Младецкий И.К., Принцип формирования сепарационного блока // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2014. – Вип. 56 (97). – С. 72-78.
8. Младецкий И.К., Расчет замкнутых циклов измельчения с классификаторами // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2001. – Вип. 12 (53). – С. 36-44.
9. Младецкий И.К., Марюта А.Н Моделирование процесса магнитной сепарации руд. – Киев-Донецк: Вища школа, 1984. – 104 с.

Младецкий И.К., Левченко К.А., 2019

*Надійшла до редколегії 20.08.2019 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*

УДК 622.7

<http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.32772.96640>

А.С. КИРНАРСКИЙ, д-р техн. наук
(ФРГ, Мёнхенгладбах, «Инжиниринг Доберсек ГмбХ»)

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОБОГАЩЕНИЯ КАОЛИНА

Мировые ресурсы каолина оцениваются в 14,2 млрд т, в том числе на долю США приходится 9 млрд т. Мировое производство каолина составляет 46 млн т в год. Крупнейший производитель каолина – США, где ежегодно выпускают

порядка 8 млн т каолинового концентрата. Каолин належить до промислово важливим корисним копалинам. В наше часе світовий каолиновий ринок існує цифрою 5,92 млрд. долл. (США) з перспективою зростання в 2026 році до 9,88 млрд долл. (США). Такий зростання обумовлено вимогами рядового каолина в будівельній промисловості і збагаченого каолина як при виробництві високоякісної паперу, гуми і кераміки, так і розширенням його застосування в складі скловолокна в автомобільній і авіаційній промисловості. Найбільші імпортери каолина: Японія і Німеччина (7,5%), Люксембург (7,4%), Фінляндія (6,4%), Китай (6,2%) і Італія (5,8%). Найбільші експортери каолина: США, Бельгія, Велика Британія. Найважливіші гравці на світовому каолиновому ринку це компанії BASF (ФРН), Imerys (Франція), KaMin (США), Sibelco (Бельгія), Thiele Kaolin (США), Ashapura Group (Індія), I-Minerals (США), LB – Minerals (Чехія), Quarzwerke (ФРН), Stephan Schmidt Gruppe (ФРН), Kaolin AD (Болгарія і ФРН), AKW (ФРН). Саме ці концерни визначають рівень технології і техніки видобування і збагачення, вимоги до якості рядового каолина і концентратів.

Відрізняють каолин первинний, що утворюється на місці свого походження, і вторинний, що утворюється переважно за рахунок розмивання і переотложення в водоймах продуктів каолинового вивітрювання. Залишки каолина зазвичай розробляються відкритим способом з наступним збагаченням видобутої гірської маси сухим і/або вологим способом. В кар'єрі, наприклад на півночі – заході Англії, каолинові залишки розмиваються гідромоніторами високого тиску, при цьому глиниста частина репульпується, збирається на дні кар'єру і насосами перекачується на ОФ, а залишки первинних каолинових гранул екскаваторами відвантажуються в автотранспорт, за допомогою якого гірська маса доставляється в дробильний відділення, де вони підлягають дробленню в щелевій дробилці. Основна вимога до каолинового концентрату – його чистота. Хімічна формула каолініту – $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$. Згідно з цією формулою теоретичне вміст кремнезема становить 46,54%, глинозема – 39,5% і води – 13,96%. Зазвичай ці показники нижчі через наявність в вихідному каолиновому продукті залізо- і титаносодержачих домішок, які погіршують білизну і огнеупорність каолина. При призначенні технології збагачення каолинової гірської маси виходять з необхідної якості концентрату. Якщо останній призначений для гумо – технічної промисловості, то краще використовувати суху технологію збагачення, яка включає дроблення вихідного продукту до заданої крупності з наступною сушкою дробленого матеріалу в роторній сушильній камері і відсіюванні крупнозернистої фракції в пневмосепараторі. В цьому випадку концентрат повинен бути без сторонніх домішок, видимих неозброєним оком. Вміст триоксиду заліза (Fe_2O_3) залежить від якості концентрату і коливається в межах від 0,5% для марки КРТ до 2,0% для марки ККЖТ. Рештка на ситі 0,056 мм не нормується, хоча рештка на ситі 0,14 мм не повинна перевищувати 0,08 мм. Вологість нормується на рівні не вище 0,7%.

