

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт Metallургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащение полезных ископаемых

Туашева Эльвира Манатқызы

«Обжиг сульфидной шихты в вибропульсирующем слое»

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

к дипломной работе

Специальность 5В070900 – Metallургия

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт Metallургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащение полезных ископаемых

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ

Заведующий кафедрой МиОПИ

кандитат технических наук

_____ М.Б. Барменшинова

« ____ » _____ 2020 г.

ДИПЛОМНАЯ РАБОТА

Тема: «Обжиг сульфидной шихты в вибропульсирующем слое»

5B070900 – Metallургия

Выполнила

Туашева Эльвира Манатқызы

Научный руководитель
ассоц. проф., канд. техн.
наук

_____ Б. С. Баимбетов

« ____ » _____ 2020 г.

Алматы 2020

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Satbayev University

Институт металлургии и промышленной инженерии

Кафедра металлургии и обогащение полезных ископаемых

5B070900 – Металлургия

«УТВЕРЖДАЮ»

Заведующая кафедрой МиОПИ
кандидат технических наук

_____ М.Б. Барменшинова

« ____ » _____ 2020 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломной работы

Обучающемуся Туашева Эльвира Манатқызы

Тема: Обжиг сульфидной шихты в вибропульсирующем слое

Утверждена приказом Ректора Университета №762–б от "27" января 2020 г.

Срок сдачи законченной работы "20" мая 2020 г.

Исходные данные к дипломной работе: Химический состав шихтовых материалов и методика исследования

Краткое содержание дипломной работы:

а) литературный обзор

б) экспериментальные исследования

Перечень графического материала: *представлены 10 слайдов презентации работы*

Рекомендуемая основная литература: из 9 наименований

ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение	12.03.2020 г.	
Литературный обзор	21.04.2020 г.	
Методика исследований	15.05.2020 г.	
Заключение	20.05.2020 г.	

Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу с указанием относящихся к ним разделов работы

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Методика исследований	Б.С. Баимбетов ассоц. проф., канд. техн. наук		
Нормоконтролёр	А. Н. Таймасова магистр техн.наук		

Научный руководитель _____ Б. С. Баимбетов

Задание принял к исполнению обучающийся _____ Э. М. Туашева

Дата _____ « ____ » _____ 2020 г

АННОТАЦИЯ

В дипломной научно – исследовательской работе представлен анализ процессов переработки сульфидных полиметаллических материалов.

Цель работы – разработка установки окисления сульфидных материалов в вибропульсирующем слое, исследование кинетики и механизма окисления сульфидов с солями натрия и калия, для дальнейшей разработки технологии термогидрометаллургической переработки полиметаллических сульфидных материалов.

Был проведен термодинамический расчет реакций окисления. Были проведены исследования со смесью концентратов и построены материальные балансы.

По данным проведенных исследований было изучено поведение, скорость и степень окисления обжига сульфида меди Cu_2S при температуре 550 °С, 600 °С и 650

АҢДАТПА

Диссертацияда полиметалл сульфидті материалдарды өңдеу процестеріне талдау берілген.

Жұмыстың мақсаты - тербелмелі пульсациялық қабаттағы сульфидті материалдарды тотықтыру зауытын құру, сульфидтердің натрий және калий тұздарымен тотығуының кинетикасы мен механизмін зерттеу, полиметалл сульфидті материалдарды термогидрометаллургиялық өңдеу технологиясын одан әрі дамыту.

Тотығу реакцияларының термодинамикалық есебі жүргізілді. Зерттеулер концентраттар қоспасымен жүргізіліп, материалдық баланстар жасалды.

Зерттеулерге сәйкес мыс сульфидінің Cu_2S 550 °C, 600 °C және 650 °C температурасында жануының күйі, жылдамдығы және тотығу жағдайы зерттелді.

ANNOTATION

The research paper presents an analysis of the processing of sulfide polymetallic materials.

The purpose of this work is to develop a system for the oxidation of sulfide materials in a vibratory layer, to study the kinetics and mechanism of the oxidation of sulfides with sodium and potassium salts, for further development of the technology for thermohydrometallurgical processing of polymetallic sulfide materials.

Was conducted by thermodynamic calculation of reactions of oxidation. Studies were conducted with a mixture of concentrates and material balances were constructed.

According to the results of the research, the behavior, speed and degree of oxidation of copper sulfide Cu_2S firing at a temperature of 550 0C, 600 0C and 650 0C were studied.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	9
1 Теоретические основы процесса обжиг	11
1.1 Определение процесса обжига	11
1.2 Основные физико – химические свойства сульфидов и продуктов их окисления	14
1.2.1 Температура воспламенения сульфидов и кинетика их окисления	14
1.2.2 Термодинамика реакции обжига	16
2 Аппараты для процесса обжиг	17
2.1 Обжиг в печи кипящего слоя	17
2.2 Окисления сульфидных материалов в пульсирующем слое	18
2.3 Обжиг в трубчатых вращающихся печах	21
3 Обжиг сульфида меди в реакторе вибропульсирующего слоя	23
3.1 Термодинамика реакций окисления сульфида меди	24
3.2 Кинетика обжига сульфида меди в пульсирующем слое	26
4 Технологические расчеты технологии обжига	33
4.1 Результаты опытов исследуемых концентратов	33
Заключение	35
Список литературы	36

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время переработка полиметаллического коллективного сырья – это задача, которая требует решения. Современные технологии, применяемые на заводах направлены на переработку монометаллического сырья, содержащего сравнительно небольшое количество сопутствующих металлов. Но в связи с тем, что месторождения вырабатываются, полиметаллические руды, поступающие на переработку, становятся бедными. Обеспечение заводов монометаллическими концентратами тяжелых цветных металлов требует селекции на стадии флотационного обогащения и соответственно увеличивает количество дополнительных операций очистки, снижает извлечение основного металла. При обогащении флотационным способом процент извлечения ценных компонентов в коллективный концентрат выше по сравнению с селективным. Технология переработки сульфидных полиметаллических концентратов поможет решить вышеприведенную проблему и снизить количество выбрасываемых газов и отходов в окружающую среду.

Технология переработки коллективного концентрата и промпродуктов цветных металлов, проводится на основе обжига шихты с добавлением карбонатов натрия и калия при 500-700 °С, водного и кислого выщелачивания огарков при температурах 50-70 °С и плавки кека-2 с выводом ценных и сопутствующих компонентов в различные продукты. Использование карбонатов натрия и калия позволит связать сернистые газы в прочный сульфат натрия.

Для создания вибропульсации был разработан электромагнитный вибратор, с помощью которого перемешивалась мелкодисперсная шихта, а для создания вибропульсации в слое пульпы был разработан электромагнитный вибратор иной конструкции.

Исследования обжига проб проводились в лабораторной установке, которую смонтировали на основе блока от дериватографа Q1000 с двумя печами. Для измерения и регулирования температуры в печи модуль был дополнительно оснащен измерителем типа ИРТ 5301 с термопарой ХА. Электропитание печей регулируется тиристорным блоком. Контрольные измерения температуры в реакционной зоне проводили термопарой и цифровым прибором DT-838.

В данной части комплексной дипломной работы выполнены исследования с сульфидами железа FeS, меди Cu₂S и смесью полиметаллических концентратов.

По программе проводили термодинамический расчет реакций в системах сульфид металла – карбонат натрия – кислород для сопутствующих ценных металлов в интересующем интервале температур.

Были проведены исследования для изучения кинетики окисления сульфидов железа и меди при добавлении карбонатов натрия и калия в условиях вибропульсирующего слоя.

Были проведены исследования распределения ценных компонентов при обжиге смеси концентратов, водного выщелачивания огарка и кислого выщелачивания кека – 2.

Состав концентрата, огарка, кеков и растворов определен на спектрофотометре СПАРК-1 по калибровочным данным (пластины металлов, смеси оксидов и сульфидов). Навеску материалов взвешивали на электронных весах ВЛТ-510-П (сарто). Выщелачивание материалов проводили в термостате УТУ-2/п, анализ растворов на спектрофотометре JENWAY 6300.

1 Теоретические основы процесса обжиг

1.1 Определение процесса обжига

Теоретическими основами процесса обжига являются термодинамические и молекулярно – кинетические закономерности, характеризующие гетерогенные процессы. Термодинамический анализ позволяет предсказать направление течения процесса и конечный состав реагирующих веществ в равновесном (стандартном) их состоянии.

