Расчет вращающейся печи для спекания боксита производительностью по спеку

G = 16 т/час»

**Исходные данные для расчета.**

1. Состав обрабатываемого боксита, %:

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Al2O3** | **SiO2** | **Fe2O3** | **CaO** | **TiO2** | **П.П.П.** | **прочие** |
| 51,9 | 4,2 | 23,0 | 4,0 | 1,7 | 14,4 | 0,8 |
| П.П.П. – потери при прокаливании | | | | | | |

1. Состав, используемого в процессе спекания известняка, %

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| CaO | **SiO2** | **П.П.П.** | **прочие** |
| 51,1 | 1,7 | 46,1 | 1,1 |

1. Основные технологические параметры
   1. Влажность боксита составляет 10%;
   2. Содержание Na2CO3 в соде составляет 98%;
   3. Содержание Al2O3 в товарном глиноземе равно 98,8%;
   4. Товарный выход глинозема из боксита составляет 80%.
2. Печь отапливается природным газом следующего состава, (в объемных процентах):

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| CH4с.г. | C2H6с.г. | C3H8с.г. | C4H10с.г. | N2с.г. | CO2с.г. |
| 94,7 | 1,2 | 0,5 | 0,3 | 2,9 | 0,4 |

Влагосодержание 1м3 сухого газа равно gс.г.=10,3 г/м3.

1. Подогрев воздуха, подаваемого на горение, осуществляют в барабанном или рекуперативном холодильнике (выбрать самостоятельно). Температура подогрева воздуха tв и коэффициент избытка воздуха α также выбираются самостоятельно в пределах допустимых границ.

# ВВЕДЕНИЕ

Для каждой алюминиевой руды существует наиболее выгодный способ переработки. Определяющей является массовая доля каждого из трех основный оксидов, содержащихся в технологическом сырье (Al2O3, Fe2O3, SiO2), Содержание CaO, H2O, CO2, TiO2 и других оксидов имеет второстепенное значение. Так для бокситов с низким содержанием кремния рекомендуется использовать гидрохимические способы, а для бокситов, содержащих значительное количество кремния и железа, наиболее приемлемо щелочное спекание.

Из термических способов производства глинозема промышленное применение имеет способ спекания, основанный на получении алюмината натрия. В отличие от гидрохимического способа спекание можно применять практически для любого вида алюминиевого сырья. Однако, в промышленном масштабе его применяют в основном для переработки двух видов сырья – высококремнистого боксита и нефелина.

Сущность способа спекания заключается в образовании алюмината натрия при высокой температуре в результате взаимодействия в смеси алюминиевой руды, соды и известняка. Полученный при этом пористый спек выщелачивают водой. Раствор алюмината натрия после выщелачивания разлагают углекислым газом с выделением в осадок гидроксида алюминия, который для получения безводного глинозема подвергают кальцинации. Цель спекания – перевести содержащийся в руде алюминий в форму водорастворимого алюмината натрия и связать кремнезем в малорастворимые кальциевые силикаты.

По способу спекания можно перерабатывать сырье с высоким содержанием кремнезема. Чем выше содержание кремнезема в сырье, тем больше известняка добавляют в шихту.

ПРОИЗВОДСТВО ГЛИНОЗЕМА ПО СПОСОБУ СПЕКАНИЯ

Сущность способа спекания заключается в образовании алюмината натрия при высокой температуре в результате взаимодействия смеси алюминиевой руды, соды и известняка. Полученный при этом пористый спек выщелачивают водой. Раствор алюмината натрия после выщелачивания разлагают углекислым газом с выделением в осадок гидроксида алюминия, который для получения безводного глинозема подвергают кальцинации.

Реакции, протекающие при спекании насыщенной боксито - содо - известковой шихты, могут быть представлены следующим образом:

Al2O3·H2O+Na2CO3=2NaAlO2+Co2+H2O

Fе2O3·H2O+Na2CO3=2NaFeO2+CO2+H2O

Кремнезем сырья способен соединяться при спекании с содержащимися в шихте оксидом алюминия и щелочью в алюмосиликат натрия (Na2O·Al2O3·SiO2), что обуславливает при гидрохимической обработки спека потери оксида алюминия и щелочи. Поэтому в шихту добавляют известняк, который связывает кремнезем в нерастворимое соединение - двухкальциевый силикат (2CaO·SiO2):

CaCO3+SiO2=2CaO·SiO2+2CO2

Кроме того, происходит частичная диссоциация СаСО3 с образованием СаО.

По способу спекания можно перерабатывать сырье с высоким содержанием кремнезема. Чем выше содержание SiO2 в сырье, тем больше известняка добавляют в шихту.

Для низкокремнистых бокситов может быть применено спекание боксита с содой без добавки известняка. Независимо от содержания и минералогической формы кремнезема в сырье связывание кремнезема в двухкальциевый силикат позволяет перевести оксид алюминия, содержащийся в сырье, в растворимый алюминат натрия.

Дозировка шихты для процесса спекания должна осуществляться с учетом составных частей всех компонентов: основного сырья, известняка, свежей соды, оборотного раствора, топлива, белого шлама (алюмосиликата натрия), образующегося при обескремнивании, и пульпы, получающейся при промывке в скрубберах отходящих газов печей спекания.

Оптимальные температурные условия спекания определяются минералогическим и химическим составом сырьевых материалов и соотношением компонентов шихты.

Интенсивность и полнота взаимодействия реагирующих твердых веществ шихты зависит от степени равномерности смешивания этих веществ, крупности частиц шихты и температуры спекания.

При достижении температуры начала плавления шихты образуется жидкая фаза в количестве, достаточном для связывания и окускования материала, и получается пористый спек.

Спекание проводят при температурах 1200...1300 °С, что позволяет превратить практически весь оксид алюминия в алюминат натрия. В результате образуются кусковой пористый частично оплавленный спек темно-серого цвета, а также газы, содержащие 10... 12 % СО2, которые используют для карбонизации алюминатных растворов.

Спек после охлаждения дробят до крупности 6...8 мм и направляют на выщелачивание, которое производят водой и слабым оборотным раствором соды. Цель выщелачивания - перевод твердого алюмината натрия в раствор. Нерастворимый остаток (шлам) отделяют от алюминатного раствора и отправляют в отвал. Выщелачивание спека должно осуществляться в условиях, способствующих переходу в раствор алюмината натрия и разложению феррита натрия. А также в условиях, препятствующих протеканию реакций разложения двухкальциевого силиката с дальнейшим образованием нерастворимого алюмосиликата натрия.

В результате частичного разложения двухкальциевого силиката и образования растворимого силиката натрия в алюминатном растворе после выщелачивания содержится кремнезем в количестве соответствующем отношению по массе Аl2О3 к SiO2 (кремниевому модулю) в растворе, равному 30…40.

После обескремнивания пульпа, состоящая из раствора и белого шлама, проходит стадии сгущения и фильтрации. Белый шлам возвращают на приготовление исходной шихты а осветленный алюминатный раствор направляют на карбонизацию, т.е. разложение алюминатного раствора диоксидом углерода. Карбонизацию осуществляют пропусканием через раствор топочных газов содержащих СО..

В результате каустический модуль раствора понижается, что создает условия для гидролитического разложения алюмината натрия. Образовавшаяся при этом щелочь карбонизируется новыми порциями СО2, и разложение алюмината натрия продолжатся. Процесс карбонизации должен обеспечить получение крупнокристаллического гидроксида алюминия с минимальным содержанием примеси кремнезема и щелочей.

Конструкция вращающихся печей

Вращающиеся печи широко применяют для нагрева сыпучих материалов в различных отраслях промышленности.

Корпус печи представляет собой сварной металлический барабан диаметром до 5 м и длиной до 185 м, футерованный изнутри огнеупорным кирпичом. Барабан сваривают из листовой стали. Как правило, диаметр барабана по всей длине одинаков.