Основной недостаток сухого обогащения – потери наиболее ценной ультратонкой фракции при пневмокласификации, что ухудшает пластичность и связующую способность каолина. Кроме того, продукт сухого обогащения неоднороден по своим свойствам. Сухая технология применяется как исключение, мокрая как правило, потому что только последняя позволяет получать высококачественные и однородные концентраты, в частности для бумажной промышленности, что покрывает 50% всего мирового рынка каолинов. Современная схема мокрого обогащения каолинового минерального сырья включает непременно три технологических передела: подготовка каолина, его обогащение и обезвоживание продуктов обогащения.

Подготовительные технологические операции

Подготовка сырья начинается уже в карьере, так при работе гидромонитора высокого давления имеет место первичное распускание и дезинтеграция материала, а в процессе гидротранспорта происходит оттирка минеральных частиц. На обогатительной фабрике в голове процесса предусматривается промывка исходного материала, при этом глина отмывается от зернистой примесной фракции, а затем диспергируется под действием водяных струй. Обычно на этой операции применяют скруббер – бутары или промывочные барабаны. Но в последнее время стали устанавливать мощные высокоскоростные турбоглиномешалки, в которых каолиновые агрегаты эффективно разрушаются, распускаются, диспергируются, превращаясь в однородную глинистую суспензию, при этом трение между частицами, а также между частицами и стенками аппарата должно быть минимальным, чтобы не тратить энергию на его преодоление. Для эффективного смешивания необходимо создать наиболее сложную траекторию движения материала в рабочей камере при воздействии рабочих органов. Траектория потоков смешиваемого материала обеспечивается подвижными, предпочтительнее, вращающимися рабочими органами, а также неподвижными стенками рабочей камеры и/или стационарными лопастями, которые изменяют направление потоков. Загрузка с таких смесителей происходит сверху или сбоку от рабочей камеры. Разгрузка – снизу или сбоку. Примером такого устройства может быть мешалка, которая конструктивно состоит из наклонного (для создания вертикальных потоков) вращающегося цилиндра, оборудованного ассиметрично расположенной мешалкой. Если мешалка вращается в одну сторону с цилиндром создаются поперечные потоки, а если в противоположные стороны – встречные потоки. Скорости вращения цилиндра и мешалки регулируются. Для разгрузки диспергированного материала и предохранения его налипания на стенки и дно цилиндра предусмотрен специальный скребок. В центре донной части цилиндра имеется разгрузочное отверстие. Цилиндр помещается в неподвижный герметичный корпус, при этом возможна работа смесителя как под вакуумом, так и при атмосферном давлении. Контроль уровня материала в рабочем цилиндре осуществляется с помощью ультразвука или электромеханических зондов. Предусмотрены также зонды для измерения температуры и

Загальні питання технологій збагачення

содержания твердого. В смесителе есть централизованная система смазки. Возможен периодический или непрерывный режим работы. Непосредственно для распускания глины рекомендуются лопастные и/или импеллерные смесители фирмы «EIRICH». Наиболее простой в эксплуатации горизонтальный лопастной смеситель (рис. 1). Рабочая камера может быть изготовлена из стали или железобетона, футерованного керамической плиткой. Рабочий орган – вращающийся горизонтальный вал, оборудованный крестовиной с лопастями. Исходный продукт загружается сверху, а разгрузка – сбоку через трубу с краном. Такие аппараты уместны при небольшой производительности технологических линий.