Обжиг – высокотемпературная процесс, который обеспечивает обработку руд и рудных концентратов в различной газовой среде с целью изменения необходимых физико – химических свойств, а так же помогает переводу нужных компонентов в соответствующую форму и удаляет летучие примеси, способствует повышению прочности и кажущейся плотности, снижение пористости. Обжиг руд является самостоятельной обогривательной операцией (термохимическое обогащение) или подготовительной – перед обогащением труднообогатимых руд.

В частых случаях практики обжиг является обязательно необходимым процессом, к примеру при переработке стандартных цинковых или свинцовых концентратов. Если же не применять этот процесс дальнейшая металлургическая переработка становится затруднительной или вовсе невозможной.

А если брать, к примеру, переработку сульфидных и медных концентратов, то в этом случае обжиг не является абсолютно необходимым процессом, но если все же его применять, то последующие операции будут проходить более эффективнее.

1.2. Классификаций процесса обжиг

Отталкиваясь от состава и характера поступающих материалов и последующих металлургических процессов, различают несколько видов процесса обжиг: окислительный обжиг, восстановительный обжиг, хлорирующий обжиг, кальцинирующий обжиг, сульфатизирующий обжиг, агломерирующий обжиг (спекающий).

Отличаются они по химизму протекающих процессов:

Окислительный обжиг сульфидных руд и концентратов является наиболее распространенным в цветной металлургии. Обычно окислительный обжиг применяется в производстве меди, цинка, свинца, олова, никеля, а также редких и благородных металлов и проводится в печах с кипящим слое (КС). Целью окислительного обжига является полное или частичное удаление серы из обжигаемых материалов и перевод сульфидов железа в формы окислов, которые шлакуются при последующей плавке огарка.

Существует вид обжига, при котором идет полное удаление серы, который называют обжигом «намертво». В пирометаллургии цинка и свинца при необходимости получить из сульфидных концентратов огарок, состоящий только из окислов металлов, применяют именно такой вид окислительного обжига. Если

говорить о пирометаллургии никеля и меди чаще всего применяют неполный или частичный окислительный обжиг, за счет чего часть сульфидов остается не измененной, либо другими словами, не подвергаются окислению.

Таким образом, применение частичного или полного окислительного обжига хотя не является абсолютно необходимым, напрямую связано с экономическими причинами.

Следующий вид обжига восстановительный обжиг, его применяют для перевода высших оксидов металлов в низшие или металлы обработкой исходного материала различными восстановителями. Процесс происходит в восстановительной атмосфере, при температурах 500 – 800⁰С. В качестве восстановителей используют природный газ, углеродистые материалы, серу и ее соединения, коксовый, металлургический. Область применения восстановительного обжига весьма узок. Известен опыт в металлургии меди применения восстановительного обжига, в котором процесс используют как предварительную операцию при аммиачном выщелачивании окисленных руд.

Хлорирующий обжиг применяют для того, чтобы перевести сульфиды или оксиды металлов, с обработкой исходных материалов, в хлориды при повышенных температурах хлором и их соединениями:



Обычно хлорирующий обжиг ведется при присутствии угля. Значение угля в том, что за счет соединения кислорода в оксиды углерода или СОСl₂ равновесие реакции вытеснение кислорода хлором смещается вправо.

На сегодняшний день хлорная металлургия нашла свое применение а производстве ниобия, титана, циркония, германия, редкоземельных элементов, кремния, олова и даже алюминия. Он эффективен при переработке промышленных отходов, содержащие ценные элементы, металлолома, отработанных тепловыделяющих элементов ядерных реакторов.

В настоящее время хлорирующий обжиг широко применяется для переработки огарков от обжига пиритных руд, дабы извлечь ценные металлы, которые остались в огарке.

Кальцинирующий обжиг или другими словами, прокалку используют для получения оксидов металлов из исходных соединений ввиду их термической диссоциации. Этот вид обжига обычно используют для карбонатов и гидроксидов.

Кальцинирующий обжиг способствует уменьшению веса материала, поступающий в последующую металлургическую переработку, а также уменьшается расход топлива во время плавки, в частых случаях повышает извлечение металла.

Процесс кальцинирующего обжига протекает в атмосфере воздуха при температурах более высоких, относительно температуры разложения карбонатов и сульфатов отдельных металлов. С целью удаления выделяющихся в процессе углекислого газа и сернистого ангидрида и в пользу поддержания низкого парциального давления этих газов происходит постоянная циркуляция воздуха. Эта

разновидность обжига не имеет особого значения в металлургии меди, но хорошо применяется в металлургии чугуна и цинка.

Сульфатизирующий обжиг применяют в гидрометаллургии цветных металлов, используют чтобы извлекаемые металлы перевести в форму растворимых в воде сернокислых соединений, а железа в форму нерастворимой окиси железа или магнетита. Сульфатизирующий обжиг протекает в окислительной атмосфере при температурах ниже температур разложения сернокислых солей извлекаемых материалов. В печи при слабом притоке воздуха придерживают умеренную тягу, дабы обеспечить наилучшую сульфатизацию.

Агломерирующий (спекающий) обжиг используют в двух случаях: для того, чтобы исходный порошкообразный материал превратить в кусковой (агломерат) и для удаления серы. Применяют этот тип исходя от характера материалов и последующего передела агломерата выбирая ту или иную цель; в некоторых случаях необходимо для обеих задач. К примеру, при агломерирующем обжиге медных концентратов или руд стоит задача окускования материалов. А если говорить о цинковых концентратах или руд наиболее важной целью является удаление серы, хотя бывает, что укрупнение материала тоже имеет значение. Наконец, аналогично важно как окускование, так и удаление серы из материала в металлургии чугуна и свинца.

Спекающий обжиг сульфидных материалов считается как окислительный процесс, а агломерация окислительных материалов обычно имеет особенность восстановительного процесса. Обе операций спекающего обжига протекают в более высоких температурах, относительно других видов обжига, с получением порошкообразного огарка. Таким образом, в отличие от других типов обжига, в агломерирующем обжиге имеет возможность к частичному появлению жидкой фазы, которая, сцепляя частицы твердой шихты, быстро исчезает.

1.2 Основные физико – химические свойства сульфидов и продуктов их окисления

Такие типы обжига как окислительный и сульфатизирующий представляют собой сложные гетерогенные процессы, которые связаны с операциями реакция диффузия, адсорбция, десорбция и с множеством химических взаимодействий.

От свойств исходных материалов, подвергающиеся обжигу, зависит протекание этих процессов и их результаты, иными словами, от свойств сульфидов, а также от свойств продуктов их окисления.

Из главных свойств сульфидов, которые влияют на протекание и результаты процесса обжига, важно заметить температуру плавления сульфидов, теплоты их образования, давление диссоциации или изменение величин стандартного изобарно – изотермического потенциала реакций их образования в зависимости от температуры.

По температурам плавления сульфидов и сульфидных эвтектик можем дать оценку предположительного верхнего предела температур процесса подового обжига материалов, так как этот процесс протекает ровно без их спекания и оплавления. Термическая устойчивость сульфидов является важным фактором, так как результаты процесса обжига напрямую зависят от нее. Другими словами, зависят от величины изменения стандартного изобарно – изотермического потенциала реакций их образования или величины давления диссоциации отдельных сульфидов.

1.2.1 Температура воспламенения сульфидов и кинетика их окисления

Реакция окисления сульфидов протекает на границе раздела твердой и газообразной фаз, а также относится к экзотермическим и гетерогенным реакциям. По условиям прихода тепла и теплопровода, определяется термический режим гетерогенных реакций. По этой причине диффузия и теплопередачи имеют значительную роль в этих реакциях. Температура поверхности, на которой протекает реакция будет отличаться от температуры газового потока и окружающей среды, если реакция сопровождается значительным выделением тепла. Объем тепла, который выделяется на поверхности, определяется макроскопически скоростью реакции, а количество тепла, которое отводится от поверхности, условиями теплопередачи. Установленная постоянная температура поверхности при условии равенства скоростей прихода тепла и теплоотвода, зависит от соотношения между скоростью реакции и интенсивностью теплоотвода. Скорость гетерогенных процессов не возрастает с температурой, она определяется скоростью подвода реагирующих веществ к этой поверхности и истинной скоростью химической реакции на поверхности молекулярной или конвективной диффузией. Скорость химической реакции значительно снижается скорости диффузии при низких температурах. В реакцию с сульфидами вступает небольшое количество молекул кислорода, тем самым выравнивание концентраций кислорода у поверхности сульфида с остальными находящимися в объеме в значительной степени завершается без задержки процесса окисления.