Футеровка барабана работает в тяжелых условиях, что связанно с периодическими перепадами температур на поверхности кладки, обусловленными вращением печи и пересыпанием находящегося в ней материала. Перепад температур при входе и выходе из-под слоя шихты составляют 150...200°С. В зоне спекания на футеровку сильное химическое и абразивное воздействие оказывает материал. В зоне сушки кладка подвержена значительному истиранию цепями или отбойными устройствами. Основным материалом для футеровки печей глиноземного производства служит шамот. Высокотемпературные зоны печи выкладывают из хромомагнезитового, магнезитового и периклазошпинелидного огнеупорного кирпича. Толщина футеровки составляет 230... 350 мм. Чтобы предотвратить разрушение футеровки при остановках печи, барабан должен вращаться до ее полного охлаждения. На наружной поверхности барабана закрепляют стальные опорные бандажи в виде неразрывных колец шириной 400... 800 мм. Каждый бандаж опирается на два ролика, вращающиеся во время работы печи. Ширина роликов обычно на 50...100 мм больше ширины бандажа. Опорные ролики установлены на массивных стальных плитах, укрепленных на железобетонных фундаментах таким образом, что барабан печи имеет небольшой уклон к горизонту, составляющий 1...3 град. Как правило, уклон задают в процентах от общей длины печи (2...4 %).

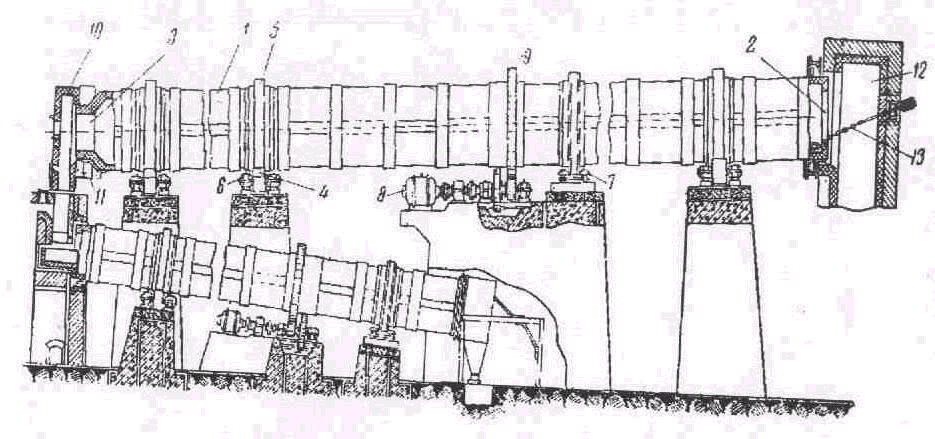
Барабан вращается вокруг своей оси со скоростью 0,6...2,0 об/мин, регулирование числа оборотов барабана производят специальным устройством.

Для остановки вращения печи в любом положении служит электромагнитный фрикционный тормоз, через обмотку которого во время работы печи постоянно пропускается ток. Когда подача тока прекращается, электромагнит выключается и отпускает колодки тормоза, которые и зажимают приводной вал.

Верхний торец печи входит в загрузочную камеру. Сухую шихту загружают в печь с помощью шнекового питателя через патрубок, расположенный в загрузочной камере. Пульпу подают в печь через пульповую трубку ковшом-дозатором или с помощью специальной форсунки. Уловленную пыль возвращают в печь вместе с шихтой, подавая ее либо через дозатор, либо в специальный смеситель.

Нижний конец печи входит в загрузочную (или топочную) камеру. Между ней и барабаном ставят специальное кольцевое уплотнение, перекрывающее щель между вращающимся барабаном и неподвижной камерой.

Рис. 1. Печь для спекания бокситов



1- железный барабан, 2- холодный конец, 3 - горячий конец, 4 - ролики, 5 - бандажи, 6 - подшипники, 7 - приспособление, препятствующее сходу барабана с опор, 8 - двигатель, 9 - венцовая шестерня, 10 - топливная головка. 11 - кольцо с кромкой, 12 - загрузочная коробка, 13 - отбойное приспособление (стальная болванка)

# Тепловая работа вращающихся печей

Тепловая работа любой печи характеризуется рядом показателей, важнейшими из которых являются тепловой и температурный режимы, производительность печи, удельный расход топлива и коэффициент полезного действия. Тепловой режим характеризует изменение во времени тепловой нагрузки, т.е. количества теплоты, подаваемой в печь в каждый момент времени, а температурный режим представляет собой изменение температуры печи во времени или по длине печи.

В рабочем пространстве вращающейся печи протекают процессы выделения теплоты при сжигании топлива, движения газовой среды и материала, внешнего и внутреннего теплообмена. Эффективность тепловой работы печи зависит от того, насколько совершенно осуществляются в ней эти процессы. От организации тепловой работы вращающихся печей зависят не только производительность и экономичность процесса производства глинозема, но и срок службы печи и качество конечного продукта. Процесс спекания осуществляют при достаточно высоких температурах. По мере изменения температуры по длине рабочего пространства вращающихся печей происходят процессы с образованием различных неустойчивых соединений.

В пламенных печах одним из основных и наиболее эффективных способов улучшения их тепловой работы является интенсификация теплообменных процессов за счет совершенствования процессов горения. Рациональное сжигание топлива позволяет создать в рабочем пространстве вращающихся печей необходимые температурный и газовый режимы, предусмотренные технологией глиноземного производства.

При нагреве сыпучих материалов во вращающихся печах теплота поступает в зону технологического процесса за счет одновременного протекания всех трех видов теплообмена. На участках, где температура продуктов сгорания достигает 1200...1600°С, осуществляется радиационный режим работы печи. По мере продвижения продуктов сгорания топлива по длине печи они охлаждаются до нескольких сот градусов и режим тепловой работы печи постепенно становится конвективньм. Конкретное распределение в печи зон с конвективным и радиационным режимами работы зависит от вида и параметров технологического процессов. С точки зрения внешнего (по отношению к нагреваемому материалу) теплообмена вращающаяся печи может быть условно разделена на энергетически однородные участки - тепловые зоны, в пределах которых температуру, радиационные характеристики и коэффициент теплоотдачи от газов к материалу можно считать постоянными величинами. Кроме того, в рабочем пространстве происходит и так называемый внутренний теплообмен: поступившая в слой материала теплота распределяется в нем путем теплопроводности. При вращении барабана печи происходит энергичное перемешивание сыпучего материала, температура по высоте слоя практически выравнивается и его можно считать тонким в тепловом отношении телом, нагрев которого может сопровождаться эндо- и экзотермическими реакциями. Перенос теплоты в кладке печи происходит также вследствие теплопроводности. Изменение температуры внутренней поверхности футеровки во времени носит циклический характер. Время цикла равно времени полного оборота печи. Условно его делят на два периода. В первом периоде поверхность кладки находится в контакте с греющими газами и постепенно нагревается, получая от нее теплоту излучением и конвекцией. Ко второму периоду относят время ее контакта с нагреваемым материалом, в течение которого температура поверхности кладки снижается. Анализ данных расчета поля температур кладки, полученных при решении уравнения теплопроводности с использованием численных методов, показал, что колебания температуры во времени происходят на определенном расстоянии от поверхности футеровки, получившим название глубины проникновения тепловой волны. Колебания температуры, достигающие на внутренней поверхности барабана при входе и выходе ее из-под слоя шихты нескольких сотен градусов, распространяются на глубину 1...5 см., чем ближе к поверхности, тем выше термические напряжения, возникающие в кладке, и тем больше вероятность ее разрушения (трещины, сколы и т.д.).

Вращающиеся печи глиноземного производства работают в режиме противотока. Максимальную температуру и газы, и материал имеют со стороны топливной камеры, а минимальную - со стороны загрузочной камеры.

Температурный режим работы вращающихся печей не изменяется во времени, индивидуален для каждого вида технологического процесса и в значительной мере определяется химическим и фракционным составом перерабатываемых материалов. Обычно его устанавливают опытным путем и организуют таким образом, чтобы в печи строго соблюдался график нагрева шихты, соответствующий технологии данного процесса.

Рассмотрим температурный режим процесса спекания бокситов. Все рабочее пространство вращающейся печи можно условно разделить на четыре зоны, в которых происходят определенные изменения обрабатываемой шихты.

Первая зона, которую называют зоной сушки и обезвоживания, находится в верхней части печи со стороны загрузки шихты. Вначале из шихты испаряется внешняя влага, и температура материала при этом остается практически неизменной близкой к 100 °С. Затем температура высушенной шихты возрастает до 600 °С. Движущиеся навстречу ей газы охлаждаются от 1100 до 240 °С.