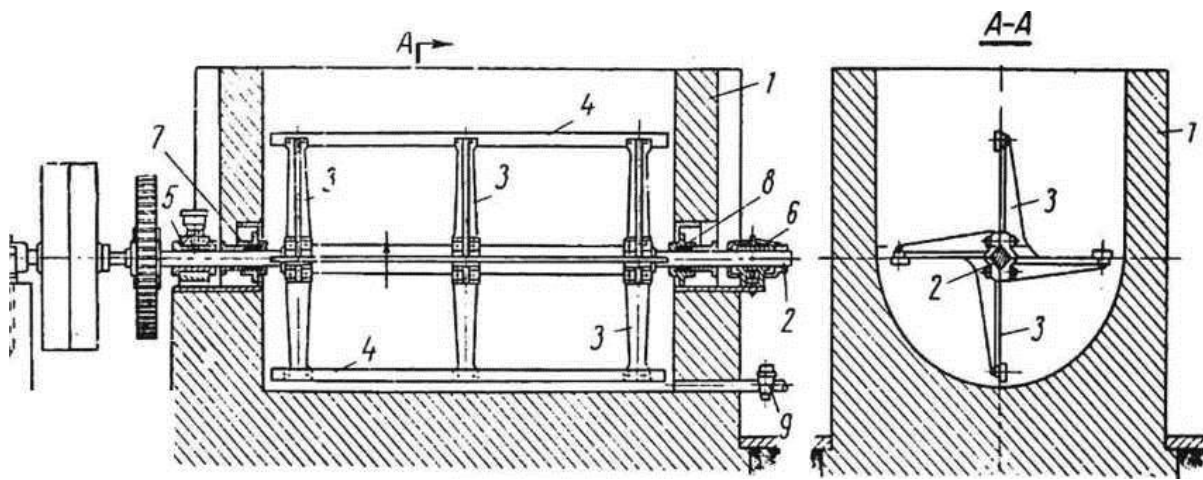


Рис. 1. Лопастной смеситель:
1 – корпус; 2 – горизонтальный вал; 3 – крестовина;
4 – лопасти; 5,6 – подшипники; 7,8 – сальниковые бусы

Вертикальный импеллерный смеситель (рис.2) обеспечивает более интенсивное перемешивание, распускание глины и поддержание во взвешенном состоянии глинистой суспензии.

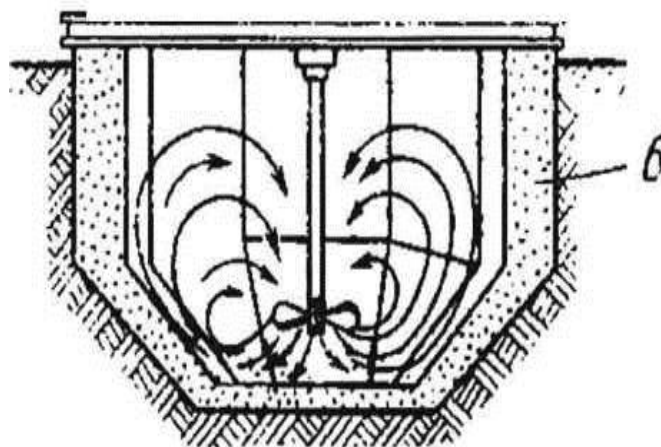


Рис. 2. Импеллерный смеситель:
6 – корпус

Рабочая камера импеллерного смесителя изготавливается в форме шести- или восьмигранной призмы, переходящей в усеченную пирамиду. Такая форма создает сложную траекторию горизонтальных и вертикальных потоков, создаваемых импеллером, частота вращения которого обычно составляет 100-500 об/мин. Диаметр импеллера варьирует в пределах от 0,2 до 1,0 м. Оптимальными считаются следующие соотношения геометрических размеров такого смесителя:

$$D = [D/(3...4)] \quad \text{и} \quad D = [1,5 \cdot H],$$

где d , D – диаметр импеллера и рабочей камеры соответственно, м; H – высота внутренней части камеры, м.