Суммарную скорость процесса определяем истинной кинетикой на поверхности, согласно закону Аррениуса, не зависит от скорости газового потока и экспоненциально возрастает с температурой:

$$\vartheta \approx \vartheta_{\text{кин}} = A \cdot e^{\frac{-E}{Rt}} .$$

где E – энергия активации;

A – сложная функция, которая зависит главным образом от состава газовой фазы, величины и поверхности твердого тела.

Эту зону протекания процесса называют кинетической зоной. В моменте сравнения скорости реакции и скорости диффузии, суммарная скорость процесса

прекращает подчиняться экспоненциальному закону. Такое происходит при высоких температурах, когда скорость химической реакции превышает скорость диффузии. Если так, то тогда значительная часть молекул кислорода, имея необходимое количество энергии активации, доходит до поверхности сульфида и вступает в реакцию с последним.

В итоге реакции происходит соединение близлежащего слоя газа молекулами кислорода и обогащение его продуктами реакции. Процесс перемещается в диффузионную область, где скорость процесса полностью определяется скоростью диффузии и слегка возрастает с температурой. Так как, процесс происходит в диффузионной области, скорость определяется по формуле:

$$\vartheta \approx \vartheta_{\text{диф}} = DS \frac{dc}{dx}.$$

где D – коэффициент диффузии, $\text{см}^2/\text{сек}$, численно равный скорости диффузии при $S = 1 \text{ см}^2$ и $\frac{dc}{dx} = 1 \text{ г}/\text{см}^4$;

S – площадь низкоконтрационной поверхности, см^2

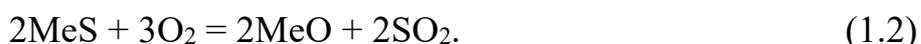
$\frac{dc}{dx}$ – градиент концентрации, $\text{г}/\text{см}^4$,

Скорость теплопередачи q пропорциональна разности между температурой поверхности твердого тела T и температурой газового ядра τ

$$q = \alpha(T - \tau)^{1,25} + b(T^4 - \tau^4).$$

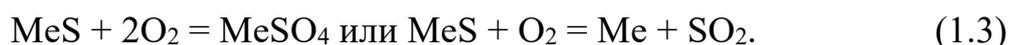
1.2.2 Термодинамика реакции обжига

В целом основную реакцию обжига можно представить в следующем уравнении:



Реакция является экзотермичной и ее тепловой эффект такой, что процесс может идти самопроизвольно без затраты постороннего топлива.

Но периодически окисление сульфида может идти по таким реакциям, как:



Вышеуказанные реакции представляют окончательный результат окисления сульфида и не дают абсолютно никаких указаний о механизме процесса. Изменение величины изобарно – изотермического потенциала реакций определяет конечный результат окисления. Сопоставление этих величин для однотипных реакций дают возможность определить предпочтительность

протекание одной реакции перед другой. Среди нескольких однотипных реакций, предпочтительно протекает та, для которой изменение стандартного изобарно – изотермического потенциала имеет наиболее отрицательную величину.

Возьмем, к примеру, агломерирующий обжиг. В процессе агломерирующего обжига соединения свинца взаимодействуют с кислородом воздуха и между собой, давая ряд промежуточных соединений свинца, которые мало стойки и разлагаются при соответствующих температурах и концентрациях сернистого ангидрида. Напомним, что многие реакции представляют окончательный результат взаимодействия отдельных компонентов и не дают никаких указаний о механизме процесса. Конечный результат реакции определяется величиной изменения изобарно-изотермического потенциала реакции.

Сравнение этих величин для однотипных реакций позволяет оценить предпочтительность протекания одной реакции перед другой. Из нескольких однотипных реакций предпочтительно протекает та, для которой изменение стандартного изобарно-изотермического потенциала имеет наиболее отрицательную величину.

Изменение стандартного изобарно-изотермического потенциала обсуждаемых нами реакций рассчитывали по изменениям стандартных изобарно-изотермических потенциалов образования отдельных компонентов реакций.

2 Аппараты для процесса обжиг

2.1 Обжиг в печи кипящего слоя

Вся суть обжига в кипящем слое состоит в том, что через слой концентрата пропускается восходящий поток воздуха с такой скоростью, при которой все зерна материала на расстояний высоты слоя начинают непрерывное движение, процесс напоминающий кипение жидкости, вследствие этого процесс получил название – обжиг в «кипящем слое».

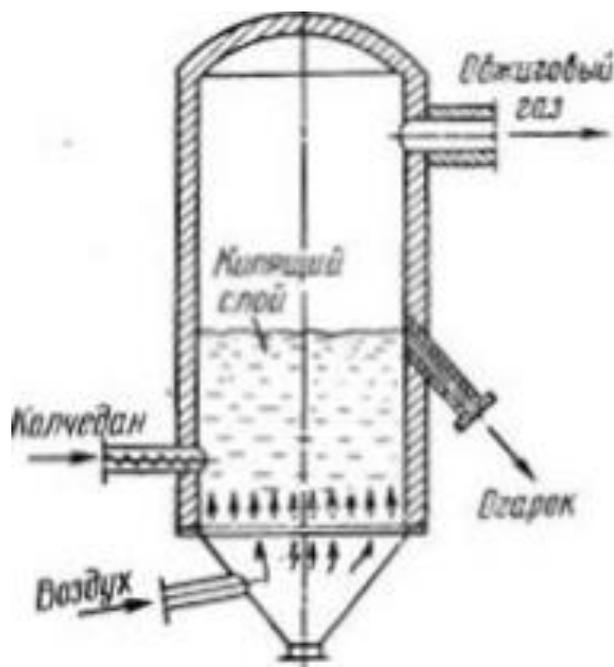


Рисунок 2.1 – Схема печи для обжига в кипящем слое.

Для обжига в кипящем слое применяют печи реакторы самых разнообразных конструкций. Но не смотря на эти конструкции, каждая печь для обжига в кипящем слое состоит из таких элементов, как: свод, вертикальные стенки, под с соплами, через которые подается воздух, устройства для загрузки и выгрузки и газохода.

Обычно места загрузки и выгрузки располагаются сбоку печи и в противоположенные стороны друг от друга, хотя могут располагаться по – другому.

Под печи – это такое устройство, которое отвечает за равномерное распределение подаваемого воздуха через него под слой материала и не дает зернистому материалу провалиться через отверстия в воздушную камеру. Под обычно выполняется в виде беспровальной решетки, которая состоит из большого числа жароупорных сопел колпачкового типа, располагаются они по площади пода на расстоянии от 150 до 300 мм. В диаметре каждое сопло имеет 25 – 30 мм.

Рабочая камера печи в поперечном сечении может иметь разнообразные формы, к примеру круглую, квадратную, эллиптическую или еще другую. Печи могут быть однокамерными и многокамерными.

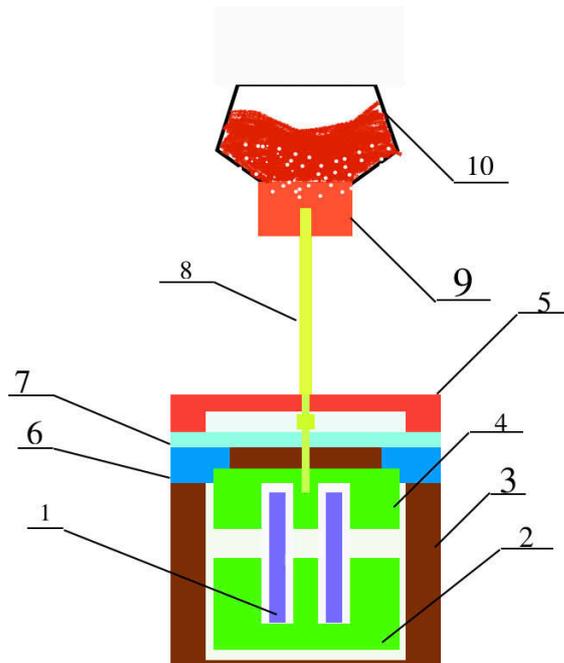
Если обжиг протекает с большим экзотермическим тепловыделением, то на уровне кипящего слоя в нижней части печи устанавливают водяные или воздушные теплообменники для отбора избыточного тепла (кессоны, змеевики и т. д.). Обжиговая камера состоит из железного кожуха, футерованного изнутри слоем шамотного кирпича, или из огнеупорного бетона толщиной 200—300 мм. В некоторых печах между кожухом и огнеупорным слоем располагается слой теплоизоляции 10—50 мм. Иногда обжиговую камеру делят на несколько смежных камер вертикальными или горизонтальными перегородками. В этом случае материал последовательно проходит обжиг в кипящем слое в каждой камере, перемещаясь самотеком из камеры в камеры через перегрузочные трубы или отверстия. Разделение процесса обжига на несколько камер дает возможность поддерживать в них различную температуру. В некоторых печах камера в верхней части расширена для успокоения газозвушной смеси.