Во второй зоне, называемой зоны кальцинации, температура шихты продолжает расти и достигает 1000 °С. В этой зоне происходит полное разложение карбоната кальция, требующее затрат теплоты, поэтому температура газов снижается с 1300 до 1100 °С.

Третья зона - зона спекания - характеризуется максимальными значениями температур как шихты (1000...1200 °С), так и газов (1350...1450 °С), так как именно здесь происходит горение факела. В третьей зоне полностью разлагается Na2CО3 и завершается процесс спекания.

Четвертая зона - зона охлаждения - располагается за срезом заглубленного в печь топливосжигающего устройства, т.е. за горящим факелом. Благодаря потоку идущего из холодильника воздуха, имеющего температуру 150...300°С, обеспечивается охлаждение спека до температуры 1000°С, что резко увеличивает его механическую прочность (по сравнению с размягченным состоянием), необходимую для перегрузки в расположенный в низу холодильник.

Нужно учитывать, что качество готового продукта, получаемого во вращающихся печах, определяется не только кинетикой, но и движением материала, т.е. временем его пребывания в печи. В зависимости от того, насколько мгновенные скорости отдельных частиц отличаются от средней скорости движения материала (при постоянном распределении температуры по длине печи), изменяется степень превращения каждой частицы и, следовательно, фазовый состав глинозема. Наличие в печи частиц с различными скоростями движения и неопределенность соотношения таких частиц из-за технологических возмущений, нарушающий установившийся режим, затрудняют надежный контроль и регулирование тепловой работы печей. В то же время одной из главных задач оперативного управления является поддержание всех параметров на заданном уровне, что возможно только при своевременной и непрерывной информации о качестве целевого продукта.

**1. Исходные данные для расчета**

Заданная производительность печи G=16 т/час. Состав обрабатываемого боксита приведен в табл. 1. Влажность боксита составляет 10 %. Состав используемого в процессе спекания известняка приведен в табл. 2. Содержание Na2CO3 в соде составляет 98 %. Содержание Al2O3 в товарном глиноземе равно 98,8 %. Товарный выход глинозема из боксита составляет 80 %.

Таблица 1.

# Состав боксита, %

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Al2O3 | SiO2 | Fe2O3 | CaO | TiO2 | П.П.П. | Прочие |
| 51,9 | 4,2 | 23,0 | 4,0 | 1,7 | 14,4 | 0,8 |
| П.П.П. – потери при прокаливании | | | | | | |

Таблица 2.

### Состав известняка, %

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| CaO | SiO2 | П.П.П. | прочие |
| 51,1 | 1,7 | 46,1 | 1,1 |

Таблица 3.

### Химический состав природного газа, %

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| CH4с.г. | C2H6с.г. | C3H8с.г. | C4H10с.г. | N2с.г. | CO2с.г. |
| 94,7 | 1,2 | 0,5 | 0,3 | 2,9 | 0,4 |

Влагосодержание 1м3 сухого газа равно gс.г.=10,3 г/м3.

Подогрев воздуха, подаваемого на горение, осуществляют в барабанном или рекуперативном холодильнике (выбрать самостоятельно). Температура подогрева воздуха tв=200˚С и коэффициент избытка воздуха α=1,08.

**2. Расчет минералогического состава боксита**

В соответствии с данными минералогических исследований сухого боксита можно принять:

* Al2O3 содержится в бемите и диаспоре в виде Al2O3, а также в каолините в виде Al2O3⋅2SiO2⋅2H2O;
* Кремнезем SiO2 находится в каолините (80%) и кварце;
* Железо находится в гематите Fe2O3 и гидрогематите Fe2O3⋅H2O;
* Титан содержится в рутиле TiO2;
* Оксид кальция CaO в известняке CaСO3.

##### Количество каолинита можно рассчитать по содержанию в нем кремнезема. Общее количество кремнезема в 100 кг боксита равно 4,2 кг. (см. табл. 1.), причем 80% его содержится в каолините, т.е. 4,2⋅0,8=3,36 кг.

##### Дальнейшие расчеты необходимо вести, используя массовые соотношения отдельных компонентов в каолините Al2O3⋅2SiO2⋅2H2O. Справочные данные по атомным массам некоторых химических элементов сведены в табл. 4.

##### Таблица 4.

###### Атомные массы некоторых химических элементов

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Химический элемент | Атомная масса | Химический элемент | Атомная масса | Химический элемент | Атомная масса |
| Водород  Кислород  Углерод  Натрий | 1  12  16  23 | Алюминий  Кремний  Фосфор  Сера | 27  28  31  32 | Калий  Кальций  Титан  Железо | 39  40  48  56 |

Молекулярная масса каолинита равна

(27⋅2)+(16⋅3)+2(28+32)+2(2+16)=258.

Молекулярная масса кремнезема равна 60, но в каолините содержится две молекулы SiO2, масса которых равна 120. Следовательно, 3,36 кг кремнезема содержатся в

кг каолинита



В каолините количество Al2O3, молекулярная масса которого равна 102, составит

кг.



Количество воды, молекулярная масса которой в каолините равна 2(2+16)=36, составит

кг.



Общее количество Al2O3 в 100 кг боксита равно 51,9 (см. табл. 1). Его содержание в диаспоре и бемите составит

51,9-3,36=48,54 кг.

Количество диаспора и бемита (Al2O3⋅H2O), имеющих молекулярную массу 120, можно определить по количеству содержащегося в них Al2O3:

кг.



Количество в них воды определяют как разницу

57,11-48,54=8,57 кг.

Таблица 5.

**Минеральный состав сухого боксита, %**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Соединения | Всего | Al2O3 | SiO2 | H2O | Fe2O3 | TiO2 | CaO | CO2 | Прочие |
| Al2O3⋅H2О  Al2O32SiO22H2  SiO2  Fe2O3  Fe2O3⋅3H2О  TiO2  CaСO3  Прочие  Итого | 57,11  7,22  1,35  18,02  6,66  1,7  7,14  0,8  100 | 48,54  3,36  -  -  -  -  -  -  51,9 | -  2,85  1,35  -  -  -  -  -  4,2 | 8,57  1,01  -  -  1,68  -  -  -  11,2 | 18,02  4,98  -  -  -  -  -  -  23 | -  -  -  -  -  1,7  -  -  1,7 | -  -  -  -  -  -  4,0  -  4,0 | -  -  -  -  -  -  3,14  -  3,14 | -  -  -  -  -  -  -  0,8  0,8 |

По содержанию в боксите CaO (молекулярная масса равна 56) можно рассчитать количество CaСO3 (молекулярная масса - 100):

кг.



Количество CO2 в CaСO3 равно

7,14 - 4,0=3,14 кг.

В процессе спекания боксит теряет эту углекислоту (3,14 кг), а также влагу, содержащуюся в каолините (1,01 кг), диаспоре и бемите (8,57 кг) и гидрогематите, количество которой можно рассчитать, зная величину потерь при прокаливании (табл. 1):

14,4 – (1,01+8,57+3,14)=1,68 кг.

Количество гидрогематита (Fe2O3⋅3H2О) с молекулярной массой 214 определяют по содержанию в нем влаги (молекулярная масса 3⋅18=54):

кг.



Количество оксида железа в гидрогематите равно

6,66 – 1,68=4,98 кг.

Следовательно, количество гематита в боксите составит:

23 – 4,95=18,02 кг.

Результаты расчетов сухого боксита представлены в табл. 5.

Аналогично определяем минералогический состав известняка.

В 100 кг известняка (см. табл. 2) содержится 50 кг CaО, имеющего молекулярную массу 56. Тогда количество известняка (молекулярная масса 100) составит

кг.



Содержание CO2 (молекулярная масса 44) в известняке равно

кг.



Количество воды в известняке определяют по разнице между общей массой (100 кг) и суммой других компонентов в нем:

100 – (91,25+1,7+1,1)=5,95 кг.

Результаты расчета минералогического состава известняка сведены в табл. 6.

Таблица 6.

**Минералогический состав известняка, %**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Соединения | Всего | CaO | CO2 | SiO2 | H2О | Прочие |
| CaСO3  SiO2  H2О  Прочие  Итого | 91,25  1,7  5,95  1,1  100 | 51,1  -  -  -  51,1 | 40,15  -  -  -  40,15 | -  1,7  -  -  1,7 | -  -  5,95  -  5,95 | -  -  -  1,1  1,1 |

**3. РАСЧЕТ ШИХТЫ**

Шихта состоит из боксита, известняка, кальцинированной соды и оборотного раствора.