Так как каолиновые суспензии отличаются высокой стабильностью ввиду наличия разноименных зарядов на взаимодействующих поверхностях, то кроме механического воздействия рекомендуется использовать химические вещества – пептизаторы (дефлокулянты). В процессе их ионизации образуются катионы, которые притягиваются к отрицательным зарядам на плоской поверхности глинистых частиц, в результате чего они приобретают одноименные заряды и отталкиваются друг от друга. В качестве такого пептизатора может использоваться жидкое стекло, химическая формула которого Na_2SiO_3 , или органические коллоидные полимеры типа полиакрилата аммония и полиакрилата натрия. Расход диспергаторов обычно составляет 0,05-0,1% от массы обрабатываемого каолина. При употреблении пептизаторов следует считаться с их вредным влиянием на технологические свойства обогащенного каолина.

После промывки исходного продукта необходимо отделить крупнозернистую фракцию, при этом граничная крупность разделения назначается по результатам конкретного ситового анализа на натурной пробе исследуемого материала. Обычно граничная крупность изменяется в пределах от 0,04 до 0,8 мм, иногда до 20 мм. Зернистая фракция каолинов включает кварц, мусковит (белая слюда), оксиды железа и титана, которые резко ухудшают качество каоливых товарных продуктов, поэтому их необходимо удалять из процесса. Для этой цели обычно применяют песколовки, спиральные классификаторы, гидроциклоны, центрифуги и высокочастотные гидрогрохоты. Песколовки наиболее дешевые устройства, но наименее эффективные и требующие значительного времени отстоя (порядка 30 минут), при этом мусковит оседает в отстойнике не так быстро, как кварц, гематит и ильменит и загрязняет каолиновый продукт. Песколовки обычно применяют при содержании зернистой примеси до 15%. В противном случае прибегают к использованию гидроклассификаторов. Спиральные классификаторы выполняют функции не только классификатора, но и транспортного устройства, что удобно использовать при компоновке технологического оборудования по высоте. В то же время это оборудование не столь эффективное как гидроциклоны. Последние наиболее оптимально назначать

Загальні питання технологій збагачення

при крупности материала до 2 мм. Здесь следует считаться с тем, что гидроциклоны работают совместно с центробежными насосами, поэтому высокая эффективность разделения (50% и более) в них достигается при автоматизации работы ГЦУ, примером чего может быть фирменный продукт фирмы «Engineering Dobersek GmbH» – система Conticlass®.

В случае превышения верхнего предела крупности предпочтительнее использовать высокочастотные грохоты, в которых достигается максимально возможная эффективность разделения при минимальных затратах электроэнергии, умеренных капитальных затратах. В случае тонкозернистого материала удобно применять центрифуги, в частности, деканторы, которые способны разделить материал по двум граничным крупностям. В то же время, центрифуги требуют высоких капитальных и эксплуатационных затрат. На современных предприятиях, примером которого может быть каолиновая фабрика SOKA Ukraine в г.Казатин Винницкой обл., запущенная в эксплуатацию в 2106 году, на стадии классификации предпочитают устанавливать высокочастотные виброгрохоты. Особенно успешно применяются гидрогрохоты, которые оборудуются соплами для подачи чистой воды на промывку и отделение промытой крупнозернистой фракции от каолинового субстрата.

После подготовительных технологических операций переходим к основному технологическому переделу – обогащение каолина.

Обогащение каолина

Обогащение размытого каолина обычно осуществляется по крупности, плотности, смачиваемости и магнитной восприимчивости.

Прежде всего разделение исходного продукта идет по крупности, для чего применяют многостадийное гидроциклонирование, не менее трех стадий (рис.3) в случае получения каолиновой продукции для керамической и химической промышленности, а также товарной продукции, используемой в качестве белых наполнителей, например, при изготовлении пластмасс и резинотехнических изделий, кирпича и цемента, стекловолокна.