Материалы загружают в печи через боковую стенку или свод из бункера с помощью ленточного, шнекового, тарельчатого или лопастного питателя. Иногда материал подается в печь в виде пульпы с помощью насоса и сливной трубы. Обожженный материал удаляется из печи самотеком через разгрузочные трубы и отверстия, находящиеся на уровне кипящего слоя. Газы, содержащие большое количество пыли, представляющей собой обожженный материал, отводятся через газоходные отверстия в боковых стенках или своде в пылеулавливающие и теплоиспользующие устройства. Печи для обжига в кипящем слое, несмотря на относительно недавнее распространение в технике имеют большие перспективы в будущем и надо ожидать, что в ближайшие годы появится много новых конструкций печей этого типа для обжига сырья и полупродуктов различных цветных металлов.

2.2 Окисление сульфидных материалов в пульсирующем слое

На сегодняшний день показатели показывают, что окислительный обжиг сульфидного материала чаще всего проводится в печах кипящего слоя. Но печи кипящего слоя имеют свои недостатки, в виде большого количества пылевыноса и дополнительные затраты на пылеулавливание. Чтобы избежать этих неполадок предлагается использовать вибропульсирующий слой.

С целью создания вибропульсаций в слое обжигаемого материала разработан и изготовлен на базе электромагнитного 3 - х фазного пускателя - электромагнитный вибратор с пружинами в виде пластин, приведенная на рисунке 2.2.1.



1-электромагнитная катушка; 2- неподвижный сердечник; 3- корпус; 4- подвижный сердечник; 5- крышка корпуса; 6- прокладки; 7- пластинчатые пружины; 8- шток; 9- крепежная муфта; 10- тигель с навеской шихты

Рисунок 2.2 – Лабораторный электромагнитный вибратор для перемешивания шихты

Для проведения обжига в вибропульсирующем слое была разработана лабораторная установка окисления сульфидных материалов в пульсирующем слое.

Установка для обжига в пульсирующем слое собрана на основе модуля с двумя нагревательными печами от дериватографа Q-1000. Для измерения и регулирования температуры в печи модуль был дополнительно оснащен измерителем типа ИРТ 5301 с термопарой ХА. Электропитание печей регулируется тиристорным блоком. Фотографии установки и реакционного тигля приведены на рисунках 2.2, 2.3.



Рисунок 2.4 – Фотография установки обжига в вибропульсирующем слое



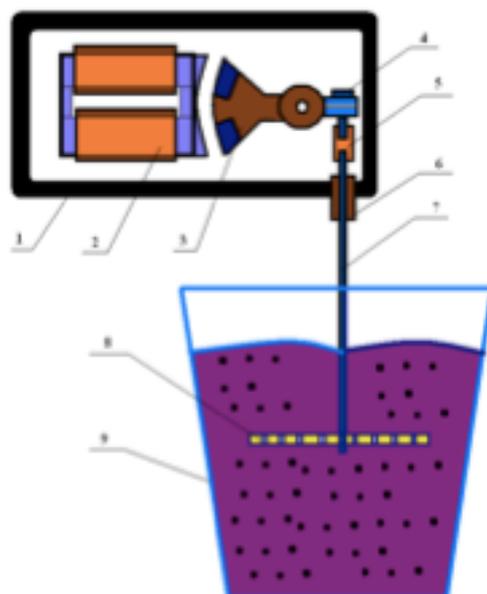
Рисунок 2.5 – Тигель с навеской материала

Тигель с шихтой состоящей из смеси сульфида и соды закреплен к электромагнитному вибратору через трубку, подающую дутье. Навеска материала в тигле составляет $(10-15) \cdot 10^{-3}$ кг. Вес тигля с металлической трубкой, крепежными гайками и конусным керамическим распылителем составлял $61 \cdot 10^{-3}$ кг.

Подача воздушного дутья в тигель осуществляется микрокомпрессором через шток-трубку, закрепленную на пластине вибратора, а регулирования расхода ротаметрами с вентилями. Ротаметры откалиброваны по пенному расходомеру.

Питание вибратора осуществляется лабораторным автотрансформатором ЛАТР, что позволяет, изменяя напряжения варьировать мощность на вибраторе и амплитуду пульсаций в рабочей зоне. При сопротивлении обмотки вибратора 111 Ом пульсации возникают при напряжении 20 Вольт. При мощности на вибраторе от 5 до 400 Вт амплитуда вибраций рабочего органа в вертикальной плоскости изменяется от $0,1 \cdot 10^{-3}$ до $1,0 \cdot 10^{-3}$ м. При мощности на вибраторе 25-30 Вт и амплитуде вибраций $0,1 \cdot 10^{-3}$ - $0,3 \cdot 10^{-3}$ м слой мелкодисперсной шихты массой $(10-15) \cdot 10^{-3}$ кг переходит в интенсивное подвижное состояние обеспечивающее перемешивание всего объема. При этом дутье поступает в слой шихты через керамический распылитель конусообразной формы установленной в центре на дне тигля.

Для проведения гидрметаллургических операций выщелачивания, получаемых по разрабатываемой технологии огарков и кеков разработан электромагнитный вибратор другой конструкции, на рисунке 2.6.



1 - корпус; 2 - электромагнитная катушка; 3 - маятниковый сердечник; 4 - винт; 5 - муфта; 6 - втулка; 7 - шток вибратора; 8 - перфорированный диск; 9 - емкость с пульпой

Рисунок 2.6 - Лабораторный электромагнитный вибратор для выщелачивания

2.3 Обжиг в трубчатых вращающихся печах

Печи такого типа широко применяются в металлургии алюминия и в металлургии никеля для кальцинирующего и окислительного обжига, еще в металлургии меди вращающиеся трубчатые печи во многих случаях применяют для сушки медных концентратов и для сушки угля на углепемольных фабриках, но до настоящего времени не получили промышленного применения для обжига медных материалов. Трубчатая вращающаяся печь выглядит в виде цилиндрического кожуха из листовой стали, общая длина которой составляет 19 – 25 м и диаметром 1,6 – 2,8 м, футерованный огнеупорным кирпичом.

Печь устанавливается на роликовых опорах с углом наклона 2° и приводится во вращение со скоростью 1 оборот в 2 – 3 минуты от специального двигателя через редукторную передачу. Материал загружается в верхний конец печи и при ее вращении последовательно перемещается к нижнему концу, через который происходит выгрузка обожженного продукта.

Печь отапливается от полугазовой топки или посредством мазутной форсунки, причем процесс сжигания топлива осуществляется в небольшой топке или камере сжигания, которая ставится впритык к нижнему концу печи.

Газообразные продукты сжигания топлива поступают в нижнюю часть печи и движутся через нее в направлении, противоположенном движению обжигаемого материала.

Движение материала в трубчатой печи при ее вращении складывается из подъема его отдельных частичек до дугообразной траектории и скатывания их обратно в нижнюю часть печи, при этом происходит последовательное перемещение материала вдоль печи располагается в форме слоя толщиной от 100 до 300 мм.

Процессы взаимодействия газов с твердым материалом происходит в основном, на открытой поверхности последнего. Кроме окисления сульфидов кислородом газов, при обжиге в многоподовых и трубчатых печах имеет известное значение окисление сульфидов активным «твердым» кислородом высших окислов железа, которые образуются на поверхности материала и при его перемещении замешиваются внутрь материала, то есть, внутрь его слоя.

В том и другом видах обжига передача тепла происходит за счет соприкосновения твердых материалов с горячими газами и с раскаленной футеровкой печи.

Кроме окислительного и кальцинирующего видов обжига, трубчатые печи находят свое применение в отдельных случаях для хлорирующего обжига материалов.