Расчет шихты производят по упрощенной методике на 100 кг сухого боксита. При этом состав оборотных продуктов принимаем, исходя из состава бокситов и данных заводской практики.

Для обеспечения полноты протекания кристаллохимических преобразований при формировании шихты необходимо соблюдать следующие требования:



Для того, чтобы рассчитать количество компонентов, участвующих в процессе спекания (СaO, SiO2, Nа2О, Al2O3, Fe2O3), необходимо проссумировать содержание каждого из них во всех составляющих шихты (боксите, кальцинированной соде, известняке и оборотном растворе).

В соответствии с технологией спекания для формирования исходной шихты используется оборотный содовый раствор, получаемый после выщелачивания спеков, отделения красного шлама и частичного выпаривания. Техническое его название – белый шлам. Исходя из данных заводской практики, принимаем следующий состав белого шлама, % 25,0 Al2O3; 20,0 SiO2; 23,0 Nа2О; 9,0 H2Oсвяз.; 23,0 H2Oвн.

Из данных практики, извлечение SiO2 в белый шлам из спека составляет 10…15%. Остальные 85…90% кремнезема переходят в красный шлам при выщелачивании. Примем извлечение SiO2 в белый шлам равным 13%.

При условии, что примерный расход известняка на 100 кг боксита, содержащего 4,2% SiO2 (см. табл. 1), составляет 42 кг с содержанием 1,7 % SiO2 (см. табл. 2), общее количество кремнезема в твердых составляющих исходной шихты равно 4,2+42⋅0,017=4,914 кг. Тогда общее количество SiO2 в белом шламе равно

кг.



Количество белого шлама, с учетом содержания в нем 20 % SiO2, составит

кг.



Результаты расчетов состава и количества белого шлама сведены в табл. 7.

Таблица 7. Состав и количество белого шлама

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Всего | Al2O3 | SiO2 | Nа2О | H2Oсвяз | H2Oвн |
| Содержание, %  Количество, кг. | 100  3,194 | 25  0,799 | 20  0,639 | 23  0,735 | 9  0,287 | 23  0,735 |

## С учетом количества SiO2, поступающего с белым шламом, исходная шихта содержит условно свободный SiO2 в количестве 4,2+0,639=4,839 кг. Условно свободный СаО (молекулярная масса 40+16=56) в боксите при спекании образует двухкальциевый силикат 2СаО⋅SiO2, связывая SiO2 (молекулярная масса 60) в количестве

кг.



### Оставшееся количество SiO2, которое необходимо связать оксидом кальция равно

4,839 – 2,143=2,696 кг.

Составим пропорцию, приняв потребное количество известняка X с учетом его минералогического состава (0,017Х кремнезема и 0,511Х СаО, см. табл. 6):



Решая уравнение, получим Х=10,50 кг.

Состав и количество известняка, входящего в шихту спекания, представлены в табл. 8.

Таблица 8.

#### Состав и количество известняка в шихте

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Всего | CaO | CO2 | SiO2 | H2О | Прочие |
| Содержание, %  Количество, кг. | 100  10,5 | 51,1  5,365 | 40,15  4,216 | 1,7  0,179 | 5,95  0,625 | 1,1  0,116 |

Для определения количества оборотного раствора и свежей соды, добавляемой в шихту, используем практические данные по составу оборотного раствора, г/л: 12,0 Al2O3; 210 Na2O; 130 CО2; 1985 H2O. Удельная плотность такого раствора составляет 1,337 г/л.

Исходя из практических данных, общее суммарное извлечение Na2O при выщелачивании, обескремнивании и карбонизации примем равным 85%.

Теперь определим количество оксида натрия Na2O, необходимого для осуществления процесса спекания. Учтем:

* Количество Al2O3 в шихте из боксита (табл. 5) и оборотного раствора (см. табл. 7) равно

51,9+0,799=52,699 кг.

* Количество Fe2O3 в шихте из боксита составляет 23,0 кг.
* Количество ТiO2 в шихте из боксита составляет 1,7 кг.

Тогда потребное количество Na2O (молекулярная масса 62) составит:

* Для получения Na2O⋅Al2O3 через Al2O3(молекулярная масса 102)

кг.



* Для получения метаферрита натрия Na2O⋅Fe2O3 через Fe2O3 (молекулярная масса 160)

кг.



* Для получения титаната натрия Na2O⋅TiO2 через TiO2 (молекулярная масса 80)

кг.



##### Всего количество Na2O в шихте должно быть равно

8,91+1,318+32,03=42,26 кг.

С учетом того, что в оборотном растворе часть Na2O уже связана в метаалюминат с 12,0 % Al2O3, количество несвязанного Na2O составит

кг.



### Исходя из практических данных, примем степень извлечения Na2O в раствор 85%. Тогда его количество, поступающего с оборотным раствором на формирование шихты, составит 42,26⋅0,85=35,921 кг.

### Количество оборотного раствора с учетом концентрации Na2O в нем равно 0,21 кг/л равно

л.



##### При плотности раствора 1,337 кг/л его масса составит 145,395⋅1,337=194,392 кг.

В растворе присутствует метаалюминат натрия в количестве

210 – 202,7=7,3 г/л Na2O общей массой 7,3⋅145,395=1061,384 г=1,061 кг.

Тогда с оборотным раствором будет подано свободной Na2O в количестве

35,921 – 1,061=34,86 кг.

Состав и количество оборотного маточного раствора представим в табл. 9.

Таблица 9.

###### Состав и количество оборотного раствора

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Всего | Al2O3 | Na2O | CO2 | H2О |
| Содержание, г/л  Содержание, %  Количество, кг. | 1337  100  194,392 (145,392) | 12,0  0,9  1,75 | 210  15,7  30,52 | 130  9,8  19,05 | 985  73,6  143,07 |

### Дополнительно в шихту необходимо ввести 42,26 – 34,86=7,4 кг. Na2O. Если учесть, что молекулярная масса Na2O составляет 62, а соды Na2CO3 – 106, то дополнительно следует подать кг кальцинированной соды или



7,4 – 4,328=3,07 кг Na2O.

##### При наличии в ней до 2 % примесей (исходные данные) ее количество составит кг. Расчетный состав и количество соды приведены в табл. 10.



Таблица 10.

Состав и количество кальцинированной соды

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Всего | Na2O | CO2 | Прочие |
| Содержание, %  Количество, кг. | 100  4,416 | 69,52  3,07 | 28,48  1,258 | 1,99  0,088 |

4,328 – 3,07=1,258

Определяем концентрацию оборотного раствора для обеспечения пониженной влажности шихты, значение которой из практических данных принимаем равным 36 %.

Таблица 11.

**Состав и количество оборотного раствора после выпаривания**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Всего | Al2O3 | Na2O | CO2 | H2О |
| Содержание, г/л  Содержание, %  Количество, кг. | 1628  100  134,34 | 21,21  1,3  1,75 | 369,86  22,72  30,52 | 230,86  14,18  19,05 | 1006,1  61,8  83,02 |

143,07 – 60,05=83,02

Общая масса шихты, состоящей из боксита влажностью 10 *%,* белого шлама, известняка, оборотного раствора и соды, равна

100⋅1,1 + 3,194 + 10,5 + 194,392 + 4,116 = 322,202 кг.

При этом количество внешней влаги в шихте равно 10 + 0,735 + +0,625+143,07 =154,43 кг.

Количество влаги, которое должно быть в шихте, составит 322,202⋅0,36= =115,993 кг.

Следовательно, оборотный раствор перед поступлением на шихтовку должен пройти обработку выпариванием. Определим количество воды, которое подлежит выпариванию.

Если обозначим необходимое количество влаги в шихте *X,*тогда



отсюда *X* = 94,38 кг и подлежит выпариванию 154,43 – 94,38=60,05 кг воды.

Состав и количество оборотного раствора после выпаривания представлены в табл. 11.

На основании результатов расчетов составляют полный состав шихты для спекания (табл. 12).

Таблица 12.