Согласно схеме на рис. 3 при 72% – ном содержания кл. – 40 мкм в питании основной гидрокласификации на выходе получаем в сливе контрольной гидрокласификации 96% кл. – 20 мкм, в в песках перечистой операции 0,5% кл. – 20 мкм. При производительности технологической линии 8 т/ч по твердому или 80 м³/ч по пульпе потребное количество оборудования составляет на первой стадии насос ВАРМАН 4/3 – АН и гидроциклон 400СУХ, на второй перечистой стадии – насос ВАРМАН 3/2 – АН и гидроциклон 150СУХ, а на третьей контрольной стадии – ВАРМАН 4/3 – АН и гидроциклон 400СУХ. Циркуляционная нагрузка в условиях перечистного гидроциклонирования равна 5,2%, а в условиях контрольного гидроциклонирования – 4,8%. Давление на входе в гидроциклоны первой, второй и третьей стадий гидрокласификации составляет соответственно 90, 95 и 90 кПа.

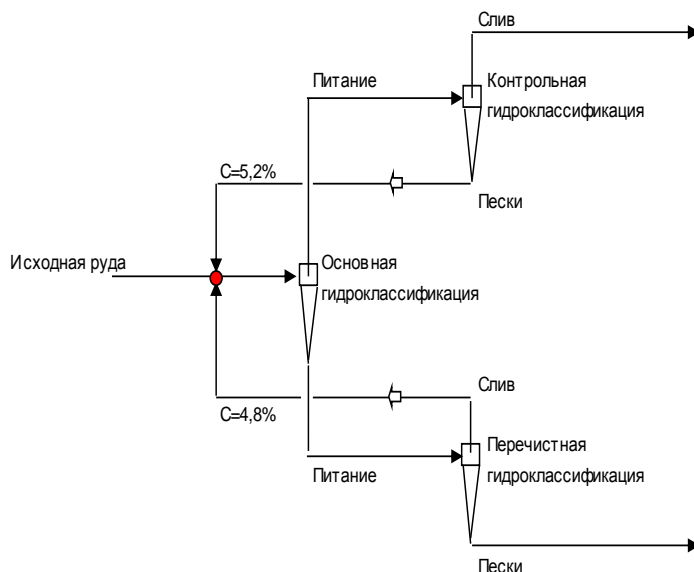


Рис. 3. Трехстадийная схема гидроциклонирования

Для повышения качества каолинового концентрата слив контрольной гидроклассификации центробежным насосом под давлением 2,66 бара подается в гидроциклонный кластер из восьми гидроциклонов диаметром 75 мм, при этом граничное зерно разделения составляет 9 мкм. На сливе получаем каолин для производства мелованной бумаги, картона и обоев. Для получения суперконцентратов белизной более 95% дисперсность каолина повышается до 100% кл. – 2 мкм. Разделение по такой граничной круности требует применения осадительных центрифуг типа декантеров с высокой интенсивностью центробежного поля (300-500g). В каолинах всех марок не допускается наличие посторонних примесей, прежде всего оксидов железа и титана. Для удаления этих примесей применяется селективная флокуляция, выщелачивание, флотация, высокоинтенсивная магнитная сепарация (ВИМС). Белизна каолина с 69% до 80-85% может быть повышена за счет селективной флокуляции железо- и титано-содержащих примесей, при этом важно поддерживать на оптимальном уровне концентрацию водородных ионов ($pH = 9$), так как в этом случае наличие отрицательных зарядов на поверхности каолиновых кристаллов способствует улучшению адсорбции указанных вредных примесей посредством флокулянтов на основе полиакриламида. Концентрация рабочего раствора анионных полиакриламидов ММ-349 и ММ-147 рекомендуется поддерживать равной 0,1%, а удельный их расход на уровне 20 г/т. Химическое обогащение (отбеливание) обеспечивают наиболее полную очистку каолинов от красящих оксидов, прежде всего оксидов железа и осуществляется преимущественно тремя методами: сублимация активными газами железа при высокой температуре, перевод оксидов железа в магнитную форму с последующей магнитной сепарацией, активация каолина кислотами и их солями при различной температуре и давлении. Иногда химическое обогащение совмещается с ультразвуковой обработкой каолиновой суспензии, структурные связи которой разрушаются под действием