3 Обжиг сульфида меди (Cu₂S) в реакторе вибропульсирующего слоя

Для проведения этой практики использовались компоненты как карбонат натрия, сульфиды железа и сульфиды меди.

Чтобы изучить кинетику окислительно – сульфатизирующего обжига, обжиг проводили с добавлением карбоната натрия, т. е. смешали сульфид меди с кальцинированной содой. После чего, начали подавать дутье через слой шихты. Исследуемый режим обжига: вибропульсирующий слой. Проводились анализы отходящих газов на выявление в составе CO₂, проводился процесс в системе вибропульсирующего слоя на хроматографе. Для данного опыта брали взвешенные навески компонентов: сульфида меди (Cu₂S) – 6 грамм и кальцинированная сода (Na₂CO₃) – 3,4 – 6 грамм.

Используемый тигель следующие размеры: верхний диаметр 5 см, нижний диаметр 3 см и высота 3,6 см. Воздушное дутье в слой шихты подавалось через трубку, который имел керамический распылитель. Трубка крепилась на дно тигля прямо по центру к стержню электромагнитного вибратора.

Электромагнитный вибратор имел мощность 30 – 40 Вт, а расход воздуха был в пределах $5 - 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$. Во время обжига сульфида мы получили оксид металла и сульфат натрия, ко всему этому выделялся CO₂.



Содержание CO₂ в составе определялось для того, чтобы рассчитать показатель десульфуризации, показатель декорбанаии, показатель сульфатизации с образованием серноокислого натрия.

Перед началом процесса реактор нагревали до нужной температуры, для этого на него ставили электропечь, не подводя воздушного дутья. С помощью достигнутой температуры отбирали начальные порции газов, которые возникли в реакторе во время нагрева. Отборные газы позволяли понять степень превращения до того, как начнется подача воздуха. Только после этого включают воздушное дутье, его расход измеряют по ротаметру, который откалиброван по пенному расходомеру и время от времени брали отбор проб отходящих газов диспенсером хроматографа.

В реакционной зоне периодически измеряли температуру, так же поддерживали ее на должном уровне.

В начальном этапе обжиг проводился по дозам исследуемого компонентов сульфида смешанный с содой. Если наблюдать за процессом, то обжиг протекает при температуре выше 500⁰ С, интенсивность повышается при температуре 550⁰ С, а если повысить температуру до 600⁰ С, то можно заметить частичное спекание материала, даже при сильном виброперемешивании. Мы должны избежать спекания материала, так как, спекание снижает четкость результатов исследования. Для этого в навеску сульфида добавляют прокаленный глинозем.

Для того чтобы видеть превращение сульфидов при обжиге, по хроматорграммам была построена зависимость концентрации углекислого газа от продолжительности опыта, при всем этом учитывая объем отходящих газов. График показан на рисунке 3.1.



Рисунок 3.1. – Количество CO₂ в составе отходящих газов

По указанным условиям параллельно проводились несколько опытов, чтобы определить погрешности эксперимента.

3.1 Термодинамика реакций окисления сульфида меди

В процессе обжига, когда сульфид меди расплавляют с добавлением кальцинированной соды (Na₂CO₃), либо гидроксида натрия (NaOH) в нейтральной атмосфере имеет возможность образоваться оксиды, гидроксиды и карбонаты металлов при взаимодействии серы сульфида натрия. Как нам известно, по значению изменения энергии Гиббса можно узнать о протекании процесса при отрицательном его значении, либо о невозможности протекания при положительном значении. Так вот, при дефиците кислорода, реакция в

которой в итоге мы получаем оксид меди и сульфид натрия дает нам положительное значение, что говорит о его невозможности протекания:

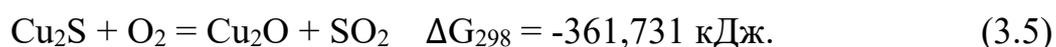
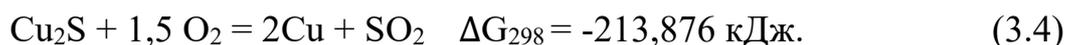


А также по значению изменения энергии Гиббса, образование карбоната меди по реакциям термодинамически невозможно:

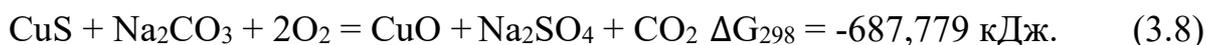
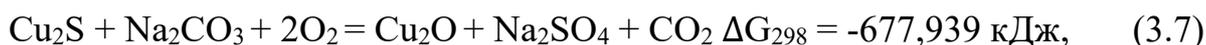


Значение изменения энергии Гиббса остается положительным в нейтральной атмосфере для реакции образования сульфида натрия, оксидов и карбонатов меди в процессе обжига и плавки до температур, предназначенных для цветной металлургии (700 – 1300⁰ С).

Технологии сульфатизирующего и окислительного обжига сульфидных концентратов, а также технологии автогенных процессов плавки сульфидного сырья основаны на том, что на хорошо изученных реакциях в окислительной атмосфере протекают экзотермические реакции окисления серы и низших сульфидов. При температурах 450 – 600⁰ С сульфиды меди окисляются с образованием сульфатов, а при температурах 700 – 1000⁰ С окисляются до образования оксидов. Если говорить о более высоких температурах благодаря взаимодействию оксидов и сульфидов, в итоговых продуктах реакции окисления имеет место быть металлом. На похожих реакциях получают черновую медь в конверторе:



С целью сравнения был проведен термодинамический анализ в системах MeS – Na₂CO₃ – O₂:



Есть высокая вероятность того, что реакция будет протекать слева направо с получением в продуктах металлической меди и оксида металла, так как реакции с активным окислителем – O₂ имеют отрицательные значения изменения энергии Гиббса во всем интервале температур пирометаллургии.

Сопоставление показывает, что реакции окисления сульфидов меди кислородом во время добавления в систему карбоната натрия возможны, так как имеет отрицательные значения изменения энергии Гиббса.

Применение солей щелочных металлов отличается от других технологий переработки сульфидного сырья тем, что позволяет в полном объеме исключить распространение сернистого газа в атмосферу, также образовавшийся сульфат натрия можно отделить от продукта процессом выщелачивания водой.

3.2 Кинетика обжига сульфида меди в пульсирующем слое

Данный пункт о результатах эксперимента кинетики обжига сульфида меди Cu_2S с взаимодействием с карбонатом натрия Na_2CO_3 , которые были проведены при температурах 500, 550, и 600 °С, с расходом воздуха $5 - 8 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ и с мощностью на вибраторе 30 – 40 Вт.

А также были проведены дополнительные опыты по данным которых рассчитывалась площадь графика под полученной кривой.

По результатам опытов был построен график зависимости изменения содержания диоксида углерода в отходящих газах от продолжительности опыта, который, приведен на рисунке 3.2.

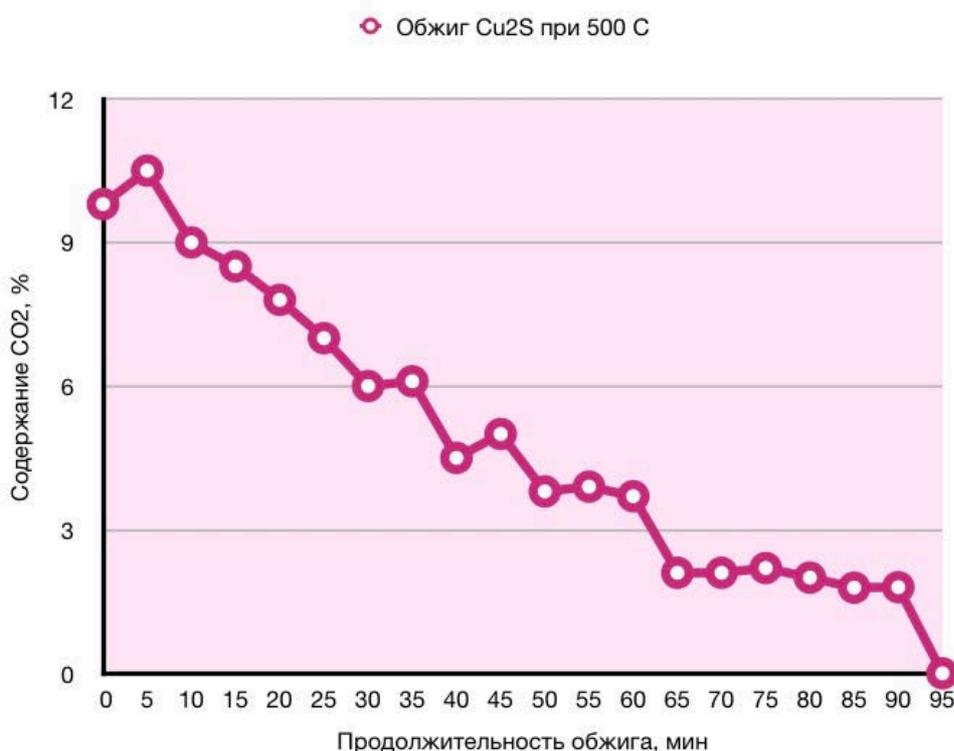


Рисунок 3.2 – Содержание CO_2 в газах реактора при обжиге сульфида меди, 500 °С

По экспериментальным данным составлялись таблицы изменения концентрации реагента и средней скорости процесса от продолжительности и строился график зависимости $\ln V = f(\ln C)$, далее по тангенсу наклона прямой и отсекаемому на оси ординат отрезку определялись значения n - порядка сложной реакции и логарифма константы скорости – $\ln K$. Скорость реакции и концентрации диоксида углерода рассчитывались для сопоставимости в долях единицы. Такое представление исходных данных, не привязанное к количеству прореагировавших компонентов участвующих в сложном процессе с последовательными и параллельно протекающими реакциями, позволяет получить кинетические данные, которые можно использовать для различных объемов реакторов при сохранении расходных коэффициентов. Результаты опытов приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1 - Применение дифференциального метода для определения кинетических параметров обжига Cu_2S при 500 °С в вибропульсирующем слое

t, min	C, %	R, %	V_{cp} , ед/min	$\ln C$, ед.	$\ln V$, ед/
0	9,72	0	0	-2,33098	-
5	10,4	8,588672	0,017177	-2,26336	-4,06416
10	9,1	16,40436	0,015631	-2,3969	-4,15847
15	8,7	23,79062	0,014773	-2,44185	-4,21499
20	7,5	30,48979	0,013398	-2,59027	-4,37887
25	7	36,75952	0,012539	-2,65926	-4,47968
30	6,2	42,42804	0,011337	-2,78062	-4,55846
35	6,2	47,66713	0,010478	-2,78062	-4,69904
40	4,6	52,21913	0,009104	-3,07911	-4,31263
45	5	56,2558	0,008073	-2,99573	-4,81919
50	3,8	59,86305	0,007214	-3,27017	-4,93166
55	3,8	63,12674	0,006527	-3,27017	-5,03175
60	3,4	66,13278	0,006012	-3,38139	-5,11399
65	2,4	68,5376	0,00481	-3,7297	-5,33713
70	2,4	70,513	0,003951	-3,7297	-5,53384
75	2,4	72,31662	0,003607	-3,7297	-5,62481
80	2	74,12024	0,003607	-3,91202	-5,62481
85	1,6	75,6662	0,003092	-4,13517	-5,77896
90	1,6	76,9545	0,002577	-4,13517	-5,96128
95	0,3	77,985140	0,002061	-5,80914	-6,18443



Рисунок 3.3 – Содержание CO₂ в газах реактора при обжиге сульфида меди при температурах 550⁰С

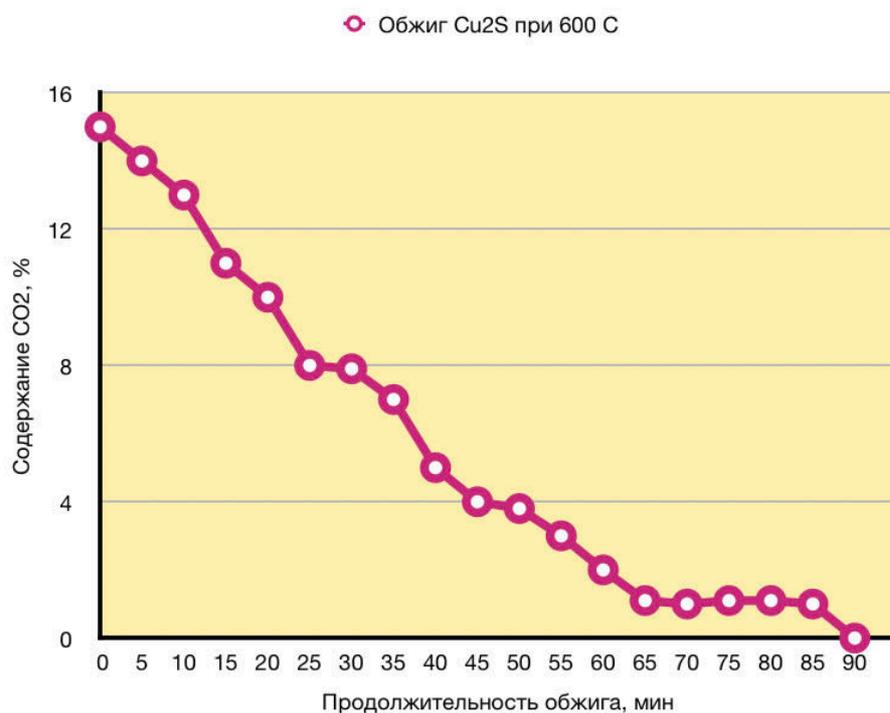


Рисунок 3.4 – Содержание CO₂ в газах реактора при обжиге Cu₂S, 600⁰С

Для температур 500, 550 и 600⁰С зависимости содержания диоксида углерода от продолжительности обжига сульфида меди аналогичны и по графикам рассчитана степень превращения, приведенная на рисунке 3.5.

Зависимости степени превращения Cu_2S при обжиге от температуры и продолжительности обжига

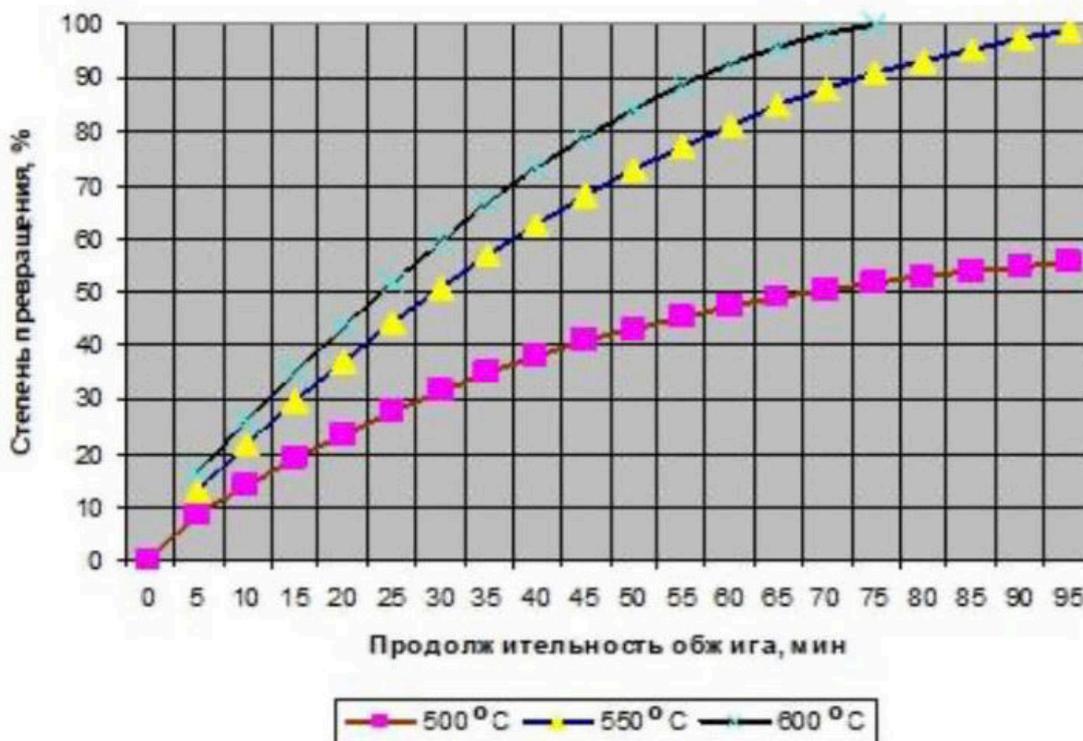


Рисунок 3.5 – Зависимости степени обжига сульфида меди от температуры и продолжительности процесса в вибро-пульсирующем слое

Из данных рисунка видно, что степень превращения сульфида меди за 90 минут достигает при $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ 50-55%, а при $550\text{-}600\text{ }^{\circ}\text{C}$ протекает практически полностью за 70-80 минут. Показатели обжига сульфида меди в присутствии карбоната натрия выше аналогичных показателей для обжига сульфида железа, что является важным технологическим отличием от обжига сульфидных медных шихт. Для определения кажущейся энергии активации, также дифференциальным методом найдены значения констант скорости и порядка реакции при обжиге сульфида меди приведенные в таблице 3.2.

Таблица 3.2 – Обобщенные результаты обжига Cu_2S для расчетов по уравнению Аррениуса

T, °C	T, K	1/T*10 ⁴	Ln K	Порядок реакции, n
500	773	12,937	3,9455	0,932
550	823	12,151	3,809	1,083
600	873	11,455	3,607	1,057

Зависимость $\ln K=f(1/T)$ при обжиге Cu_2S

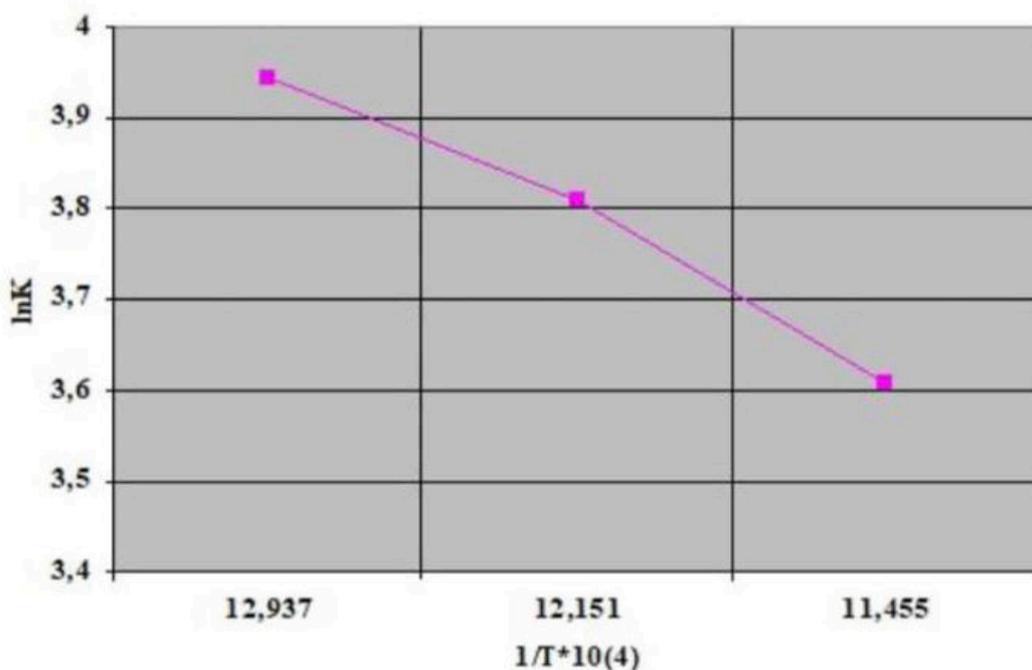


Рисунок 3.6 – Зависимость логарифма константы скорости от обратной температуры

Таблица 3.3 - Значения тангенса угла наклона прямых, энергии активации и множителя при обжиге Cu_2S

500 – 550 °C			550 – 600 °C		
LnA1	tg F1	E1, Дж.моль	LnA2	tg F2	E2, Дж.моль (CO ₂)
3,95	0,173664	1,444	3,83	0,29023	2,413

Процесс окисления сульфида меди в присутствии кальцинированной соды лимитируется диффузией. Повышение температуры существенно повышает

скорость процесса и степень превращения, но и в условиях пульсирующего слоя диффузия реагентов и в первую очередь окислителя определяет скорость процесса обжига в целом.

Интенсификация обжига возможна за счет увеличения расхода воздуха или повышения содержания кислорода в дутье, но при этом необходимо исключить спекание и оплавление огарка за счет избытка тепла экзотермических реакций в слое.

Следовательно, для различных масштабов проведения обжига, режимные параметры включающие соотношения количества шихты и кислородсодержащего дутья должны определяться из теплового баланса для применяемого обжигового аппарата.

Из полученных результатов можно сделать выводы:

- Значения кажущейся энергии активации при обжиге в вибро-пульсирующем слое сульфида меди в смеси с кальцинированной содой свидетельствуют о протекании процесса в диффузионном режиме.

- В целом степень превращения сульфида меди выше с повышением температуры

- Интенсификация обжига возможна за счет увеличения расхода воздуха или повышения содержания кислорода в дутье, но при этом необходимо исключить спекание и оплавление огарка за счет избытка тепла экзотермических реакций в слое.

4 Технологические расчеты технологии обжига

4.1 Результаты опытов исследуемых концентратов

В данном разделе приведены результаты опытов со смесью концентратов, который состоит из следующих концентратов: медный концентрат БМЗ, Pb-Zn концентрат Шалкия (гранулы с содой), шламовые концентраты Малеевского месторождения. Эти концентраты были смешаны между собой, далее проводился анализ на СПАРК - 1, результаты которого приведен в таблице 4.1.

Таблица 4.1– Содержание компонентов в смеси концентратов по СПАРК–1

Компоненты	Cu	Fe	Zn	Pb
Средняя интенсивность по концентрату, ед.	3598	3099	12787	3090
Средняя интенсивность по металлу, ед.	54066	25609	103694	21686
Содержание, %	6,65	12,15	12,3	14,25

Для проведения опытов подготовили шихту смеси с содой. Навеска смеси концентратов составила 10 грамм, навеска соды составила 22 грамма. Параметры проведения опыта: температура 550 – 650 °С, расход воздуха 34 л/ч, мощность вибратора 25 В, продолжительность опытов 70 – 105 минут.

На основе полученных данных рассчитан материальный баланс обжига при температуре 650⁰С приведен на таблице 4.2.

Была проведена операция водного выщелачивания огарка. При проведении водного выщелачивания огарка переводили сульфат натрия в водный раствор. Параметры проведения опыта: объем дистиллированной воды 150 мл, продолжительность выщелачивания 30 минут. Выщелачивание материала проводилось в термостате UTU-2/п. Раствор водного выщелачивания подвергали рентгеноспектральному анализу на СПАРК – 1.

По результатам полученных данных рассчитан материальный баланс водного выщелачивания, которая показана на таблице 4.3.

Была приведена операция кислого выщелачивания кека – 1. Параметры проведения опыта: объем серной кислоты 50 мл, продолжительность выщелачивания 30 минут. Раствор кислого выщелачивания подвергали рентгеноспектральному анализу на СПАРК – 1.

По результатам полученных данных рассчитан материальный баланс кислого выщелачивания, которая показана на таблице 4.4.

Таблица 4.2 – Расчет материального баланса обжига 650⁰С

ПОСТУПИЛО МАТЕРИАЛОВ	Всего, кг (тн)	Cu	Pb	Zn	Fe	Mo	Re	S	C	O2	N2	Прочие
1. Шихта смеси концентратов	10	0,665	1,215	1,23	1,425	0,127	0,011	2,5	0	0	0	2,827
Содержание, %		6,65	12,15	12,3	14,25	1,27	0,11	25	0	0	0	28,27
2. Кальцинированная	9,94	0	0	0	0	0	0	0	1,125	1,077	0	7,738
Содержание, %		0	0	0	0	0	0	0	11,32	10,83	0	77,85
3. Воздушное дутье	51,17	0	0	0	0	0	0	0	0	10,95	39,708	0,512
Содержание, %		0	0	0	0	0	0	0	0	21,4	77,6	1
ИТОГО	71,11	0,665	1,215	1,23	1,425	0,127	0,011	2,5	1,125	12,027	39,708	11,077
ПОЛУЧЕНО ПРОДУКТОВ	Всего, кг (тн)	Cu	Pb	Zn	Fe	Mo	Re	S	C	O2	N2	Прочие
1. Огарок из СК	24,641	0,665	1,215	1,23	1,425	0,127	0,011	2,5	0,047	6,946	0	10,476
Содержание, %		2,699	4,931	4,991	5,783	0,515	0,045	10,145	0,19	28,187	0	42,514
Извлечение, %		99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	99,99	4,17	57,75	0	94,57
2. Отходящие газы	46,498	0	0	0	0	0	0	0	1,079	5,084	39,734	0,601
Содержание, %		0	0	0	0	0	0	0	2,321	10,934	85,453	1,292
Извлечение, %		0	0	0	0	0	0	0	95,9	42,27	100,07	5,42
ИТОГО	71,14	0,665	1,215	1,23	1,425	0,127	0,011	2,5	1,126	12,03	39,734	11,077
Невязка	0,03	0	0	0	0	0	0	0	0,001	0,003	0,026	0

Таблица 4.3 – Материальный баланс водного выщелачивания огарка

ПОСТУПИЛО МАТЕРИАЛОВ	Всего, кг (тн)	Си	Pb	Zn	Fe	Mo	Re	S	C	O2	H2	Прочие
1. Огарок оп №5 650 °С	29,71	0,793	1,465	1,483	2,609	0,154	0,013	3,016	0,056	8,375	0	11,746
Содержание, %		2,67	4,93	4,99	8,78	0,52	0,045	10,15	0,19	28,19	0	39,535
2. Дистилл вода	150	0	0	0	0	0	0	0	0	133,35	16,65	0
Содержание, %		0	0	0	0	0	0	0	0	88,9	11,1	0
ИТОГО	179,71	0,793	1,465	1,483	2,609	0,154	0,013	3,016	0,056	141,725	16,65	11,746
ПОЛУЧЕНО ПРОДУКТОВ	Всего, кг (тн)	Си	Pb	Zn	Fe	Mo	Re	S	C	O2	H2	Прочие
1. Кек-1 оп №5 650 °С	12,954	0,793	1,465	1,483	2,609	0,008	0,001	0,007	0	1,646	0	4,943
Содержание, %		6,125	11,309	11,447	20,14	0,062	0,006	0,053	0	12,703	0	38,155
Извлечение, %		100,02	100,02	100,02	100,02	5,21	5,36	0,23	0	1,16	0	42,08
2. Раствор сульфата натрия оп №8	166,752	0	0	0	0	0,146	0,013	3,009	0,056	140,075	16,649	6,804
Содержание, %		0	0	0	0	0,088	0,008	1,804	0,034	84,002	9,985	4,08
Извлечение, %		0	0	0	0	94,79	94,64	99,77	100	98,84	100	57,93
ИТОГО	179,706	0,793	1,465	1,483	2,609	0,154	0,013	3,015	0,056	141,721	16,649	11,746
Невязка	-0,004	0	0	0	0	0	0	0	0	-0,005	-0,001	0,001

Таблица 4.4 - Материальный баланс кислого выщелачивания

ПОСТУПИЛО МАТЕРИАЛОВ	Всего, кг (тн)	Си	Pb	Zn	Fe	Mo	Re	S	C	O2	H2	Прочие
1. Кек-1 опыта №2 600 °С	7,285	0,765	1,167	1,182	1,367	0,005	0	0,001	0,002	0,896	0	1,9
Содержание, %		10,5	16,02	16,22	18,76	0,067	0,006	0,017	0,025	12,3	0	26,085
2. Раствор кислоты H2SO4 (180 г/л)	111	0	0	0	0	0	0	5,883	0	94,417	10,7	0
Содержание, %		0	0	0	0	0	0	5,3	0	85,06	9,64	0
3. Раствор перекиси H2O2 (30%)	11,12	0	0	0	0	0	0	0	0	10,059	1,06	0,001
Содержание, %		0	0	0	0	0	0	0	0	90,46	9,53	0,01
ИТОГО	129,405	0,765	1,167	1,182	1,367	0,005	0,000437	5,884	0,002	105,372	11,76	1,901
ПОЛУЧЕНО ПРОДУКТОВ	Всего, кг (тн)	Си	Pb	Zn	Fe	Mo	Re	S	C	O2	H2	Прочие
1.Кек-2 оп №8 550 °С	3,164	0,113	1,168	0,108	0,85	0,001	0	0,187	0	0,4	0	0,335
Содержание, %		3,586	36,921	3,408	26,876	0,044	0,012	5,908	0	12,647	0	10,598
Извлечение, %		14,83	100,08	9,12	62,21	28,39	85,66	3,18	0	0,38	0	17,63
2. Раствор сульфатов металлов оп №8	126,188	0,651	0	1,073	0,517	0,003	0	5,695	0,002	104,926	11,755	1,566
Содержание, %		0,516	0	0,851	0,41	0,003	0	4,513	0,001	83,15	9,315	1,241
Извлечение, %		85,14	0	90,84	37,82	71,6	14,4	96,78	99,96	99,58	99,96	82,35
ИТОГО	129,352	0,765	1,168	1,181	1,367	0,005	0	5,882	0,002	105,326	11,755	1,901
Невязка	-0,053	0	0,001	0	0	0	0	-0,002	0	-0,046	-0,005	0

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целью данной работы было исследовать обжиг сульфидной шихты, в связи с неэффективностью технологии предложенных в других исследованиях. Для решения этой ситуации было предложено использовать технологию термо – гидromеталлургической переработки полиметаллических сульфидных материалов.

Технология “термо-гидрометаллургической переработки полиметаллических сульфидных материалов” с применением карбоната натрия, позволит комплексно переработать низкокачественное сырье и исключить выброс сернистых газов в окружающую среду. Экологический эффект достигается за счет полного связывания серы сульфидного сырья в легко выщелачиваемый водой сульфат натрия, регенерации исходных солей щелочных металлов.

Эффективность печи кипящего слоя уменьшается за счет пылевыноса и было предложено заменить кипящий слой пульсирующим слоем, при помощи электромагнитной вибрации. Показана конструкция лабораторной установки вибропульсирующего слоя и лабораторной установки для выщелачивания. Была указана методика проведения обжига в вибропульсирующем слое. Рассчитана термодинамика реакции окисления. Были проведены исследования кинетики окисления сульфида железа с солью карбоната натрия в вибропульсирующем слое. В результате которого пришли к выводу:

Окисление сульфида железа для условий вибропульсирующего слоя при стехиометрическом расходе карбоната натрия и подаче в качестве окислителя воздушного дутья, в интервале 500-550 °С и 550-600 °С протекает в диффузионном режиме. Малые значения кажущейся энергии активации свидетельствует о существенном диффузионном торможении процесса.

При интенсивном перемешивании твердых реагентов (сульфида и соды) скорость процесса можно увеличить за счет повышения расхода дутья или концентрации окислителя (кислорода).

Повышение скорости обжига требует отвода избыточного тепла окисления сульфидов, которое может приводить к спеканию материала и нарушению хода процесса, что выявлено при обжиге чистых сульфидов.

В итоге поставленная цель была изучена, экспериментальные исследования проведены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Смирнов В.И., Тихонов А.И. Обжиг медных руд и концентратов. – 1958. – 282с.
- 2 Колобов Г.А. Metallургия цветных металлов. – 1998. – 224с.
- 3 Лоскутов Ф. М., Цейдлер А.А. Расчеты по металлургии тяжелых цветных металлов. М.:, Metallургиздат, 1963. – 591с.
- 4 Смирнов В.И., Цейдлер А.А., Худяков И.Ф., Тихонов А.И. Metallургия меди, никеля и кобальта. Часть 1. Metallургия меди. – М.: Metallургия, 1964. – 460с.
- 5 Тлеугабулов С.М. Теоретические основы получения металлов, сплавов и перспективных материалов: Учебное пособие для вузов/ Тлеугабулов С.М., Алматы: издание РИК по учебной и методической литературе, 2001г, 332 с.
- 6 Лыкасов А.А., Рысс Г.М. Metallургия меди. – 2006 – 75с.
- 7 Баимбетов Б.С., Айтенов К.Д., Бекишева А.А., Абдікерім Б.Е. Процессы взаимодействия сульфидов металлов с карбонатом натрия. Metallurgical and Mining Industry- 2015, No10. – 80с.
- 8 Баимбетов Б.С. Разработка технологии термогидрометаллургической переработки полиметаллических сульфидных материалов. Отчет НИР 0118РК00421, 2018г., 56с.
- 9 Уббелоде А. Плавление и кристаллическая структура. - М.: Мир, 1969. - 420 с.