Состав шихты для спекания бокситов

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Состав | Всего  Кг % | | Al2O3 | SiO2 | Fe2O3 | TiO2 | CaO | CO2 | Nа2О | H2Oсв | H2Oвн | Прочие |
| Боксит  (вл)  Известняк  Белый  шлам  Оборотн.  раствор  Сода  кальцини-  рованная  Итого | 110  10,5  3,194  194,392  4,416  322,5 | 34,32  3,28  0,37  60,65  1,38  100 | 51,9  -  0,799  1,75  -  54,45 | 4,2  0,179  0,639  -  -  5,0 | 23,0  -  -  -  -  23,0 | 1,7  -  -  -  -  1,7 | 4  5,365  -  -  -  9,365 | 3,14  4,216  -  19,05  1,26  27,66 | -  -  0,735  30,52  3,07  34,33 | 11,26  -  0,287  -  -  11,55 | 10  0,8  0,625  143,07  -  154,43 | 0,8  0,116  -  -  0,088  1,004 |

4. Расчет конечных продуктов

В основе расчетов лежат следующие допущения:

1. Из шихты в спек переходят все компоненты за исключением СО2; и Н2О, которые полностью переходят в газы.

2. Часть шихты переходит в пыль. Состав пыли близок к составу исходной шихты с учетом ее обезвоживания.

3. Пыль является оборотным продуктом, и ее полностью возвращают в агрегат.

Для упрощения расчетов принимаем, что пылеунос из рабочего пространства печи составляет 20 % от массы сухой шихты. Определим количество пыли, находящейся в обороте при непрерывном режиме работы агрегата.

В первый цикл из исходных материалов (322,5 – 154,43)=168,07 кг будет унесено в пыль 168,07⋅0,2=33,6 кг.

Во втором цикле загрузки в пыль перейдет (168,07+33,6)⋅0,2=40,33 кг.

При третьем цикле - (168,07+40,33)⋅0,2=41,68 кг, а при четвертом - (168,07+41,68)⋅0,2=41,95 кг.

Принимаем, что в обороте присутствует 41,95 кг пыли.

Результаты расчетов состава спека, пыли и отходящих технологических газов сведены в табл. 13, табл. 14, табл. 15.

Произведем расчет рационального состава спека.

Количество Na2O⋅Al2O3 в спеке, имеющего молекулярную массу 164, с учетом содержания Al2O3 (см. табл. 12) молекулярной массой 102, составит кг. Тогда количество Na2O в этом соединении равно



87,55 –54,45=33,1 кг.

• Количество Na2О⋅ Fe2O3 в спеке, имеющего молекулярную массу 222, с учетом содержания Fe2O3 (см. табл. 12) молекулярной массой 160, равно кг. Тогда количество Na2О в соединении составит



31,91–23=8,91кг.

• Количество Na2O⋅TiO2 в спеке, имеющего молекулярную массу 142, с учетом содержания TiO2 молекулярной массой 80, равно

кг. Тогда количество Na2O в этом соединении составит



3,01 – 1,7=1,32 кг.

Всего Na2O в этих соединениях составляет 33,1+8,91+1,32=43,33 кг.

• Количество 2СаО⋅ SiO2 в спеке, имеющего молекулярную массу 172, с учетом содержания кремнезема (см. табл. 12) молекулярнои массой 112, равно

кг. Тогда количество SiO2 в этом соединении составляет



14,38 – 9,365=5,02 кг.

Результаты расчетов сведены в табл. 16.

Полный материальный баланс процесса спекания без учета процесса горения топлива представлен в табл. 17.

Таблица 13.

# Состав и количество спека

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Всего | Аl2O3 | Fe2O3 | SiO2 | ТiО2 | CaO | Na2O | Проч. |
| Количество, кг Содержание, % | 128,8  100 | 54,45  42,27 | 23  17,86 | 5,0  3,88 | 1,7  1,32 | 9,365  7,27 | 34,33  26,65 | 1,004  0,7 |

### Таблица 14.

#### Состав и количество пыли

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Всего | Аl2O3 | Fe2O3 | SiO2 | ТiО2 | CaO | СО2 | Na2O | Проч. |
| Количество  спека с учетом обезвоживания  Количество  пыли, кг  Содержание,% | 156,5  41,95  100 | 54,45  14,59  34,79 | 23  6,17  14,7 | 5  1,34  3,19 | 1,7  0,46  1,09 | 9,365  2,51  5,98 | 27,66  7,41  17,67 | 34,33  9,2  21,94 | 1,004  0,27  0,64 |

Таблица 15.

# Состав и количество технологических газов

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
|  | Всего | СО2 | Н2О |
| Количество, кг | 193,64 | 27,66 | 165,98 |
| Объем, м3 | 220,63 | 14,08 | 206,55 |
| Состав: |  |  |  |
| % вес | 100,00 | 14,28 | 85,72 |
| % объемн. | 100,00 | 6,38 | 93,62 |

Таблица 16.

##### **Рациональный состав спека, кг**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Соединения | Всего | Аl2O3 | Fe2O3 | SiO2 | ТiО2 | CaO | Na2O | Прочие |
| Na2О⋅Аl2O3 | 87,55 | 54,45 | - | - | - | - | 33,1 | - |
| Na2О⋅ Fe2O3 | 31,91 | - | 23 | - | - | - | 8,91 | - |
| Na2О⋅ТiО2 | 3,01 | - | - | - | 1,7 | - | 1,32 | - |
| CaO⋅ SiO2 | 14,38 | - | - | 5,02 | - | 9,365 | - | - |
| Прочие | 1,004 | - | - | - | - | - | - | 1,004 |
| Итого | 137,85 | 54,45 | 23 | 5,02 | 1,7 | 9,365 | 43,33 | 1,004 |

Таблица 17.

**Материальный баланс процесса спекания (без учета процесса горения топлива)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Материалы  и продукты | Всего  Кг % | | Аl2O3 | SiO2 | Fe2O3 | ТiО2 | CaO | СО2 | Na2O | H2Oсвяз | H2Oвн | Прочие |
| Поступило | | | | | | | | | | | | | |
| 1  2  3  4  5 | Боксит влажный  Известняк  Белый шлам  Оборотный раствор  Сода кальциниров.  Итого | 110  10,5  3,194  194,39  4,416  322,5 | 34,32  3,28  0,37  60,65  1,38  100 | 51,9  -  0,799  1,75  -  54,45 | 4,2  0,179  0,639  -  -  5,0 | 23  -  -  -  -  23 | 1,7  -  -  -  -  1,7 | 4  5,365  -  -  -  9,365 | 3,14  4,216  -  19,05  1,26  27,66 | -  -  0,735  30,52  3,07  34,33 | 11,26  -  0,287  -  -  11,55 | 10  0,8  0,625  143,07  -  154,43 | 0,8  0,116  -  -  0,088  1,004 |
| Поступило | | | | | | | | | | | | | |
| 1  2  3 | Спек  Пыль  Газы  Невязка  Итого | 128,8  41,95  193,64  -41,95  322,5 | 39,94  13,01  60,41  -12,99  100 | 54,45  14,59  -  -14,59  54,45 | 5,0  1,34  -  -1,34  5,0 | 23  6,17  -  -6,17  23 | 1,7  0,46  -  -0,46  1,7 | 9,365  2,51  -  -2,51  9,365 | -  7,32  27,66  -7,32  27,66 | 34,33  9,2  -  -9,2  34,33 | -  -  165,98  -  165,98 | -  -  -  -  - | 1,004  0,27  -  -0,27  1,004 |

**5. Расчет горения топлива**

Принимаем, что при сжигании природного газа во вращающейся печи используют горелочное устройство с частичным перемешиванием. Поэтому коэффициент расхода воздуха α=1,08, а величина химического недожога составляет q3/Qнр=2%. При влажности газа gс.г.=10,3 г/м3 содержание водяных паров в газе равно:

%



%



Пересчитаем состав природного газа с учетом того, что в нем содержится 1,266 % водяных паров, в который входит CH4с.г., C2H6с.г., C3H8с.г., C4H10с.г., N2с.г., CO2с.г..

, %



%



%



%



%



%



%



Определим количество чистого кислорода для сжигания кубометра топлива

VO2=0,01[(m+n/4)∑CmHn], м3/кг.

VO2=0,01[2⋅93,5+3⋅1,185+5⋅0,494+6,5⋅0,296]=1,949 кг/м3.

Определим теоретический расход воздуха на горение

L0=(1+k)⋅VO2, м3/м3, k=const=3,76;

L0=(1+3,76)⋅1,949=9,277 м3/м3.

Определим действительный расход воздуха на горение

Lα=L0⋅α, м3/м3;

Lα=9,277⋅1,08=10,019 м3/м3.

Найдем объемы отдельных составляющих продуктов сгорания

VαCO2=0,01⋅[ CO2в.г.+m⋅∑ CmHnв.г.], м3/м3;

VαCO2=0,01⋅[ 0,395+93,50+2⋅1,185+3⋅0,494+4⋅0,296]=0,989 м3/м3;

VαH2O=0,01⋅[ H2Oв.г.+n/2⋅∑ CmHnв.г.], м3/м3;

VαH2O=0,01⋅[2⋅93,5+3⋅1,185+4⋅0,494+5⋅0,296]=1,94 м3/м3;

VαN2=0,01⋅ N2в.г.+k⋅ VO2⋅α, м3/м3;

VαN2=0,01⋅2,863+3,76⋅1,949⋅1,08=7,943 м3/м3.

VαО2изб.=(α-1)⋅ VO2, м3/м3;

VαО2изб.=(1,08-1)⋅1,949=0,156 м3/м3.

Тогда суммарный выход сгорания продуктов при α=1,08 будет равен

Vα= VαCO2 +VαH2O +VαN2 +VαО2изб.=0,989+1,94+7,943+0,156=11,028 м3/м3.

Состав продуктов сгорания равен



Определим низшую теплоту сгорания газов

Qнр= 358⋅CH4с.г.+636⋅C2H6с.г.+913⋅C3H8с.г.+1185⋅C4H10с.г., кДж/м3;

Qнр= 358⋅93,50+636⋅1,185+913⋅0,494+1185⋅0,296=35028,4 кДж/м3.

Химическую энтальпию продуктов сгорания с учетом химического недожога вычисляем по выражению

, кДж/м3;



кДж/м3;



Содержание воздуха в продуктах сгорания равно

,%



Тогда по "i-t" - диаграмме теоретическая температура горения природного газа составляет tαт = 1890 °С. Действительная температура горения при пирометрическом коэффициенте ηпир=0,8 равна tд=0,8⋅1890=1512 °С.



**6. Определение основных размеров печи**

1. Диаметр барабанной печи, м определяем из условия оптимальной скорости движения газового потока в печи

.



При принятом пылевыносе из печи 20 % средняя скорость газов должна быть умеренной. Принимаем ее равной 5 м/с.

### Производительность печи по спеку составляет 16 т/ч , а по бокситу равна



т/час



где mсп - выход спека из боксита (см. табл. 13).



Среднее время пребывания шихты в печи может быть определено как

τ=1/Gсп=1/12,422=0,081 ч.

Объем газообразных продуктов горения топлива определяем из выражения

Vд=q′Vαmcп/Qнр

где q – удельный расход теплоты на 1 т спека. По опытным данным можно принять равным 5860 кДж/кг.

**Тогда** **м3.**



Общее количество отходящих газов из печи равно сумме продуктов сгорания и технологических газов (см. табл. 15) и составляет

V∑=VД+VH2O+VCO2, м3.

В соответствии с данными материального баланса процесса спекания (см. табл. 17)

V∑=м3.



где 0,804 и 1,97 - плотность соответственно Н2О и СО2, кг/м3.

Расход отходящих газов с учетом среднего времени пребывания материалов в печи составит

м3/с.



С учетом средней температуры газов в печи °С общий расход отходящих газов составляет



м3/с.



Тогда в соответствии с формулой (1)м.



Принимаем *D =* 5 м.

При использовании двухслойной футеровки, состоящей из высокоглиноземистого кирпича размером 250 мм и слоя тепловой изоляции 30 мм при толщине стенки кожуха 20 мм, наружный диаметр печи будет равен Dпечи=5+0,25⋅2+0,03⋅2+0,02⋅2=5,6 м.

# Длину зоны сушки рассчитываем в соответствии с выражением



Производительность печи пошихте составляет

Gш=т/час.



Исходную влажность шихты определяем по данным материального баланса (см. табл. 17)

,



а величину конечной влажности принимаем *W"=0.*

*С* учетом способа загрузки (распыл) напряжение рабочего пространства сушильной зоны по влаге принимаем равным 0,08 т/(м2ч). Таким образом, длина зоны сушки составляет



м.



Определяем длину зоны подогрева по формуле:



В этой зоне удаляют связанную воду; шихту подогревают до температуры 750 °С. Температуру газов на входе в зону принимаем равной 1250 °С. Унос материала из зоны равен 25 % от общего пылеуноса. Тогда теплоту, поступающую в зону подогрева, затрачивают:

• на нагрев шихты до 750 °С

0,96⋅(322,5– 165,98 – 41,95⋅0,25)⋅(750 - 150)=84114,72 кДж=84,114МДж

где 0,96 - теплоемкость шихты, кДж/(кг • К);

• на испарение влаги и нагрев паров воды

11,55⋅(2257+)=36945 кДж=39,645 МДж



где 0,376⋅4,1868 -теплоемкость паров воды, кДж/(моль⋅К);

2257 - удельная теплота испарения воды, кДж/кг;

• на подогрев пыли до 750 °С

0,96⋅41,95⋅0,25(750 - 150)=6040,8 кДж=6,041 МДж;

• на разложение гидроксида алюминия диаспора и бемита по реакции

2Аl(ОН)з = Аl2Оз + ЗН2О - 2580 кДж

57,11⋅2580 = 147343,8 кДж=147,343 МДж;

• на разложение каолинита по реакции

Al2O3⋅2SiO2⋅2H2O= Al2O3⋅2SiO2+2H2O - 934 кДж

7,22⋅934 = 6743,48 кДж=6,743 МДж;

• на разложение гидрогематита по реакции

Fe2O3⋅3H2O= Fe2O3+3H2O - 3840 кДж

6,66·3840= 25574,4 кДж*=* 5,574МДж.

Тепловой эффект обезвоживания алюмосиликатов принимаем по выражению



;



где m1p, m2p, mFe - расходы гиббсита, каолинита и гидроксида железа; M1pH2O, M2pH2O,MFeH2O - молекулярные массы гибсита, каолинита и гидроксида железа; t1p, t2p, tFe - температуры протекания соответствующих реакций: 750 -температура газов, выходящих из зоны подогрева. В соответствии со справочными данными устанавливаем *t1p=*550°С; t2p=450°С; tFe=400°С. Тогда



14358,64 кДж=14,359 МДж.



В итоге теплопотребление в зоне подогрева составит

Qп=84114,72+39645,01+6040,8+147343,8+6743,48+25574,4+14358,64=

=323820,85 кДж=323,8 МДж

Ширину слоя (хорда lх) и контактную поверхность его с барабаном *(1q)* определим исходя из соотношений размеров сегмента материалов в поперечном сечении участка. Из практических данных принимаем центральный угол в зоне подогрева 82,5°. Тогда

lx=Dпsinα/2=5·sin(82,5/2)=3,296 м.

Lq=πDпsinα/360=3,14·5·82,5/360=3,598 м.

Эффективную длину лучей газового потока определяем по формуле



где Sпер.- периметр свободного сечения печи, м.

Snep==



=



По практическим данным для зоны подогрева можно принять коэффициент заполнения барабана печи φ*=* 5,6 - 8,0 %. Выбираем φ = 6,8 %.

Тогда м.



Определим состав газов по зонам.

Согласно данным расчета процесса горения топлива, в продуктах сгорания 100 м3 газа присутствует 98,9 м3 СО2; 194 м3 Н2О; 794,3 м3 N2; 15,6 м3 О2. Для зоны спекания состав газов соответствует составу продуктов сгорания топлива,

т. е. СО2=8,968 %; Н2О=17,592 %; N2=72,026 %;О2**=**1,415 %.

В зоне кальцинации полностью разлагаются карбонаты. Тогда объем газов от горения топлива при его расходе 25 % от веса сухого боксита (практические данные) составит 1102,8·0,25=275,7 м3.

С учетом объема СО2, выделившегося при разложении карбонатов (см. табл. 15) в количестве 14,08 м3, общий объем газов в зоне кальцинации составит 14,08+275,7=289,78 м3. Средний объем газов в зоне кальцинации равен 275,7+0,5·14,08=282,74 м3. Тогда состав газов в зоне кальцинации будет следующим:

%;



%;



%



%



В зоне подогрева в газовую фазу переходит 11,55 кг Н2О из исходной шихты, или 11,55·22,4/18=14,37 м3.

Общий объем газов в конце зоны подогрева составит 282,74+14,37=297,11м3.

Средний объем газов равен 282,74+0,5·14,37*=*289,925 м3.

## Содержание компонентов в газах зоны подогрева равно

%;



%;



%;



%



В зоне сушки в газовую фазу переходит из шихты внешняя влага в количестве 154,6 кг, или 154,6·22,4/18=192,391 м3. Общий объем газов в конце зоны равен объему отходящих газов, т.е. 192,391+297,11=489,504 м3. Средний объем газов в зоне составляет 192,391·0,5+297,11=393,31 м3. Тогда состав газов в зоне сушки таков:

%;



%;



%;



%



Среднюю температуру газов в зоне подогрева находим по формуле логарифмического усреднения между газами и материалом



Здесь tгн=1250**°С;** tгк=750°С; tш=450°С,

˚С



Степень черноты СО2 и Н2О находим по графикам

При PСО2Sэф =0,1338·7,74·101,325=101,27 кПа·м

tГ=960°C*;* εCO2=0,2

РH2OSэф=0,1921·7,47·101,325=145,4 кПа·м;

tГ=960°С; ε΄H2O=0,35; εH2O=1,8·0,35=0,63;

εГ=0,2+0,63=0,83.

Степень развития кладки в зоне подогрева составляет



Вт/(м2·К4).



Определяем величину теплового потока излучением:

Вт/м2.



Средняя скорость движения газов в зоне подогрева равна

м/с;



тогда конвективный тепловой поток составит величину

qk=10,476·0,87(960-450)=4648,2 Вт/м2.

Средняя температура кладки составит tk=(960+273)/2=705°С. Тогда

Вт/м2.



Длина зоны подогрева составит



м.



В зоне кальцинации начальную температуру газов принимаем tгн=1400°С; конечную температуру газов tгк=1250°С; температуру шихты tш=875°С. Средняя температура газов в зоне равна

˚С.



Средняя температуpa кладки в зоне составляет

tк=(1320+875)/2=1100 °С.

Состав газов в зоне кальцинации (в соответствии с предыдущими расчетами): 11,23% СО2; 17,15% Н2O.

В зоне кальцинации происходит термическое разложение карбонатов, натриевого алюмосиликата, образование основной массы (до 90 %) алюмината и феррита натрия и двухкальциевого силиката, появляется небольшое количество жидкой фазы. Температура шихты на выходе из зоны достигает 1000°С, температура газов на входе в зону - 1400 °С. Унос пыли составляет 25 % от общего пылеуноса.

Теплопотребление в зоне кальцинации по статьям идет:

• на нагрев шихты (спека) до 1000 °С

0,88·128,8·(1000-750)·16=453376 кДж=453,4 МДж,

где 0,88 - теплоемкость спека, кДж/(кг·К);

• подогрев пыли до 1250 °С

096·41,95·(1250-750)·16=322176 кДж=322,2 МДж,

где 0,96 - теплоемкость пыли, кДж/(кг·К);

• нагрев технологических газов (СО2) до 1250 **°С**

2,202·14,37·(1250-750)·16=253141,9 кДж=253,14 МДж;

• разложение карбонатов. При этом количество СаСО3 (молекулярная масса - 100) в шихте (в известняке и боксите) (табл. 17) через СаО (молекулярная масса - 56) равно



Тогда в соответствии с уравнением

СаСОз*=*СаО+СО2 - 178000 кДж

затраты тепла составят

(4+5,365)·16(100/56)·(178000/100)=476277,1 кДж=476,3 МДж.

Количество Na2CO3 (молекулярная масса - 106) в шихте (в соде и оборотном растворе) через Na2O (молекулярная масса – 62) равно



Тогда в соответствии с уравнением

Na2CO3 =Na2O+СО2 - 322000 кДж

затраты тепла будут равны

=2791220,65 кДж=2791,22 МДж.



При разложении натриевого алюмосиликата количество Na2O·Аl2О3·2SiО2 (молекулярная масса - 284) на 1 тонну шихты рассчитывают по SiO2 (молекулярная масса - 60) в белом шламе:

0,66·284·16/(2·60)=24,9 кг.

Ввиду отсутствия экспериментальных данных по тепловому эффекту разложения этого соединения принимаем, что он равен тепловому эффекту реакции разложения Na2O·Аl2Оз·2SiО2. Тогда принимаем

Na2O·Аl2Оз·2SiО2=Na2O+Аl2О3+2SiO2 - 261000 кДж;

22883 кДж=22,8 МДж.



Теплоту образования алюмината натрия определяем по содержанию Аl2О3 (молекулярная масса 102) в спеке (см. табл. 17) и исходя из уравнения

Na2O+Аl2Оз=Na2O·Аl2О3 + 230000 кДж.

Тогда 1964470,6 кДж=1964,5 МДж.



Теплоту образования ферритов натрия устанавливаем по Fe2O3 (молекулярная масса - 160) в спеке согласно уравнению

Na2O+Fe2O3=Na2O·Fe2О3 + 178000 кДж;

409400 кДж=409,4 МДж.



Теплоту образования титаната натрия устанавливаем по TiO2 (молекулярная масса - 80) в спеке в соответствии с уравнением

Na2O+TiO2=Na2O·TiO2 + 178000 кДж.

Тогда 60520 кДж=60,5 МДж.



Теплоту образования двухкальциевого силиката устанавливаем по СаО (молекулярная масса - 56) в спеке в соответствии с уравнением

2СаО+8SiO2=2CaO·SiО2 + 119000 кДж,

159205 кДж=159,2 МДж



Итого, теплопотребление в зоне кальцинации составляет

453,4+322,2+253,14+476,3+2791,22-0,9·(22,8+1964,5+409,4+60,5+159,2)=1941,5 МДж.

Ширину слоя (хорда *l*x) и контактную поверхность его с барабаном *(1q)* определим исходя из соотношений размеров сегмента метариалов в поперечном сечении участка. Из практических данных принимаем центральный угол в зоне кальцинации равным 77,5°. Тогда

*l*x=Dпsinα/2=5sin(77,5/2)=3,13 м.

*l*q=πDпα/360=π·5(77,5/360)=3,38 м.

Определяем эффективную длину лучей газового потока



где Sпер - периметр свободного сечения печи, м.

Snep==



По практическим данным для зоны кальцинации можно принять коэффициент заполнения барабана печи φ=4,8...7,0 %. Выбираем φ=5,9 %. Тогда



;



Snep==



Степень черноты для СО2 и Н2О в зоне кальцинации находим из состава газов в ней:

PCO2Sэф=0,1123·7,37·101,325=83,86 кПа·м,

при tГ=1320°С εCO2=0,17;

PH2OSэф=0,1715·7,37·101,325=128,1 кПа·м,

при tГ=1320°С ε΄H2O=0,28; β=1,08; εH2O=0,28·1,08=0,3024;

Тогда степень черноты газов составит εГ=0,17+0,3024=0,4724. Степень развития кладки в зоне кальцинации составляет



Приведенный коэффициент излучения равен

3,87 Вт/(м2·К4).



Определяем величину тепловых потоков:

181998,1 Вт/м2.



Средняя скорость движения газов в зоне кальцинации равна

0,89 м/с;



Тогда конвективный тепловой поток

qk=10,467·0,89·(1320-875)=4145,45 Вт/м2.

С учетом температуры кладки 1100 °С получим

54505,21 Вт/м2.



Длина зоны кальцинации составит

6,46 м.



Протяженность зон спекания Lсп и охлаждения Lохл рассчитываем по необходимому времени пребывания шихты и спека в печи. Принимаем для зоны спекания τсп=0,4 ч, для зоны охлаждения τохл=0,25 ч.

Находим скорость движения материалов, принимая угол наклона печи γ=2,5 %, а скорость вращения печи *п*=1,0 об/мин. Пусть синус угла естественного откоса материалов в зоне спекания составит 0,8, а для зоны охлаждения - 0,72. Тогда скорость движения материалов в зоне спекания составит



а в зоне охлаждения



Следовательно, Lсп=29,38·0,4=11,75 м; Lохл=32,63·0,25=8,158 м.

Полная длина печи составит 136,01+35,91+6,46+11,75+8,158=75,3 м. Принимаем полную длину печи 80 м.

7. Тепловой баланс печи

Расчет ведем на 1 т глинозема.

1. Статьи прихода.

1.1. Теплоту от сгорания топлива определяем из расчета горения топлива

Qx=B·Qнр=35028,4 кВт.

1.2. При использовании колосникового холодильника воздух подогревается до температуры 200°С. Тогда физическую теплоту воздуха определяем по формуле

Qв=CвtвLαB=В·1,306·200·10,019=2616,96 В кВт.

1.3. Физическая теплота пульпы с температурой 50°С, принимаемой из данных практики работы вращающихся печей:

Qш=Cшtшmш=3595,5·16·0,96·50=2761344 кВт.

1.3.1. Теплота экзотермических реакций образования алюминатов натрия, феррита натрия, двухкальциевого силиката, титаната натрия, которые протекают в основном в зоне кальцинации (см. раздел 5):

Qэкз=QNa2OAlO3+QNaFeO3+Q2CaO·SiO2+Q2CaO·TiO2

Qэкз =(1964,5+409,4+60,5+159,2)·1000=2593600 кВт.

# Общий приход теплоты в печь составит

35028,4 B +2616,96 В+2761344+2593600=

=37645,36 B+5354944 кВт.

2. Статьи расхода

2.1. Физическая теплота спека при температуре 1000 °С

Qcп=CспGспtсп=0,88·1340,5·1000=1179640 кВт.

2.2. Физическая теплота пыли при температуре отходящих газов 250 °С

Qп=GпCпtп=444·0,88·250=97680 кВт.

2.3. Теплота эндотермических реакций испарения влаги, разложения бемита и гидрогематита, каолинита, разложения карбонатов, разложения алюмосиликатов, образования алюмината натрия, ферритов натрия, титаната натрия, двухкальциевого силиката (см. раздел 6):

Qэнд=165,98+147343,8+6743,48+25574,4+

+476277,1+2791220,65+22883+1964470,6+

+409400+60520+159205=6063804,01 кВт.

2.4. Теплота отходящих газов, состоящих из продуктов сгорания топлива (раздел 5) и технологических газов (табл. 15):

Qг=CдtдVαB+CCO2tдVCO2+CH2OtдVH2O

Qг =(B 11,028·0,4+140,8·1,825+2065,5·1,5325)·250=3859,8 B+855584,68 кВт.

2.5. Потери теплоты через стенку теплопроводностью рассчитываем по зонам.

В зоне сушки температура материала на входе составляет 40°С, на выходе 150°С, в среднем °С. Температура газов на входе в зону составляет 750°С, на выходе 250°С, в среднем °С. Тогда общее количество теплоты, теряемое в окружающую среду в зоне сушки, составит



В зоне подогрева температура материала на входе составляет 150°С, на выходе 750°С, в среднем °С. Температура газов на входе в зону составляет 1250°С, на выходе 750°С, в среднем °С. Тогда



В зоне кальцинации температура материала на входе составляет 750°С, на выходе 1000°С, в среднем °С.



Температура газов на входе в зону составляет 1400°С, на выходе 1250°С, в среднем °С. Тогда



В зоне спекания температура материала составляет в среднем 1200°С. Температура газов в среднем составляет 1440°С. Тогда



В зоне охлаждения температура материала на входе составляет 1200°С, на выходе 1000**°С,** в среднем °С.



Температура газов в среднем по зоне составляет 300 °С. Тогда



В итоге потери теплоты за счет теплопроводности составляют

26681,54+228148,8+69739,7+97037,7+38444,4=460052,14 кВт.

Определяем потери тепла излучением через торцыпечи



Поскольку последней зоной, где горит факел, является зона спекания, имеющая максимальную температуру газов 1440°С, то Tmax=1440+273=1713 К;



Принимаем в первом приближении



Тогда



С поправкой на Δtлуч, получим



При внутреннем диаметре печи 5 м и длине зоны охлаждения (8,158) м коэффициент диафрагмирования Ф по графику равен 0,38. Тогда

Вт=3239,56 кВт.



Q5=Q5п+Q5л=460052,14+3239,56=463291,7 кВт.

## Расход теплоты равен

Qрасх=855584,68+463291,7+6063804,01+3859,8В+97680+1179640=

=3859,8 В+8660000,4 кДж.

Составляем уравнение теплового баланса:

37645,36 В+5354944=3859,8 В+8660000,4

откуда расход топлива В=97,82 м3/ч.

Часовой расход топлива составит Вτ=В·G=97,82·16=1565,12 м3/ч. Итоговый тепловой баланс представлен в табл. 18.

Удельный расход условного топлива определяем по выражению

кг. усл. топлива/т спека.



Определяем коэффициент полезного действия печи спекания



Таблица 18.

**Тепловой баланс печи спекания бокситов производительностью 16 т/ч**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| №  п/п | Приход теплоты | кВт/ч | % | № п/п | Расход теплоты | кВт/ч | % |
| 1  2  3  4 | Теплота от сгорания  топлива  Физическая теплота  воздуха  Физическая теплота  шихты  Теплота  экзотермических  реакций  Итого | 3426478,09  255991,03  2761344  2593600  9037413,12 | 37,91  2,83  30,55  28,7  100 | 1  2  3  4  5 | Физическая теплота спека  Физическая теплота  пыли  Теплота эндотермических  реакций  Теплота отходящих  газов  Потери теплоты в окр.ср.  Невязка  Итого | 1179640  97680  6063804,01  1233150,32  463291,7  152,91  9037413,12 | 13,05  1,08  67,1  13,65  5,12  -  100 |

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В мире накоплен значительный опыт конструирования и эксплуатации печей различного назначения. Большое разнообразие конструкций печей, применяемых в промышленности, обусловлен прежде всего чрезвычайно широким спектром технологических процессов, осуществляемых при производстве и дальнейшей тепловой обработки разнообразных материалов. Диапазон рабочих температур может изменяться в широких пределах. Вот почему при выборе конструкции и исходных данных, необходимых для расчета промышленной печи, следует, прежде всего, учитывать особенности технологического процесса, осуществляемого в данном агрегате.

Основное назначение металлургической печи состоит в том, чтобы создать в рабочем пространстве, изолированном от окружающей среды, наиболее благоприятные условия для реализации соответствующего технологического процесса. При этом необходимо учитывать закономерности, характеризующие процесс теплогенерации, механизм движения газов и теплообмен. Необходимо принимать во внимание взаимосвязь между условиями работы данной печи и условиями работы огнеупоров; возможность внутрипечного пылеосаждения или создания надежных систем очистки отходящих газов от пыли и т.д. Надежно работающая печь с экономным и рациональным использованием ее тепловой мощности является той базой, на основе которой можно решить практически любые технологические вопросы.

В технологическом расчете вращающейся печи спекания нами были выполнены:

1. Расчет минерального баланса процесса спекания, исходя из заданного состава шихты.
2. Расчет горения топлива заданного условием состава, в котором был определен теоретический расход вохдуха на горение, который составил 9,277 м3/м3 и действительный 10,019 м3/м3, теплоту сгорания топлива Qнр=35028,4 кДж/м3, состав и количество продуктов сгорания, определена теоретическая (1890 ˚С) и действительная (1512 ˚С) температуры горения природного газа.
3. Расчет размеров печи. В результате были получены следующие величины:
   1. Внутренний диаметр рабочего пространства печи равен 5 м.
   2. Наружный диаметр печи – 5,6 м.
   3. Длина зоны сушки –13,01 м.
   4. Длина зоны подогрева – 35,91 м.
   5. Дина зоны кальцинации – 6,46 м.
   6. Длина зоны спекания – 11,75 м.
   7. Дина зоны охлаждения – 8,158 м.
   8. Общая длина печи составит – 80 м.
4. Расчет расхода топлива, на основании которого был составлен тепловой баланс рабочего пространства печи.
5. Расчет удельного расхода топлива в целом на процесс, который равен b=116,905 кг усл. топл/т спека.
6. Расчет значения коэффициента полезного действия вращающейся печи, который равен η=80,15 %.