упругих калібаний звукової волни. В Чехії отримав поширення метод гидросульфитного отбілювання попереднього підготовленого по крупності каолина в реакторах в умовах бескислородної середовища з послідовною промивкою в воді і обезвоживанням на прес – фільтрах. В США отбілювання каолина виробляється гидросульфатом в сернокислотній середовищі. На Присяновському каолиновому комбінаті в Україні ще в 70-і роки освоїли технологію отбілювання попереднього підготовленого по крупності в високонапорних гідроциклонах діаметром 32 мм і декантерах, а потім згущеного до щільності 1,1-1,13 т/м³ первинного каолина в ваннах з мешалками з подачею концентрованої серної кислоти і гидросульфита натрію при рН = 2-2,5. В процесі отбілювання тривалентне залізо переходить в двивалентну форму, технологічним результатом чого є поліпшення білизни товарного продукту. По завершенню процесу на виході отбілюючих ванн суспензію нейтралізують, додаючи динатрійфосфат і розчин їдкого натру. Щільний витрата серної кислоти становила 18 кг/т, гидросульфита натрію – 5 кг/т, їдкого натрію – 16,5 кг/т, а динатрійфосфата – 13,5 кг/т. Як бачимо, процеси хімічного вищелачивання складні і затратні, вимагають спеціального обладнання і супроводжуються багаторазовими промивками, при цьому взаємодія каолина з хімічними реагентами при підвищеній температурі відбивається на якості товарного продукту, що обмежує його широке застосування в промисловості. Наступний збагачувальний процес – пенна ультрафлотація, яка здійснюється на носіях (тонкозмельченний вапняк -40 мкм). Вапняк з каолиновою пульпою перемішується в окремому контактному чані з додаванням сульфата амонію (NH₄)₂SO₄. Щільний витрата вапняка – 90-182 кг/т, а сульфата амонію – 1,8-3,6 кг/т. Після першого контактної чана пульпа з вмістом твердого 20% поступає в другий і третій контактні чани, куди додаються наступні флотореагенти: таллове масло (1,36-0,77 кг/т), амоніачна вода (1,0 кг/т) і кальцієва сіль нафтяної сульфонові кислоти (1,36-2,7 кг/т). Після кондиціонування каолиновою пульпою виробляється оттирка впродовж 3-5 хвилин і без обезшламливання пульпа направляється на основну зворотню флотацію при вмісті твердого 10%. Пенний продукт основної флотації піддається трьом очищенням при вмісті твердого відповідно 8, 6 і 4%. Камерний продукт (каолиновий концентрат) при рН = 2,6-3,0 направляється на згущення. Флотація здійснюється в механічних машинах Денвер або в колонних флотомашинах. При вмісті TiO₂ в харчуванні флотації на рівні 2,5% в каолиновому флотоконцентраті отримують 0,3% TiO₂, т.е. вміст титанової приміси зменшується в рази. Таким чином, флотація – процес ефективний, але дорогий, в першу чергу за експлуатаційними витратами, і вимагає обезвредження і утилізації хвостів флотації. Флотаторні фабрики застосовуються на півночі США для очищення каолинової руди від тонкозернистого анатаза і інших титаносодержащих мінеральних включень, що дозволяє підняти білизну каолинового концентрату. Екологічно чиста технологія – високоінтен-

сивная магнитная сепарация, где для извлечения парамагнитных примесей железа и ильменита применяется магнитное поле с магнитной индукцией от 1 до 6 Тесла. Сверхмощные магнитные поля с магнитной индукцией 2-6 Тесла создаются в ВИМС в сверхпроводниковых катушках, для охлаждения которых используется жидкий гелий. При прохождении каолиновой суспензии с содержанием твердого 20-35% через магнитные матрицы сепаратора диамагнитные частицы проскакивают через намагниченные пряди, а парамагнитные частицы притягиваются к ним и разгружаются из матрицы при ее обесточивании с помощью чистой промывочной воды. Технология ВИМС эффективна, удобна в эксплуатации, но требует значительных капитальных затрат. Предварительные испытания ВИМС на натурной пробе являются обязательными.

Типичная форма кристаллов природного каолина – «столбик» или «книга». Зернистая «столбикообразная» часть каолинов после предварительной классификации может использоваться в качестве глинистого заполнителя или направляться на оттирку, после чего получают деламинированный каолин в форме тонких пластинок. Полученные пластинки имеют большее аспектное отношение (отношение диаметра к толщине частицы), что благоприятно отражается на белизне каолина. Для этой цели используются оттирочные машины, заполненные измельчающими телами шарообразной формы из кремнезема, стекла, керамики, циркона диаметром от 2 до 15 мм. Альтернатива оттирочным машинам – бисерная мельница типа TOWERMILL[®], показанная на рис. 4. Содержание твердого в каолиновой суспензии, загружаемой в мельницу TOWERMILL[®] составляет 40-50%. Объем мелющих тел – 35-50 от вместимости мельницы. Процесс деламинации энергоемкий – 36,8 кВт на 1 т обрабатываемого каолина. Время деламинации назначается в зависимости от размеров и плотности мелющих тел, содержания твердого в питании, интенсивности перемешивания. Несмотря на энерго- и материалозатраты этот процесс себя окупает, так как предварительная деформация кристаллов каолина на срез улучшает показатели последующих процессов обогащения (флотация, ВИМС). Обогащение пластинчатой каолиновой смеси гравитационными методами, например, на винтовых сепараторах и/или концентрационных столах малоэффективно, так как пластинки залегают на рабочей поверхности аппаратов.

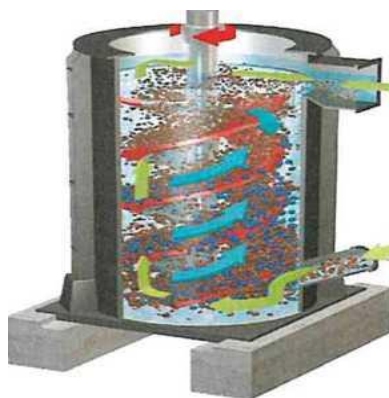


Рис. 4. Мельница ультратонкого измельчения TOWERMILL[®]

Загальні питання технологій збагачення

Если в исходной руде типа серых каолинов содержится значительное количество органических примесей, то уместно использовать озонирование, хлорирование или кальцинирующий обжиг. Последний проводится в следующей последовательности: сушка, измельчение и термическая обработка при температуре 1300 °С. В процессе обжига при температуре от 100 до 250 °С улетучивается свободная и гигроскопическая влага. В температурном диапазоне 250-550 °С удаляется химически связанная вода и каолинит превращается в метакаолинит



При температуре 980⁰С метакаолинит превращается в муллит (Al₂SiO₅), а при дальнейшем повышении температуры до 1300⁰С удаляются органические примеси



В результате кальцинации существенно повышается белизна каолинового продукта. Кальцинация позволяет раскрыть такие технологические преимущества каолинового продукта как кристалличность, структурность, укрывистость и матирующие свойства, яркость и все оттенки цветов. Твердость обожженного каолина равна 4-6,5 по шкале Мооса (против 1,5-2,0 рядового каолинита), а белизна увеличивается с 85 до 97%. Промежуточный продукт кальцинации – метакаолин – широко применяется в цементной промышленности. Кальцинация обычно проводится в роторных кальцинаторах или вертикальных аппаратах типа Полкал. При производительности 10 т/ч вращающаяся обжигательная печь должна иметь барабан диаметром 2,7 м и длиной 44 м, при мощности приводного электродвигателя 55 кВт. Технологически более эффективны шахтные обжиговые печи. Такие кальцинаторы (Полкал) были установлены фирмой «Engineering Dobersek GmbH» в Узбекистане на Кызылкумском фосфоритовом комплексе (КФК) для обжига промытой бедной фосфоритовой руды месторождения Ташкура (рис. 5).



Рис. 5. Шахтный кальцинатор Полкал на ОФ «Ташкура», КФК (Узбекистан)

Конструктивно установка кальцинирования Полкал включает трубу – сушилку, аэрокласификатор, молотковую мельницу, циклоны, собственно кальцинатор, охладители и соединительные трубопроводы. Исходная промытая руда загружается в вертикальную трубу – сушилку, где в восходящей струе горячего газа – носителя материал просушивается, потом разделяется по крупности в аэрокласификаторе, при этом крупная фракция под собственным весом опускается на доизмельчение в молотковую мельницу, а тонкий продукт направляется на циклон, верхний продукт которого разгружается в рукавный фильтр и далее в кальцинатор, в то время как осевший в циклоне зернистый продукт потоком технологического газа при температуре 450 °С транспортируется по газоходу в циклон, где прогрев достигает 650 °С и далее в шахтную печь, оборудованной топочной камерой с двумя газовыми горелками. В нижнюю часть кальцинатора из нижнего охлаждающего циклона поступает атмосферный воздух с заданной температурой 770 °С. Рабочая температура кальцинирования регулируется подачей природного газа. Сам обжиг длится несколько секунд при температуре 950 °С, после чего обожженный материал последовательно проходит три охладительных циклона и при температуре 90 °С разгружается в бункер, откуда пневмонасосом подается в силоса.

Вспомогательные технологические операции

Что касается вспомогательных технологических операций на современных каолиновых фабриках, то здесь необходимо упомянуть ленточные вакуум – фильтры, высокоскоростные и пастовые сгустители, камерные и трубчатые пресс – фильтры. Ленточные вакуум – фильтры применяются на каолиновых фабриках для обезвоживания песков гидроциклонов. Современные каолиновые фабрики работают в условиях замкнутого водооборота со сгущением хвостов обогащения в гидроциклонах и последующим обезвоживанием сгущенного продукта на ленточных вакуум – фильтрах, работающих при глубоком вакууме. Фильтрат направляется в качестве оборотной воды в голову процесса на предварительное гидрогрохочение.

Каолиновый концентрат сгущается с применением флокулянтов в высокоскоростных или пастовых сгустителях. Весной 2019 года фирма «Engineering Dobersek GmbH» запустила в эксплуатацию такой сгуститель HRT – 24 на Демуринском ГОКе (рис. 6) для осветления каолиновой суспензии плотностью 2-8% с содержанием твердой фазы дисперсностью 60% кл. – 5 мкм. Удельная нагрузка составляет 0,045 т/(м²·ч). Площадь осветления – 440 м². Производительность сгустителя по исходному продукту – 20 т/ч по твердому или 500 м³/ч по пульпе. Расход флокулянта Магнафлок MF – 1011 составляет 300-350 г/т. Система авторазбавления исходной пульпы позволяет работать при оптимальном содержании твердого в питании сгустителя. Сгуститель позволяет получить чистый слив (менее 50 мг/л) и сгущенный каолиновый продукт плотностью 23-30%.

Так как содержание твердого в сгущенном продукте для последующего

Загальні питання технологій збагачення

обезвоживания в пресс – фильтрах предпочтительнее держать на уровне 50-55%, то для уплотнения сгущенного продукта используются гидроциклоны, слив которых замыкается на питание сгустителя.



Рис. 6. Сгущение каолиновой суспензии на Демурином ГОКе (Украина)

Сгущенный продукт обезвоживается на пресс – фильтрах камерного и/или трубчатого типа. Последние были разработаны специально для обработки мелкозернистого каолинового продукта под высоким давлением (до 140 бар). Промышленная установка на базе трубчатых прессов содержит количество прессов, которое соответствует заданной общей производительности. Трубчатые прессы обычно поставляются и монтируются в виде модулей. Каждый модуль состоит из несущей плиты, на которой крепятся пресс – фильтры в комплексе со всеми местными клапанами и распределительными патрубками (рис. 7). Производительность одного трубчатого прессы при обезвоживании наполнителя фарфоровой глины с содержанием твердого 25% составляет 350 кг/час. Влажность осадка на выходе равна 16-17%.



Рис. 7. Сгущение каолиновой суспензии в трубчатых пресс – фильтрах

Кирнарский А.С., 2019

Надійшла до редколегії 15.08.2019 р.

Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим