

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

Темірхан Ерлан

Совершенствование процесса электроплавки медных концентратов на штейн

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

Специальность 5В070900 – Metallургия

Алматы 2022

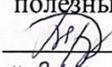
МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И.Сатпаева

Горно-металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
НАО «КазНТУ им.К.И.Сатпаева»
Горно-металлургический институт
им. О.А. Байконурова

ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ
Заведующая кафедрой
«Металлургия и обогащение
полезных ископаемых», к.т.н
 Барменшинова М.Б.
« 31 » 05 2022 г.

ДИПЛОМНЫЙ ПРОЕКТ

на тему: «Совершенствование процесса электроплавки медных концентратов на
штейн»

по специальности 5В070900 – Metallургия

Выполнил

Темірхан Е.

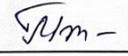
Рецензент
Доктор PhD,
СНС лаборатории редких
металлов РГП «НЦКПМС РК»

Научный руководитель,
канд.техн.наук,
ассоциированный профессор
кафедры МиОПИ



 Молдыбаев Г.К.

« 31 » мая 2022 г.

 Молдабаева Г.Ж.

« 31 » мая 2022 г.

Алматы 2022

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева

Горно – металлургический институт имени О.А. Байконурова

Кафедра «Металлургия и обогащение полезных ископаемых»

УТВЕРЖДАЮ

Заведующая кафедрой
«Металлургия и обогащение
полезных ископаемых», к.т.н
М.Б. Барменшинова
«31/5» *май* 2022 г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение дипломного проекта

Обучающемуся Темірхан Ерлан

Тема: Совершенствование процесса электроплавки медных концентратов на штейн

Утверждена приказом Ректора Университета №489-П/О от «24» декабря 2021 г.

Срок сдачи законченной работы: «25» мая 2022 г.

Исходные данные к дипломному проекту: Состав сырьевых материалов призыв-чел

Перечень подлежащих разработке в дипломном проекте вопросов:

- а) вводная часть
- б) основная часть
- в) технологическая часть

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

представлены 13 слайдов презентации работы

Рекомендуемая основная литературы: из 14 наименований

ГРАФИК
подготовки дипломного проекта

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Вводная часть	1.02.2022-30.03.2022	<i>И/м-</i>
Основная часть	1.04.2022-30.04.2022	<i>И/м-</i>
Технологическая часть	1.05.2022-25.05.2022	<i>И/м-</i>

Подписи
консультантов и нормоконтролера на законченный дипломный проект с
указанием относящихся к ним разделов проекта

Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф. (уч.степень, звание)	Дата подписи	Подпись
Технологическая часть работы	Г.Ж. Молдабаева к.т.н., ассоциированный профессор	31.05.2022г.	<i>И/м-</i>
Нормоконтроль	С.К. Джуманкулова доктор PhD	31.05.2022г.	<i>К. Джуманкулова</i>

Научный руководитель

И/м-

Г.Ж. Молдабаева

Задание принял к исполнению обучающийся

Е. Темірхан

Е. Темірхан

Дата

«01» февраля 2022 г.

АНДАТПА

Дипломдық жоба тапсырмадан, кіріспеден, негізгі бөлімнен, қорытындыдан, пайдаланылған әдебиеттер тізімінен және қосымшалардан тұрады. Жұмыс компьютер жиынтығының 38 бетінде берілген, 2 сурет, 4 кестеден тұрады. Пайдаланылған әдебиеттер тізімі 5 атаудан тұрады. Негізгі сөздер: шихта, шлак, штейн, электрлік балқыту, конверсиялау, электролиз, катодты мыс. Мақсаты: Жезқазған мыс қорыту зауытының балқыту цехын жобалау. Жезқазған мыс қорыту зауыты Қарағанды облысы, Жезқазған қаласының индустриялық аймағының аумағында орналасқан. Зерттеу объектісі мыс концентраттарын балқыту цехы, кен-термиялық пеш, мыс концентраты, шлак, штейн және дайын өнім болды. Жұмыста келесі есептеулер берілген: кеннің рационалды құрамы, электрмен балқыту процесінің материалдық балансы, процестің жылу балансы, пештің негізгі өлшемдері. Сондай-ақ жұмыста технологиялық көрсеткіштерге, шикізаттың, бастапқы өнімдердің және дайын өнімнің сипаттамаларына, балқытудың физикалық және химиялық процестеріне қатысты бөлімдер қарастырылады.

АННОТАЦИЯ

Дипломный проект состоит из задания, введения, основной части, заключения, списка использованной литературы и приложения. Работа изложена на 38 страницах компьютерного набора, включает 2 рисунка, 4 таблицы. Список использованной литературы содержит 5 наименований. Ключевые слова: шихта, шлак, штейн, электроплавка, конвертирование, электролиз, катодная медь. Цель: проектирование плавильного цеха Жезказганского медеплавильного завода. Жезказганский медеплавильный завод находится на территории промышленной зоны г. Жезказган, Карагандинской области. Объектом исследования являлся цех плавления медных концентратов, рудно-термическая печь, медный концентрат, шлак, штейн, готовый продукт. В работе приведены расчеты: рационального состава руды, материального баланса процесса электроплавки, теплового баланса процесса, основных размеров печи. В работе также рассмотрены разделы, касающиеся технологических показателей, характеристики сырья, исходных продуктов и готовой продукции, физико-химических процессов плавки.

ANNOTATION

The diploma project consists of a task, introduction, main part, conclusion, list of references and applications. The work is presented on 38 pages of a computer set, includes 2 figures, 4 tables. The list of used literature contains 5 titles. Key words: charge, slag, matte, electric smelting, converting, electrolysis, cathode copper. Purpose: design of the smelting shop of the Zhezkazgan copper smelter. The Zhezkazgan copper smelter is located on the territory of the industrial zone of the city of Zhezkazgan, Karaganda region. The object of the study was the shop for melting copper concentrates, an ore-thermal furnace, copper concentrate, slag, matte, and a finished product. The paper presents the following calculations: the rational composition of the ore, the material balance of the electric smelting process, the heat balance of the process, the main dimensions of the furnace. The paper also considers sections relating to technological indicators, characteristics of raw materials, initial products and finished products, physical and chemical smelting processes.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ

- 1 Общая пояснительная записка
- 1.1 Краткая характеристика предприятия
- 1.2 Сырьевая база, мощность, состав проектируемого отделения, номенклатура продукции
- 1.3 Основные технологические и проектные решения
- 1.4 Численность и профессионально квалификационный состав работающих
- 1.5 Потребность в энергоресурсах
- 2 Генеральный план, транспорт и рекультивация нарушенных земель
- 2.1 Характеристика площади строительства
- 2.2 Характеристика климатических условий
- 2.3 Природоохранные мероприятия
- 2.4 Транспорт внутризаводской и внешний
- 2.5 Рекультивация нарушенных земель
- 3 Технологические решения
- 3.1 Выбор и обоснование технологической схемы
- 3.2 Характеристика и принцип работы руднотермической печи
- 3.3 Химизм электроплавки медных руд и концентратов
- 3.4 Потери металлов со шлаками при электроплавке
- 3.5 Подготовка шихты к плавке в электрических печах
- 3.6 Конструкция современных плавильных электрических печей
- 3.7 Анализ научно-технической литературы
- 4 Технологические решения
- 4.1 Технологические расчеты руднотермической печи
- 4.1.1 Расчет материального баланса
- 4.1.2 Расчет степени десульфуризации и состава штейна
- 4.1.2.1 Расчет состава штейна
- 4.1.2.2 Расчет состава конвертерного шлака и флюсов
- 4.1.3 Расчет технологических газов
- 4.2 Расчет теплового баланса
- 4.3 Предложения по совершенствованию процесса электроплавки медных концентратов

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

ВВЕДЕНИЕ

Медь является основным сырьевым металлом. Область потребления меди значительна, а структура потребления очень широка. Медь и ее сульфид являются хорошими коллекторами золота и серебра, что делает возможным высокое попутное извлечение благородных металлов при производстве меди.

Медное сырье можно перерабатывать как с использованием пиро-, так и гидрометаллургических процессов. В промышленной практике металлурги имеют дело фактически с комбинированными технологическими схемами. В данный момент в металлургии используют пирометаллургическую схему, которая предусматривает обязательное использование следующих металлургических процессов: плавка на штейн, конвертирование медного штейна, огневое и электролитическое рафинирование. Конвертерный передел в этой схеме наиболее интенсивный. Задачей процесса конвертирования является окисление сопутствующих меди компонентов с получением черновой меди.

Целью настоящего дипломного проекта является проектирование цеха электроплавки медных концентратов на штейн в условиях ЖМЗ.

В настоящем дипломном проекте предусматриваются вопросы технологических решений, сопровождаемые необходимыми металлургическими расчетами, освещены вопросы строительства проектируемого цеха. Экономическая целесообразность строительства цеха подтверждается соответствующими экономическими расчетами.

1 Общая пояснительная записка

1.1 Краткая характеристика предприятия

Строительство проектируемого цеха электроплавки медных концентратов планируется на территории промплощадки корпорации «Казахмыс» в городе Жезказган. Корпорация объединяет Балхашский ГМК, Жезказганский ГОК, Восточно-Казахстанский комбинат, три теплоэлектроцентрали, два угольных разреза в районе г. Караганда.

Предприятия Жезказганского региона – это комплекс с законченным циклом производства от добычи руды до выпуска катодной меди. Основные предприятия: 5 рудников, 3 обогатительные фабрики, медеплавильный завод, институт НИПИ-цветмет, литейно-механический завод, завод горношахтного оборудования, предприятия промышленного железнодорожного транспорта и ряд вспомогательных служб и производств, обеспечивающих транспортное и ремонтное обслуживание.

Основным переделом корпорации является Жезказганский медеплавильный завод. Он состоит из четырех основных цехов: цеха подготовки шихты, плавильного (включающего электроплавку, конвертирование и анодное рафинирование), электролитного и сернокислотного. Также имеется ряд вспомогательных цехов и участков, выполняющие различные ремонтные и вспомогательные службы.

1.2 Сырьевая база, мощность, состав проектируемого отделения, номенклатура продукции

Сырьевой базой медеплавильного завода является Балхашский, Жезказганский, Майкаинский, Заряновский и другие рудные бассейны.

Рудные месторождения залегают вблизи земной коры, разработку месторождения ведут открытым способом, что обуславливает относительно низкую стоимость руды.

В качестве флюсовой кварцевой руды служит медная руда собственного месторождения и привозная золотосодержащая кварцевая руда. Известняк также собственного месторождения.

ЖМЗ выпускает широкий спектр товарной продукции:

- катодная медь, производится двух марок – М00К и М0К;
- свинцовая пыль, производится 3-х марок: ПФГ-1, ПФГ-3, ПФГ-4;
- серная кислота, выпускается 2 сорта: техническая 1 сорт (90 %) и техническая 2 сорт (10 %);
- медеэлектролитный шлам, продукт электролитического рафинирования меди, отправляется на аффинажный завод.

Жезказганская катодная медь отвечает требованиям международного стандарта и пользуется большим спросом за рубежом и в странах СНГ. Высокое

качество продукции обеспечивается высоким технологическим уровнем ее производства. На заводе постоянно производится огромная работа по внедрению нового, более эффективного оборудования и повышения экономических показателей отдельных операций общего цикла технологического процесса.

Годовая производительность проектируемого отделения составляет 300тыс. тонн медного штейна в год. Состав продуктов электроплавки приведен в таблице 1.

Таблица 1 – Состав продуктов электроплавки

Продукты	Компоненты, %					
	Cu	Fe	S	O ₂	Zn	Pb
Штейн	48-54	12-16	21-24	-	8-10	30-35
Шлак	0,12-0,18	8-10	-	-	0,3-0,5	0,10-0,15
Газы	-	-	3,5	3-5	-	-

В состав проектируемого отделения входит:

- главный корпус;
- складские помещения;
- административно- бытовой корпус.

1.3 Основные технологические и проектные решения

Настоящим проектом предусматривается приурочить строительство цеха электроплавки медных концентратов к отделению конвертирования и анодного рафинирования с расположением их в одном здании, а цех подготовки шихты расположен в непосредственной близости. Пролет между конвертерным и электроплавильным отделением будет использоваться для выдачи штейна из печей и подачи его в конвертера. Предполагается взаимосвязь системы водо- и энергоснабжения отделений.

1.4 Численность и профессионально квалификационный состав работающих

Потребность в кадрах соответствующей квалификации обеспечивается выпускниками технических ВУЗов, техникумов, колледжей и других заведений Республики Казахстан.

Количество инженерно-технических работников, служащих и младшего обслуживающего персонала определено в четырнадцать человек.

Количество рабочих в смене по нормам технического обслуживания определено в двадцать два человека. Списочное число рабочих цеха электроплавки – 124 человека. Город Жезказган численностью свыше 100 тысяч человек в полной мере обеспечит проектируемый объект рабочей силой.

1.5 Потребность в энергоресурсах

Энергоснабжение для плавки медьсодержащей шихты в электропечи осуществляется от печных трансформаторов напряжением 750-800В и силой тока до 25 кА.

Печные трансформаторы, установленные в РУ-35 электропечного отделения, запитаны воздушной линией на напряжение 35 кВ от ТЭЦ системы Казэнерго.

Питание осуществляется кабельными линиями от главной преобразовательной станции (ГПП-110) медьзавода, запитанной воздушной линией на напряжение 110 В от ТЭЦ.

Для агрегатов металлургического цеха работающих на очищенном и осушенном воздухе, в электропечном отделении имеется станция сушки и очистки компрессорного воздуха.

2 Генеральный план, транспорт и рекультивация нарушенных земель

2.1 Характеристика площади строительства

При решении вопроса о выборе района строительства электроплавильного отделения металлургического цеха по переработке медных концентратов исходным фактором послужили общие научные принципы размещения промышленности.

Строительство предприятия должно осуществляться с учетом сырьевой базы, энерго и водоснабжения, транспортного хозяйства, климатических условий и трудовых ресурсов.

Учитывая вышеизложенное, строительство цеха ведем вблизи города Жезказган, при этом основываемся на факторах приведенных ниже.

ЖМЗ расположен около города Жезказган. Общая площадь территории завода около 3000 гектар. Сложена однородными грунтами, слабо меняющимся горизонтально. Сверху, до глубины 2,5 – 3 метра залегают сухие плотные суглинки, под которыми по всей площади распространен слой слабоокаточного гравия. Толщина этой прослойки 0,8 метров. Ниже, на глубине 14 - 17 метров залегают плотные однородные глины. Эти глины подстилаются песчано – гравийно – галичными отложениями, содержащими воду. Естественный уровень грунтовых вод 14 – 17 метров поверхности земли. глубина промерзания грунта 1,9 метра. Допускаемые нагрузки на грунт для его естественного состояния можно принять равный 3кг/м^2

Преимущество строительной площадки является также равный размер, не требующий дополнительного планирования земельных работ. Для подачи свежей воды, потребителям на территории завода запроектирована магистральная кольцевая сеть. Для отвода загрязненных вод запроектирована система канализации.

Воздухоснабжение для ведения процесса конвертирования производится воздухом, давление которого 5-6 атм., по кольцевой магистрали от турбокомпрессоров на турбовоздуховку станции теплоэнергоснабжения завода.

Город Жезказган снабжается энергией от системы «Карагандаэнерго». Дополнительным источником энергии является Жезказганская ТЭЦ.

2.2 Характеристика климатических условий

Климат района резко континентальный, средняя температура в январе - 23С, в июне +25С. Наибольшие осадки 300 мм в год. Преобладают веры юго-восточного направления. Максимальная скорость ветра 5-6 м /с.

2.3 Природоохранные мероприятия

Процесс электроплавки характеризуется наличием небольшого количества технологических газов, содержащих вредный компонент - диоксид серы. Но в силу того, что проектируемый цех расположен через пролет с конвертерным отделением, который имеет значительное количество отходящих газов, организуем ряд мероприятий по соблюдению нормальных условий для работы в районе проектируемого цеха. Поэтому проектом предусматривается совместная утилизация отходящих газов конвертеров и электропечей, направляемых на производство серной кислоты.

Планируемое мероприятие позволяет оздоровить экологическую ситуацию в районе проектируемого цеха, а также повысит комплексность использования сырья и снизить себестоимость товарной продукции.

Проект предусматривает создание вокруг проектируемого предприятия лесозащитных полос в соответствии с санитарными нормами и общей программой ЖМЗ, которая предусматривает ряд мероприятий по обеспечению охраны окружающей среды в регионе.

2.4 Транспорт внутризаводской и внешний

Осуществление производственных процессов предполагает регулярную доставку сырья и материалов на предприятие, их загрузку и размещение на складах, продвижение на рабочие места и из цеха в цех по ходу технологического процесса, вывоз готовой продукции с предприятия.

Внешняя транспортная связь завода осуществляется с помощью подъездных железнодорожных путей, которые соединены через железную дорогу Балхаш – Мойынты и транспортом общего пользования (железными дорогами Средняя Азия - Урал).

ЖМЗ имеет следующие виды подвижного транспорта:

- а) Тепловоз ТТМ-2 с цепной массой 70 т.
- б) Аккумуляторные электровозы с цепной массой 8 т, для межцеховых перевозок.
- в) Вагонетки для перевозок анодов, кроме того, для межцеховых перевозок и связей завод имеет автотранспорт, т.е. службу внутризаводского транспорта.

2.5 Рекультивация нарушенных земель

Поскольку проектируемый цех электроплавки медных концентратов будет входить в состав ЖМЗ и расположен на территории его промплощадки, то предполагается участие цеха в общей программе рекультивации земель. При наличии выбросов отходящих газов электроплавильного передела вследствие кратковременного нарушения технологического процесса, составляющие

газовой фазы и оседающая недоуловленная пыль, содержащая такие вредные тяжелые металлы, как свинец и мышьяк, способны нарушать физико-химическую структуру почв в районе расположения цеха, вызывать ее засоление, губительным образом сказываться на растительном покрове почвы. Поэтому настоящим проектом предусматривается программа рекультивации нарушенных ходом технологического процесса земель. Основные направления осуществления данной программы следующие:

- перепаживание грунта в эпицентре техногенного воздействия с восстановлением растительного покрова;

- создание лесозащитных полос в районе расположения цеха.

3 Технологические решения

3.1 Выбор и обоснование технологической схемы

Технологическая схема, по которой получают товарную медь Жезказганский медеплавильный завод, включает в себя следующие операции: плавка медных концентратов на штейн, конвертирование штейна с получением черновой меди, огневое рафинирование черновой меди в анодных печах с получением анодов, электролитическое рафинирование анодов с получением товарной катодной меди. Плавка на штейн является главным и определяющим звеном в технологии производства меди. Традиционными методами плавки на штейн являются отражательная, руднотермическая и шахтная.

Отражательная плавка характеризуется малым тепловым коэффициентом полезного действия, большим выходом топочных газов, малой эффективностью и в ряде случаев невозможностью переработки тугоплавких материалов. Кроме того, при отражательной плавке невозможно регулировать состав печной атмосферы, что затрудняет или просто не позволяет осуществлять, например, восстановительные процессы, возгонку и эффективное улавливание сопутствующих элементов — цинка, свинца, селена и др. Все это послужило основанием для изыскания новых, более эффективных методов нагрева шихты. Одно из возможных решений — использование для нагрева электрической энергии. Ограниченность запасов углеродистого топлива в земной коре вообще делает одним из перспективных направлений в развитии металлургии будущего использование электрической энергии. Уже сейчас в медной, никелевой, оловянной и свинцовой промышленности применяют мощные электрические печи. Электроплавку для переработки медных руд и концентратов используют Алавердский и Жезказганский горно-металлургические комбинаты и около десяти зарубежных предприятий.

Возможность плавки тугоплавких шихт (например, шихт с высоким содержанием оксида магния) является важным достоинством электроплавки. Отсутствие ограничений по температуре плавления шлака и его перегрева позволяет работать при малом расходе флюсов и меньшем выходе шлака, что создает предпосылки для снижения потерь металлов. Естественно, при увеличении температуры возрастает расход электроэнергии. На рисунке 1 представлена технологическая схема ПЦ.

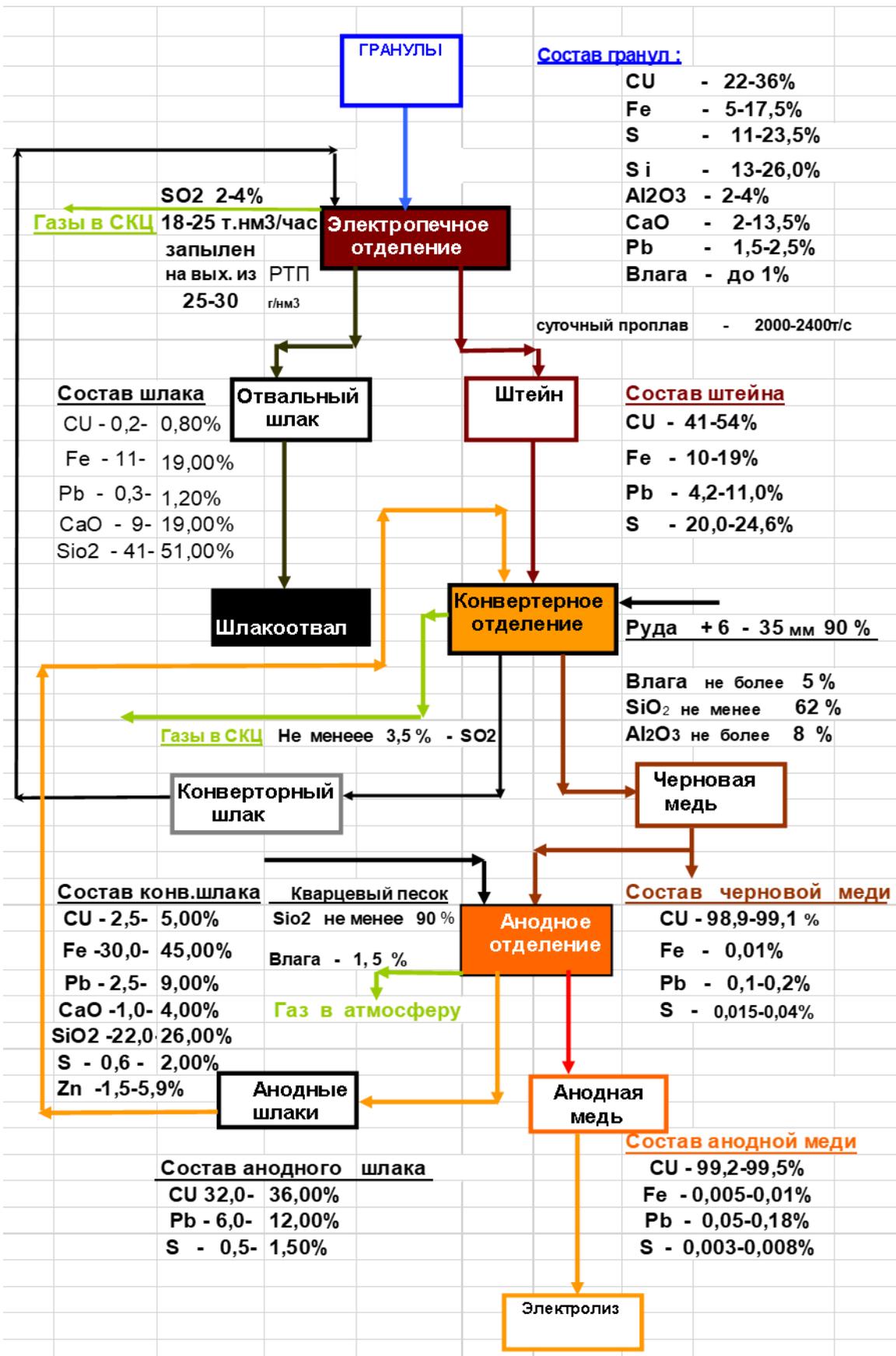


Рисунок 1 – Технологическая схема ПЦ

3.2 Характеристика и принцип работы руднотермической печи

Электропечь для плавки сульфидных рудных материалов представляет собой тепловую ванну, состоящую из двух расплавленных слоев (шлака и штейна) и погруженных частично в шлаковый расплав шихтовых куч (откосов) твердой шихты. Плавление шихты в печи происходит за счет электроэнергии, преобразуемой в теплоту. Такая печь называется руднотермической.

Руднотермическая печь работает на трехфазном переменном токе. Электрический ток напряжением до 750-800 В и силой до 30 кА подводится к печи при помощи трех или шести угольных (графитовых) электродов, погруженных в слой шлака. Преобразование электрической энергии в теплоту в руднотермической печи происходит частично в газовой фазе (через электрические микродуго) и частично в жидкой (через сопротивление расплава). Телом сопротивления является шлаковый расплав, а электрическая дуга возникает в газовой прослойке на границе раздела шлака с погруженными в него электродами.

Напряжение между электродами зависит от силы тока и сопротивления слоя шлакового расплава и микродуг:

$$U=I [(R_1+R_2)_{\text{шл}}+ R_{\text{мд}}] \quad (1)$$

где: U – вторичное напряжение на трансформаторе, В;

I – фазовая сила тока, А;

$R_{\text{шл}}$ – сопротивление слоя шлака, Ом;

$R_{\text{мд}}$ – сопротивление микродуг, Ом.

Наиболее экономична работа руднотермической печи при максимальном напряжении на трансформаторе и минимальном значении рабочего тока. Регулировать это соотношение на практике можно только изменениями сопротивления электрической цепи.

Сопротивление шлака зависит от его температуры, состава шлака и толщины слоя шлакового расплава (длины проводника). Замыкание силовых линий (электрической цепи) в шлаке может происходить по двум направлениям. В первом случае оно происходит через слой шлака по направлению от электрода к электроду (R_1), т. е. по схеме «треугольник». Второй возможный путь электрического тока осуществляется по схеме «звезда», т. е. от электрода через шлак к слою штейна (R_2).

Сопротивление R_1 при неизменном конструктивном расстоянии между электродами и прочих постоянных условиях (составе шлака, его температуре и т.д.) можно увеличить только загрузкой неэлектропроводной шихты в межэлектродное пространство. В этом случае нижнюю поверхность шихтовых куч ток будет вынужден огибать по слою электропроводного шлака, увеличивая тем самым путь прохождения.

Сопротивление R_2 определяется толщиной шлака в подэлектродном пространстве, а при постоянной его величине – глубиной погружения электродов.

Минимальное возможное заглубление электродов в шлаковый расплав (250-300 мм) предотвращает дуговой разряд на штейн, обладающий очень высокой электропроводностью. При работе на глубокой шлаковой ванне это расстояние можно держать большим, т. е. увеличивать R_2 , что положительно скажется на вторичном напряжении трансформатора,

Напряжение на трансформаторе, затрачиваемое на преодоление сопротивления микродуг, определяется глубиной погружения электрода в шлак. Чем она будет большей, тем большей по площади будет газовая прослойка на границе раздела электрод-шлак и тем, следовательно, большей будет величина $R_{мд}$.

Работа руднотермической печи фактически характеризуется одновременным замыканием силовых электрических линий на «треугольник» и на «звезду». Распределение электрического тока по этим схемам определяется регулировкой рабочего режима печи.

Доля электрической энергии, выделяющейся на уровне погружения электродов в шлаковую ванну, определяет практическую температуру шлака и штейна. Чрезмерное заглубление электродов (приближение их к поверхности штейна) ведет к перегреву штейна и создает угрозу прорыва жидкотекучего штейна через под, что неоднократно случалось на практике.

Вместе с тем, если количество теплоты выделяющейся в нижней части ванны, будет недостаточным, произойдет охлаждение штейна, что может привести к образованию подовых настывлей и нарушению нормальной заботы нижней части печи. Таким образом, расстояние между электродами не может выбираться произвольно и приниматься безмерно большим. Оно должно согласовываться с глубиной шлаковой ванны, глубиной погружения электродов и расстоянием их до штейна.

Доля энергии, выделяющаяся в различных частях ванны при различных режимах, легко может быть рассчитана. Обычно в промышленных печах расстояние между электродами принимают равным четырем диаметрам электрода. Управление распределением энергии значительно облегчается при работе с глубокой ванной шлака. На современных печах общая глубина ванны достигает 2,3-2,7 м, в том числе шлаковой 1,5-1,9 м

Наибольшая концентрация силовых линий, т. е. наибольшая плотность тока, наблюдается в непосредственной близости к электродам. По мере удаления от электрода поверхность цилиндров, через которые проходит ток, увеличивается пропорционально квадрату расстояния, т.е. сечение проводника возрастает, а плотность тока пропорционально снижается. Отсюда следует, что и наибольшее количество энергии выделяется вблизи электрода. Поскольку графит электрода не смачивается шлаком, в месте контакта электрода со шлаком возникают микродуги, и дополнительное количество энергии выделяется за счет дугового разряда. Благодаря этому доля энергии, выделяющейся вблизи электрода, возрастает. Это в свою очередь приводит к тому, что температура шлака в зоне каждого электрода значительно более

высокая, чем средняя температура ванны печи. Характер распределения температур в ванне руднотермической печи показан на рисунке 2.

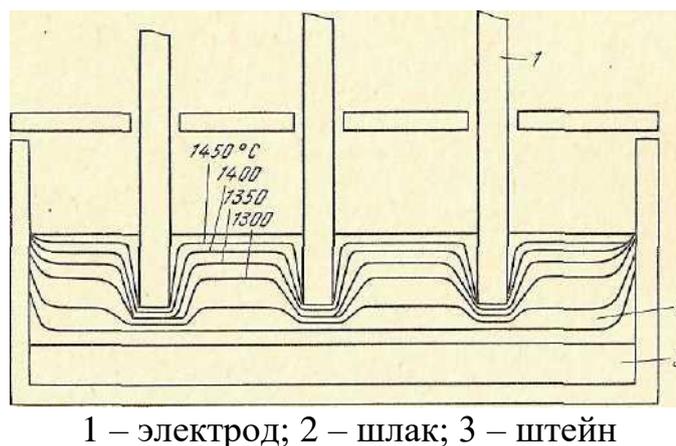


Рисунок 2 – Распределение температур в руднотермической печи

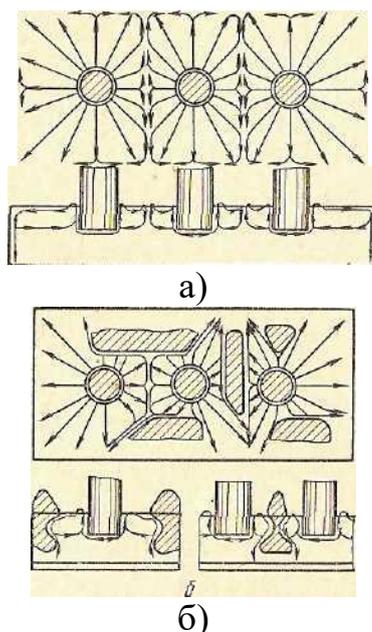
Распределением температур можно в какой-то степени управлять, меняя глубину погружения электродов. Оно зависит также от температуры плавления шлака и его вязкости. Ограничений по температуре плавления шлака при электроплавке практически нет.

Возможность плавки тугоплавких шихт (например, шихт с высоким содержанием оксида магния) является важным достоинством электроплавки. Отсутствие ограничений по температуре плавления шлака и его перегрева позволяет работать при малом расходе флюсов и меньшем выходе шлака, что создает предпосылки для снижения потерь металлов. Естественно, при увеличении температуры возрастает расход электроэнергии.

Более высокая температура и газонасыщенность шлака в приэлектродном пространстве приводят к тому, что его плотность становится существенно меньше, чем плотность основной массы шлака. Это обуславливает возникновение циркуляции шлака в ванне. Более горячий шлак вблизи электрода поднимается вверх и растекается по поверхности ванны. Постепенно охлаждаясь, он опускается вниз в межэлектродном пространстве и, вновь нагреваясь у электрода, поднимается вверх. Скорость циркуляции шлака вблизи электрода весьма значительна и в отдельных случаях достигает 2 м/мин. Схема циркуляции шлака в отсутствие шихты показана на рисунке 3, а. Примерно такая же циркуляция сохраняется при загрузке шихты ровным слоем на поверхность ванны, например при плавке огарка. При загрузке шихты откосами или конусами (агломерат, гранулы) направление потоков шлака несколько меняется (рисунок 3, б). Однако движущие силы, обуславливающие быструю конвекцию шлака, сохраняются.

Циркуляция шлака оказывает определяющее влияние на процессы массообмена, теплообмена и процессы, связанные с плавлением шихты. Так, наиболее быстрое растворение откосов происходит в зоне наиболее

интенсивной циркуляции ванны, т.е. на их поверхности контакта со шлаковой ванной.



а – в отсутствие шихты; б – влияние шихты на циркуляцию шлака

Рисунок 3 – Схема циркуляции шлака в руднотермической печи

Скорость циркуляции шлака вблизи электрода определяется его плотностью и вязкостью, а также плотностью тока. Влияние последнего фактора очевидно и не требует особых разъяснений. Чем меньше плотность и вязкость шлака, тем больше скорость его восходящего потока. Скорость движения шлака зависит также от глубины погружения электродов, поскольку при движении вблизи электрода шлак перегревается; при этом уменьшается его плотность и увеличивается количество выделяющихся газов. Увеличение времени пребывания шлака вблизи электрода при увеличении глубины его погружения способствует лучшему прогреву шлака. Таким образом, увеличение глубины погружения электрода улучшает тепло - и массообмен в ванне.

По данным О.М. Каткова, вязкость шлака в приэлектродном пространстве меняется незначительно. Это объясняется тем, что снижение вязкости существенно увеличивает скорость циркуляции, и шлак быстрее выходит из сферы действия электрода, мало нагреваясь и мало меняя вязкость. При большой вязкости скорость циркуляции уменьшается, и шлак находится в зоне электрода до тех пор, пока не прогреется и его вязкость не снизится до оптимального значения. Очевидно, что большой перегрев шлака может быть достигнут только при работе на кислых шлаках. Отсюда следует, что, с одной стороны, температура шлака в электрической печи находится во взаимосвязи с температурной зависимостью вязкости конкретного шлака, и одним из факторов управления температурой перегрева шлака является управление его

вязкостью. С другой стороны, интенсификация процессов плавления может быть достигнута за счет перегрева шлака.

С циркуляцией шлака связан механизм плавления шихты в электрической печи, резко отличающийся от механизма плавления в отражательных печах.

Теплота, необходимая для плавления в электропечи, передается шихте от перегретого шлака. При этом шихта соприкасается с готовым сформированным шлаком. Плавление, по сути дела, сводится к нагреву и растворению компонентов шихты в готовом шлаке. Стадия образования первичных шлаков, как это имело место, например, при отражательной плавке, здесь отсутствует. Это является очень существенным обстоятельством, поскольку при таком механизме плавления устраняется важная причина образования тонкой сульфидной взвеси. По-видимому, это является одной из причин получения при электроплавке более бедных по содержанию извлекаемых металлов шлаков, чем при отражательной плавке.

Таким образом, конвекционное движение шлакового расплава является важнейшим рабочим процессом в электропечах. Активное плавление, шихты в них происходит в слое ванны. Газовое пространство печи не оказывает большого влияния на нагрев и плавление шихты. Образующиеся при плавке технологические газы при недостаточной герметизации печей смешиваются в подсводовом пространстве с холодным воздухом, который подсасывается через неплотности в своде. Вследствие низкой температуры подсводового пространства и малой теплопроводности шихты откосы (кроме плавки горячего огарка), возвышающиеся над уровнем ванны, прогреваются очень слабо и даже влага из их верхних слоев не может полностью испариться (рисунок 4)

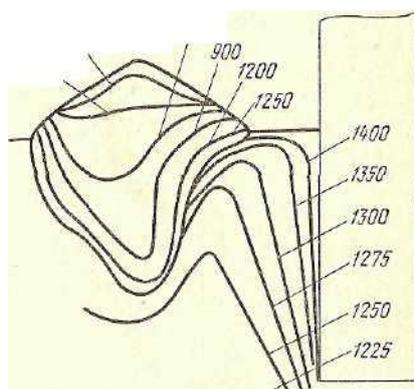


Рисунок 4 – Изотермы и распределение температур в шихте и ванне при электроплавке.

Работу печи целесообразно вести при более высоком напряжении в ванне. Это связано с меньшими потерями тока в короткой сети и поэтому более экономично. При необходимости одновременно работать с большим заглублением электродов целесообразно вести плавку на шлаки с большим удельным сопротивлением, т. е. на более кислые (42-45% SiO_2) с низким содержанием FeO . Увеличение основности шлака приводит к повышению

электропроводности шлаковых расплавов. Кроме того, железистые шихты электропроводны и в твердом состоянии, что может привести к закорачиванию электродов. Очень высокая электропроводность железистых шлаков требует вести работу электропечей на низком напряжении.

Потери теплоты при электроплавке меньше, чем при отражательной плавке, главным образом за счет отсутствия топочных газов. Тепловой коэффициент полезного действия электроплавки составляет 70% (30% при отражательной плавке). Однако если электроэнергия поступает от тепловых станций, то необходимо учитывать и коэффициент полезного действия электростанций. В этом случае преимущества электроплавки уже не будут столь разительны, если к тому же учесть, что тепло отходящих газов отражательных печей может и должно быть использовано для получения электроэнергии.

3.3 Химизм электроплавки медных руд и концентратов

В состав шихты руднотермической плавки могут входить руда, подсушенный концентрат, огарок, агломерат, окатыши, оборотные конвертерные шлаки, флюсы и иногда углеродистый восстановитель.

Электрические печи в принципе могут быть полностью герметизированы. В этом случае в газовой фазе печей отсутствует свободный кислород и взаимодействие газовой фазы с компонентами шихты имеет подчиненное значение. Но даже если печь не удастся загерметизировать и имеются значительные подсосы воздуха, реакции окисления сульфидов кислородом газовой фазы не получают большого развития из-за плохого контакта шихты с газами и сравнительно низкой температуры ее поверхности и технологических газов. Решающее значение при электроплавке имеют процессы, протекающие в конденсированной фазе. В этом отношении химизм процесса электроплавки и отражательной плавки очень близок.

К первой группе химических реакций, протекающих в руднотермических печах, могут быть отнесены процессы, связанные с удалением серы.

При плавке сырых концентратов наибольшее количество серы (до 40-45%) удаляется за счет диссоциации высших сульфидов. Если плавку вести в тщательно герметизированной печи, то выделяющуюся при этом элементарную серу можно предохранить от окисления, сконденсировать, и получить в виде товарной продукции.

Дополнительное количество серы, выделяющейся при плавке сырой шихты и в основном при переработке огарка, удаляется за счет взаимодействия высших оксидов железа, поступающих с конвертерным шлаком или огарком, с сульфидами по реакциям (2):



Условия протекания этих реакций при электроплавке благоприятнее, чем при отражательной плавке, из-за более высоких температур, особенно в

приэлектродном пространстве, а также вследствие тепловой циркуляции шлака. Поэтому разложение магнетита здесь происходит полнее. Этому способствует также взаимодействие шлака с графитом электродов. Восстановление магнетита благоприятно сказывается на снижении потерь металлов со шлаками. То обстоятельство, что магнетит при электроплавке восстанавливается не только сульфидами, но и частично углеродом электродов, приводит к некоторому уменьшению общей десульфуризации и получению более бедных штейнов.

Для получения более богатых штейнов шихту перед плавкой подвергают обжигу. Уже в процессе обжига высшие сульфиды практически полностью разлагаются и, кроме того, окисляется часть низших сульфидов. Следствием этого является снижение общей десульфуризации при плавке обожженных шихт с 50-55 до 20-25%. При конвертировании более богатых штейнов получается и меньшее количество конвертерных шлаков и с ними поступает меньшее количество магнетита. В то же время большое количество высших оксидов железа поступает с обожженной шихтой. Это приводит к тому, что взаимодействие сульфидов с магнетитом протекает не только в шлаковом расплаве, но и в твердой шихте, плавающей на поверхности шлакового расплава, что обеспечивает более полное восстановление магнетита.

На практике в шихту электрических печей вводят небольшое количество углерода для более полного восстановления магнетита до вюстита и даже для восстановления части железа до металлического состояния. Металлическое железо растворяется в штейне. Металлизация штейна приводит к увеличению межфазного натяжения на границе его со шлаком, что, в свою очередь, способствует укрупнению сульфидной взвеси и снижению потерь металлов со шлаками (добавка восстановителя в шихту могла бы быть полезной и при отражательной плавке). Введение восстановителя в шихту электрических печей, естественно, снижает общую десульфуризацию. Так, при плавке огарка она снижается в конечном итоге до 15-20%. Однако это снижение может быть скомпенсировано увеличением степени десульфуризации при обжиге.

Ко второй группе реакций относятся процессы термической диссоциации других неустойчивых химических соединений: карбонатов, кристаллогидратов и т. п.

Третья группа химических процессов объединяет обменные реакции взаимодействия оксидов с низшими сульфидами. Это - одни из важнейших реакций, поскольку они определяют распределение металлов между штейном и шлаком. Для распределения меди решающее значение имеет реакция (3):



Реакция (3) практически нацело сдвинута вправо прежде всего из-за высокого сродства железа к кислороду. Это обеспечивает в отсутствие магнетита практически полный переход меди в сульфидную форму и ее извлечение в штейн. Присутствие магнетита наоборот способствует переводу больших количеств ценных металлов в шлак.

Элементы, обладающие высоким сродством к кислороду (Ca, Si, Al, Ba, Mg и др.), практически нацело переходят в оксидную фазу (шлак). Распределение цинка и свинца при электроплавке аналогично распределению при отражательной плавке.

Прогрев шихты протекает за счет теплопроводности, чему способствует и восходящий поток газов, образующийся в результате химических реакций. Так как теплопроводность шихты низка, а количество выделяющихся газов относительно мало, прогрев шихты идет медленно и зона высоких температур является относительно узкой. Именно в этой зоне протекает наиболее интенсивное плавление шихты преимущественно за счет растворения ее компонентов в перегретом шлаке.

В зоне интенсивного плавления время пребывания шихты относительно мало и химические процессы не имеют четко выраженного зонального развития. Каждый кусочек шихты (руда, необоженный концентрат, агломерат, окатыши) прогревается постепенно, и в разных его частях могут протекать различные процессы. На откосе и в зоне плавления еще не полностью завершаются процессы восстановления магнетита, взаимодействия оксидов с сульфидами, коалесценции. Они заканчиваются в ванне расплава при циркуляции шлака.

В толще откосов можно наметить определенные зоны преимущественного протекания реакций. Так, разложение высших сульфидов завершается еще в верхней части откосов до изотермы 700 °С, диссоциация карбоната кальция при 900-1000 °С. В этой же зоне начинают активно протекать процессы восстановления магнетита до вюститита углеродом шихты. В нижней части откосов процессы плавления протекают медленней и доля образующегося расплава уменьшается с глубиной проникновения тепла в толщу откосов. В нижней части откосов плавление протекает несколько иначе, чем в зоне высоких температур. Здесь наблюдается вытапливание штейна и легкоплавких железистых шлаков. Нижний слой откосов при этом обогащается тугоплавкими составляющими шихты, что замедляет его растворение в шлаке. Иначе говоря, наиболее быстро плавится преимущественно свежая шихта, которая скатывается под углом естественного откоса в зону интенсивного плавления.

При плавке медного огарка откосы в печи не образуются. Шихта ложится почти ровным слоем по поверхности ванны и омывается снизу горячим шлаком. Но и в этом случае наиболее высокие температуры и наибольшая скорость плавления создаются вблизи электродов, где обычно наблюдается кольцо открытого зеркала расплава. В слое обожженной шихты так же как в откосе имеет место зональное распределение температур, и все процессы приурочены к определенным температурным зонам.

Как отмечалось выше, газы в печи образуются в результате химических реакций, связанных с окислением сульфидов магнетитом и диссоциацией карбонатов. В отсутствие подсосов воздуха газы состоят из SO₂ и CO₂. Небольшое количество газов образуется за счет взаимодействия углерода электродов и оксидов шихты со шлаком. Первичные газы характеризуются

высоким содержанием S02 (40-60%) и в принципе могут быть использованы для получения серной кислоты или элементарной серы.

3.4 Потери металлов со шлаками при электроплавке

Выше было показано, что при электроплавке обеспечивается более низкое, чем при отражательной плавке, содержание магнетита. Введение углерода в шихту обеспечивает дополнительное восстановление оксидов шлака и металлизацию штейна. Кроме того, при электроплавке обычно применяют более кислые шлаки, чем при отражательной и шахтной плавках. Все это приводит к существенному снижению содержания в них меди в растворенном состоянии. Поэтому основные потери ценных компонентов с электропечными шлаками обусловлены главным образом наличием в них тонкой взвеси штейновых частиц.

Причины образования тонкой сульфидной взвеси и количество неотделившихся штейновых частиц зависят от метода подготовки шихты к плавке. Если концентрат перед плавкой подвергают обжигу в кипящем слое, то крупные частицы исходных сульфидов покрываются слоем оксидов, а мельчайшие частицы могут даже окисляться полностью. Окисленные частицы хорошо смачиваются шлаком и поглощаются им, образуя тонкую эмульсию. Оксиды меди, получающиеся при переокислении мельчайших частиц концентрата, растворяются в шлаке, и затем медь вновь частично сульфидируется. Протекание процесса в разбавленном растворе приводит к образованию тонкой сульфидной взвеси. В начальный момент повышенное содержание высших оксидов железа в огарке обуславливает получение шлаков с повышенным содержанием магнетита. Такие шлаки обладают повышенной растворимостью меди. По мере восстановления магнетита растворимость сульфидов снижается и они также выпадают в форме тонкой взвеси.

Укрупнение сульфидных частиц протекает достаточно быстро до тех пор, пока их количество, а следовательно, и вероятность встречи достаточно велики. Когда же количество мелких частиц снизится, вероятность их встречи постепенно приблизится к нулю и укрупнение практически прекратится. При плавке огарка такое положение наступает при очень высоком содержании меди (0,6-1%) в шлаке. По этой причине применение обжига в кипящем слое в качестве подготовительной операции к электроплавке неизбежно сопровождается повышенными потерями меди со шлаками и требует дополнительных операций по их обеднению.

Укрупнение сульфидных частиц при электроплавке происходит преимущественно в поверхностных слоях шлака. Образующиеся более крупные частицы штейна начинают с заметной скоростью отстаиваться и частично захватывают попавшие в их аттракционный объем мелкие сульфидные частицы. Иначе говоря, при электроплавке шлак промывается штейновыми частицами, что не наблюдается при плавке сырых концентратов в

отражательной печи. Более благоприятные условия для протекания процессов коалесценции наряду с меньшим содержанием растворенной меди создают предпосылки для получения более бедных отвальных шлаков.

Потери металлов со шлаками при плавке в руднотермических печах зависят также от метода подготовки шихты к плавке. Если перед плавкой шихту подвергают агломерирующему обжигу то уже в процессе спекания и особенно при кристаллизации жидкой фазы во время охлаждения агломерата частично происходит укрупнение сульфидных частиц. Количество мелких сульфидных частиц, естественно, уменьшается. Образование мелкой взвеси при плавке агломерата происходит только вследствие повышенной растворимости сульфидов в первичных, обогащенных магнетитом шлаках и последующего выпадения сульфидов из раствора при снижении содержания магнетита. При плавке агломерата усиливается эффект промывки шлака штейном благодаря наличию в агломерате крупных включений сульфидов. Содержание цветных металлов в шлаках в этом случае существенно ниже, чем при плавке огарка полученного в печах КС.

В качестве подготовительной операции к плавке используют также грануляцию с последующим обжигом гранул на ленточных спекательных машинах. При обжиге гранул медь концентрируется в центральной части гранулы вследствие избирательного окисления сульфидов железа. Причины образования мелкой сульфидной взвеси здесь те же, что и при плавке агломерата. Дополнительное образование тонкой взвеси возможно при сульфидировании компонентов поверхностного переоxygenного слоя гранул. Наличие крупных сульфидных зерен в обожженной грануле усиливает эффект промывки шлаков сульфидами так же, как и при плавке агломерата. Шлаки при плавке гранул также получают более бедными, чем при плавке мелкого огарка

3.5 Подготовка шихты к плавке в электрических печах

В электрических печах кусковая и необоженная шихта плавает в шлаке. При загрузке свежей шихты значительная доля ее погружается в расплав, что полностью исключает применение шихты с содержанием влаги. При погружении холодной влажной шихты в расплав на ней со всех сторон быстро намерзает корочка шлака. По мере нагревания в замкнутой полости шихты начинает испаряться вода и давление ее паров возрастает до тех пор, пока произойдет взрыв. Особенно опасны случаи, когда неравномерно подмываемый откос шихты переворачивается. По этой причине шихта перед электроплавкой должна быть тщательно высушена. Однако сушкой можно ограничиться лишь в случае плавки богатых концентратов. Поскольку десульфуризация в электрических печах мала, то при плавке бедных концентратов получается большое количество бедных штейнов, что в последующем сильно увеличивает нагрузку на конвертеры и затраты на конвертирование. Кроме того, получается много конвертерных шлаков, что

сильно осложняет работу кранового хозяйства, в целом дезорганизует работу предприятия, особенно при большой его мощности. Поэтому концентраты перед плавкой часто подвергают обжигу. Как уже упоминалось, перед электроплавкой можно применять обжиг в кипящем слое, агломерирующий обжиг или грануляцию с последующей сушкой и обжигом гранул. В медной промышленности для подготовки шихты к плавке в электрических печах применяют только обжиг в печах КС. Другие методы подготовки используют при переработке медно-никелевого сырья.

Обжиг в кипящем слое относительно прост, обладает высокой производительностью, однако его применение неизбежно сопровождается повышенными потерями металлов со шлаками, что нежелательно.

3.6 Конструкция современных плавильных электрических печей

В медной промышленности для плавки на штейн применяют трех и шестиэлектродные печи номинальной мощностью 25-60 МВт. Печи имеют прямоугольную форму и выкладываются из огнеупорного кирпича в железном кожухе. Фундамент печи - столбчатый или ленточный, что обеспечивает циркуляцию воздуха под печью и хорошее охлаждение пода. На фундаменте установлены продольные балки, на которые опираются подовые плиты. Лещадь печи обычно выполняют в форме обратной арки из клинового хромомagneзитового кирпича в три наката по бетонной подушке. Арки опираются на пятовые кирпичи, что препятствует их всплыванию в более тяжелом штейне. Стены выложены из хромомagneзитового кирпича. При большой глубине ванны (до 2,5 м) они работают в трудных условиях. Для защиты от размывания в кладку закладывают медные кессоны, охлаждаемые водой. Поскольку температура газов при нормально работающей печи невелика, свод печи работает в более легких условиях, чем при отражательной плавке. Это позволяет выполнять его арочным из шамотного клинового кирпича толщиной 230 мм. В своде имеются отверстия для электродов, загрузки и отвода газов.

Длина шестиэлектродных руднотермических печей составляет 22-23,5 м, ширина 6-6,6 м, площадь пода 118 - 148 м², длина трехэлектродных печей 11 - 14,5 м, площадь пода 48-65 м².

Современные мощные руднотермические печи оборудованы самообжигающимися электродами, представляющими собой кожух из листовой стали диаметром 1100-1200 мм, заполненный электродной (углеродистой) брикетированной массой. Электрод работает непрерывно. По мере сгорания его опускают, а кожух сверху наращивают привариванием новой секции и набивают свежей порцией электродной массы. По мере опускания электродная масса нагревается и спекается, превращаясь в монолит. Масса электрода достигает 15 т, длина 20 м. Непрерывный самообжигающийся электрод 1 находится внутри несущего цилиндра-мантеля 2. Длина цилиндра 3-

5,6 м; изготовлен он из котельного железа толщиной 8-10 мм. Внутренний диаметр мантеля на 100-150 мм больше внешнего диаметра. На верхней части мантеля имеется рама 3, на которой укреплены две стойки 4, снабженные двумя блоками 5 с рулонами стальной тормозной ленты 6 толщиной 2 и шириной 150-200 мм и механизмом подъема и опускания электрода 7. Тормозная лента проходит через зажимное (тормозное) устройство 8, регулируемое ручным штурвалом, и далее по неподвижным тормозным колодкам 9 и 10 в виде полублоков. Концы двух тормозных лент приварены к металлическому кожуху самообжигающегося электрода. Таким образом, электрод висит на двух тормозных лентах. На нижней части мантели твердо закреплен пружинно-болтовой прижим с контактными щечками 11, плотно прижимающимися к кожуху электрода. В конце работы электрод подгорает и его нужно периодически опускать. Для этого сначала несколько ослабляют нажимные болты контактных щек. Затем ослабляют зажимные колодки тормозной ленты, и электрод, поддерживаемый тормозными устройствами, опускается в мантеле вниз. За величиной перепуска электрода необходим строжайший контроль. Срыв многотонного электрода может в критическом случае разрушить даже под печи. Закрепление электрода производят в обратном порядке. Перепуск электродов можно производить без отключения электроэнергии.

Глубина опускания электрода в шлак регулируется автоматически по заданной мощности. Размерами электродов и глубиной их погружения определяются габаритные размеры печи. Обычно расстояние между электродами принимают равным трем, а от электродов до стен печи четырем диаметрам электрода. Общая глубина ванны составляет 2000-2500 мм, в том числе 500-800 мм штейна. Расстояние от зеркала ванны до свода равно 1500-2000 мм. Таким образом, общая высота печи от лежачей до свода составляет 3,5-4,5 м.

Шихту загружают в приэлектродное пространство, где развиваются наиболее высокие температуры и идет интенсивное плавление, а также вдоль боковых и торцевых стен с целью предохранения их от размывания. Шихту доставляют системой ленточных транспортеров в бункера, из которых она самотеком загружается в печь. Выпуск шлака и штейна при электроплавке осуществляют через шпуровые отверстия, расположенные на противоположных торцевых стенах печи. Высокие температуры расплавов и большая глубина ванны требуют очень надежной конструкции шпуровых устройств. Обычно в печи имеется от 4 до 6 шпуров, которые работают поочередно. Штейн выпускается из нижней части ванны, причем шпуровые отверстия расположены на разном расстоянии от пода с учетом возможности образования лежачей настывки.

Правильный выбор расположения шпуровых отверстий для выпуска шлака имеет важное значение. Исследованиями показано, что как верхние, так и нижние слои шлака обогащены ценными металлами. Наиболее бедные шлаки находятся в средней части слоя. Обычно оптимальную высоту расположения шпуров определяют на основании изучения распределения

металлов по глубине ванны для каждой печи и каждого режима ведения процесса. Периодический выпуск шлака через шпуровые отверстия приводит в какой-то степени к колебанию уровня шлака в печи, что нежелательно. На одном из болгарских заводов применяют сифонный выпуск расплавов. Непрерывный выпуск шлака и штейна через сифоны позволяет стабилизировать высоту ванны и вести работу при оптимальных электрических режимах и глубине погружения электродов. Для изготовления сифона использован плавный Al_2O_3 . В настоящее время на этом заводе ведутся работы по использованию для этой цели кессонов с воздушно-водяным или пароводяным охлаждением.

3.7 Анализ научно-технической литературы

Как уже отмечалось выше, наиболее распространенная технологическая схема переработки медных руд и концентратов обязательно включает плавку на штейн и последующее его конвертирование. В ряде случаев перед плавкой на штейн проводят окислительный обжиг. Традиционными методами плавки на штейн являются отражательная, руднотермическая и шахтная плавки.

Отражательная плавка является надежным, хорошо освоенным процессом, легко управляется и пригодна для переработки сырья в широком диапазоне его составов. Созданы кадры обслуживающего персонала, грамотно управляющие процессом, что обеспечивает ритмичную работу переделов. Вместе с тем совершенно очевидно, что сегодня она уже не удовлетворяет современным требованиям к процессу и прежде всего высокой комплексности использования сырья [1].

При отражательной плавке сульфидов медное и медно-никелевое сырье, обладающее достаточно высокой калорийностью (4200 - 6000 кДж/кг), плавится за счет теплоты от сжигания углеродистого топлива. Вместе с тем количество сульфидов, добываемых из недр, весьма значительно, и они могли бы сыграть значительную роль в энергетическом балансе страны. Кроме того, количество газов, получающихся при сжигании углеродистого топлива, примерно в 5-10 раз превышает количество газов, которое могло бы быть получено при сжигании сульфидов. В отходящие газы отражательных печей переходит 30-50% серы концентрата. При большом количестве топочных газов содержание в них SO_2 получается низким (1,0-1,5%), что крайне затрудняет и удорожает извлечение из них серы в товарную продукцию или обезвреживание газов. Выброс же отходящих газов отражательных печей в атмосферу приводит к загрязнению воздушного бассейна. Применение углеродистого топлива при плавке сульфидов и безвозвратные потери большого количества серы существенно удорожают процесс. Затраты на топливо в себестоимости отражательной плавки составляют примерно 50% [2].

При отражательной плавке не обеспечивается должного извлечения ряда ценных спутников. Те компоненты, которые возгоняются при плавке (рений,

германий, свинец, кадмий и др.), не извлекаются из-за большого количества отходящих газов и вследствие значительного разбавления возгонов механически унесенной шихтой.

Для того чтобы полностью устранить выбросы в атмосферу и максимально использовать ценные составляющие пылей и газов на действующих отражательных печах, требуется сложная и дорогая система пылеулавливания и газоочистки. Затраты на строительство и эксплуатацию таких установок очень высоки.

Частый природный спутник меди (цинк) при отражательной плавке в основном переходит в шлак. Для его извлечения необходимо включение в технологическую схему дополнительного передела (флюмингование, вельцевание), что также усложняет и удорожает технологию [3].

К недостаткам отражательной плавки относится также низкая удельная производительность, обуславливающая большие капитальные затраты на строительство цеха и рабочую силу. Отражательная печь требует большого расхода дорогих огнеупорных материалов. Ее ремонт длителен, дорог и требует больших трудовых затрат.

Плавка сульфидных медных концентратов в отражательных печах характеризуется высоким расходом топлива и самым низким для плавильных печей тепловым коэффициентом полезного действия. При отражательной плавке нет возможности регулировать состав штейна (десульфуризацию). Для получения обогащенных медью штейнов требуется проводить предварительный окислительный обжиг. Строительство обжигового цеха также связано со значительными дополнительными капитальными и эксплуатационными затратами.

Выше отмечалось, что при отражательной плавке совершенно неудовлетворительно решены процессы массо- и теплообмена, процессы восстановления магнетита и разделения фаз.

Изложенная оценка отражательной плавки позволяет сделать лишь один логический вывод - этот процесс устарел и практически полностью не отвечает современным требованиям. Отражательную плавку необходимо заменять новыми, более совершенными методами [4].

Руднотермическая плавка сульфидного сырья, являясь близким аналогом отражательной плавки, сохраняет в основном все ее принципиальные недостатки. При осуществлении электроплавки также требуется посторонний источник теплоты, невозможно управлять составом штейна, не обеспечивается высокая комплексность использования сырья. Производительность электрических печей всего лишь в 1,5-2 раза превышает производительность отражательных печей. Теоретически газы в электрических печах могли бы быть получены с высоким содержанием SO_2 , пригодные для производства серной кислоты. Однако герметизация электрических печей большой мощности с самообжигающимися электродами оказалась очень сложной и нерешенной до настоящего времени задачей. Вследствие этого небольшое количество

технологических газов разбавляется за счет подсосов, и они не годятся для дальнейшего использования.

Не извлекаются при электроплавке многие ценные спутники меди (Zn, Pb, In, Cd и др.). Электроплавка характеризуется низкой, строго определенной для каждого вида сырья десульфуризацией. Поэтому в ряде случаев для получения более богатых штейнов в технологическую схему также включают обжиг [5].

По сравнению с отражательной плавкой плавка в руднотермических печах имеет некоторые преимущества. В частности, обеспечиваются больший коэффициент использования теплоты и несколько большая удельная производительность. Однако эти незначительные достоинства электроплавки также не могут отвечать большинству требований к современному металлургическому процессу. В связи с этим электроплавку нельзя отнести к перспективным процессам переработки сульфидного сырья. Она сохранится, по-видимому, только для тугоплавкого сырья, требующего для расплавления очень высоких температур, которые трудно достичь в других процессах. В последние годы электрические печи начинают применять также для обеднения шлаков и осуществления возгонных процессов [6].

4 ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ

4.1 Технологические расчеты руднотермической печи

4.1.1 Расчет материального баланса

Для расчета рационального состава концентрата будем опираться на производственные данные и сведем их в таблицу 2.

Таблица 2 – Состав концентрата и конвертерного шлака, %

Материал	Cu	Pb	Fe	S	SiO ₂	CaO	MgO	As	Прочие
Концентрат	31,2	1,6	13,2	21,7	17,9	6,3	3,1	0,41	до 100 %
Конвертер. Шлак	2,7	1,9	34,2	2,2	28,1	6,0	3,1	0,04	до 100 %

Расчет ведем на 100 кг концентрата

Для нахождения фазового состава концентрата будем опираться на исследованные и проанализированные данные.

$\text{CuFeS}_2 - 21 \% = 6 \text{ кг}$

$\text{CuS} - 14 \% = 4,56 \text{ кг}$

$\text{Cu}_2\text{S} - 64 \% = 19,50 \text{ кг}$

$\text{CuAsS}_2 - 1 \% = 0,18 \text{ кг.}$

6	x = 5,34	y = 6,21	z = 17,55
Cu	Fe	S ₂	CuFeS ₂
63,5	55,8	64	183,3

4,56	x = 2,3	y = 6,86
Cu	S	CuS
63,5	32	95,5

19,50	x = 4,93	y = 24,43
2Cu	S	Cu ₂ S
127	32	159

1	x = 0,21	y = 0,64	z = 0,57
Cu	As	S ₂	CuAsS ₂
63,5	74,9	64	202,4

$\text{PbS} - 97 \% = 0,97 \text{ кг}$

$\text{PbSO}_4 - 3 \% = 0,03 \text{ кг}$

0,97	x = 0,15	z = 1,12
Pb	S	PbS
207,2	32	239,2

0,03	x=0,006	y=0,022	z= 0,058
Pb	S	2O ₂	PbSO ₄
207,2	32	64	303,2

CaCO₃ – 100 % = 6,3 кг

6,3	x=4,4	y=10,0
CaO	CO ₂	CaCO ₃
56	44	100

x= 4,0	y=1,2	z=4,8	10,0
Ca	C	1,5O ₂	CaCO ₃
40	12	48	100

MgCO₃ – 100 % = 3,1 кг

3,1	x=2,5	y=4,8
MgO	CO ₂	MgCO ₃
40,3	44	84,3

x= 1,4	y=0,7	z=2,7	4,8
Mg	C	1,5O ₂	MgCO ₃
24,3	12	48	84,3

SiO₂ – 100 % = 17,9 кг

x=9,3	y=10,5	17,9
Si	O ₂	SiO ₂
28,1	32	60,1

Железо, кроме состава халькопирита, также содержится в
(12,3-5,34=6,96)

FeS₂ – 69 % = 4,86 кг

FeS – 20 % = 1,39 кг

Fe₃O₄ – 11 % = 0,6 кг

4,86	x=5,59	y=10,46
Fe	S ₂	FeS ₂
55,8	64	119,8

1,39	x=0,8	y=2,19
Fe	S	FeS

Продолжение таблицы 5

Fe ₃ O ₄				0,69 87					0,26 95			0,9682
Прочие											1,07 8	1,078
Всего	30,3	0,99	0,20 94	12,2 6	20,3	3,9 9	1,39 8	9,2 7	17,9 58	1,89 6	1,07 8	99,65

4.1.2 Расчет степени десульфуризации и состава штейна

При плавке в руднотермических печах имеют место следующие реакции. Исходя из этих реакций найдем количество серы, перешедшее в газы.



$$2 \cdot 183,3 \text{ кг CuFeS}_2 - 32 \text{ кг S}_2$$

$$17,497 \text{ кг CuFeS}_2 - x \text{ кг S}_2$$

$$x = 1,527 \text{ кг}$$



$$2 \cdot 95,5 \text{ кг CuS} - 32 \text{ кг S}_2$$

$$6,828 \text{ кг CuS} - x \text{ кг S}_2$$

$$x = 1,144 \text{ кг}$$



$$2 \cdot 202,4 \text{ кг CuAsS}_2 - 32 \text{ кг S}_2$$

$$0,568378 \text{ кг CuAsS}_2 - x \text{ кг S}_2$$

$$x = 0,045 \text{ кг}$$



$$119,8 \text{ кг FeS}_2 - 32 \text{ кг S}_2$$

$$10,45715 \text{ кг FeS}_2 - x \text{ кг S}_2$$

$$x = 2,793 \text{ кг}$$



$$3 \cdot 231,4 \text{ кг Fe}_3\text{O}_4 - 64 \text{ кг SO}_2$$

$$0,9682 \text{ кг Fe}_3\text{O}_4 - x \text{ кг SO}_2$$

$$x = 0,0893 \text{ кг}$$

32

32

64

S

O₂

SO₂

$$x = 0,04465$$

$$y = 0,04465$$

$$0,0893$$

Степень десульфуризации с другими элементами примем 6 %, тогда:

$$x = 20,3 - (1,527 + 1,144 + 0,045 + 2,793 + 0,04465) \cdot \frac{6}{100} = 14,746 \cdot \frac{6}{100} = 0,885 \text{ кг (S)}.$$

Общий вес серы, перешедшее в газы:

$$\sum (S) = 1,527 + 1,144 + 0,045 + 2,793 + 0,04465 + 0,885 = 6,439 \text{ кг (S)}.$$

Общая степень десульфуризации:

$$D = \frac{S_{\text{газ}}}{S_{\text{штейна}}} \cdot 100\% = \frac{6,439}{20,3} \cdot 100\% = 31,7\% = 32\%.$$

Количество серы, оставшееся в штейне:

$$20,3 - 6,439 = 13,861 \text{ кг}.$$

4.1.2.1 Расчет состава штейна

По правилу В.Я.Мостовича, количество серы в медных штейнах составляет 25%. Исходя из этого правила рассчитаем вес штейна.

$$13,861 \text{ кг S} - 25\% \text{ S}$$

$$y \text{ кг штейн} - 100\% \text{ штейн}$$

$$y = 55,44 \text{ кг штейн}.$$

Исходя из промышленных данных при плавке медных концентратов 96-98 % меди переходит в штейн. Поэтому, количество меди перешедшее в штейн приме 97,5% и тогда:

$$30,3 \text{ кг Cu} - 100\%$$

$$x \text{ кг Cu} - 97,5\%$$

$$x = 29,694 \text{ кг Cu (в штейне)}.$$

Теоретический вес меди в штейне:

$$55,44 \text{ кг штейн} - 100\%$$

$$29,694 \text{ кг Cu} - x\%$$

$$x = 53,56\%$$

Вся медь в штейне находится в виде соединения Cu_2S , поэтому исходя их известных данных найдем вес серы.

$$2 \cdot 63,5 \text{ кг Cu} - 32 \text{ кг S}$$

$$29,694 \text{ кг Cu} - x \text{ кг S}$$

$$x = 7,482 \text{ кг S}.$$

По правилу Мостовича, если будет 53,56 % Cu_2S , то кислорода будет

$$O_{2(\text{в штейне})} = 55,44 * \frac{1,3}{100} = 0,721 \text{ кг}$$

Исходя из этого найдем вес Fe_3O_4 в штейне.

x=1,89	0,721	y=2,61 кг
3Fe	2O ₂	Fe ₃ O ₄
167,4	64	231,4

55,44 кг штейна- 100 %

2,61 кг Fe₃O₄- x %

x=4,71 % (вес Fe₃O₄ в штейне).

Примем вес прочих компонентов в штейне 3%. Тогда:

55,44 кг штейна- 100 %

x кг (прочие)- 3 %

x=1,663 кг (вес PbS, As₂S₃ и др. в штейне).

Остаток штейна находится в виде соединения FeS. Найдем его вес:

55,44-(29,694+7,482+2,61+1,663)=13,99 кг FeS

x=8,89 y=5,1 13,99

Fe	S	FeS
55,8	32	87,8

Сводим все расчеты в таблицу 6.

Таблица 6 – Выход компонентов в штейн

Компоненты	Кг	%
Cu	29,694	53,56
Fe	10,78	19,44
S	12,582	22,69
O ₂	0,721	1,31
Прочие	1,663	3,0
Всего	55,44	100

Таблица 7 – Рациональный состав штейна

Cu ₂ S	FeS	Fe ₃ O ₄	Прочие	Всего
67,06	25,23	4,71	3,0	100

4.1.2.2 Расчет состава конвертерного шлака и флюсов

Общий вес конвертерного шлака будем находить по железу, т.к все железо переходит в шлак

$$Q_{\text{конверт. шлак}} = 55,4 \cdot \frac{19,44}{32} = 34,559 \text{ кг}$$

Найдем другие компоненты конвертерного шлака:

$$\text{Cu}: 34,559 \cdot \frac{2,7}{100} = 0,767 \text{ кг};$$

$$\text{Pb}: 34,559 \cdot \frac{1,9}{100} = 0,725 \text{ кг};$$

$$\text{S}: 34,559 \cdot \frac{2,2}{100} = 0,691 \text{ кг};$$

$$\text{SiO}_2: 34,559 \cdot \frac{28,1}{100} = 9,607 \text{ кг};$$

$$\text{MgO}: 34,559 \cdot \frac{3,1}{100} = 0,794 \text{ кг};$$

$$\text{CaO}: 34,559 \cdot \frac{6,0}{100} = 2,004 \text{ кг};$$

$$\text{As}: 34,559 \cdot \frac{0,04}{100} = 0,345 \text{ кг};$$

$$\text{Fe}: 34,559 \cdot \frac{33,67}{100} = 11,636 \text{ кг};$$

$$\text{Прочие}: 34,559 \cdot \frac{1,59}{100} = 0,539 \text{ кг};$$

Расчет состава флюса

$$\text{SiO}_2 = 3,674 \cdot 0,04 = 0,146$$

$$\text{CO}_2 = 3,674 \cdot 0,411 = 1,510 \text{ кг (0,411 кг С и 1,098 кг O}_2\text{)}.$$

$$\text{Прочие} = 3,674 - (1,921 + 0,146 + 1,510) = 0,243 \text{ кг}.$$

4.1.3 Расчет технологических газов

Исходя из выше перечисленных расчетов количество серы, которое перешло в газы 6,439 кг. Вся сера перешла в SO₂

Таблица 8 – Состав газов

Соединения	Вес				S		C		O	
	Кг	Нм	%, вес.	%, объем	Кг	%	Кг	%	Кг	%
SO ₂	12,878	4,507	89,480	85,392	6,439	44,740	-	-	6,439	44,740
CO ₂	1,514	0,771	10,520	14,608	-	-	0,413	2,867	1,1	0,764
Всего	14,392	5,278	100	100	6,439	44,740	0,413	2,867	7,539	51,256

На основании всех расчетов составляем таблицу 9 материального баланса

Таблица 9 – Материальный баланс процесса руднотермической плавки

Компоненты	Всего		Cu		Fe		S		Zn	
	Кг	%	кг	%	Кг	Кг	%	кг	%	кг
Загружено										
Концентрат	100	100	30	30	12	4	4	20,8	20,8	4
Цветной лом	25	100	17,5	70	0,075	-	-	-	-	-
Конверторный шлак	37,21	100	0,837	2,25	12,556	1,861	5	10,79	29	1,563
Известняк	1,889	100	-	-	-	-	-	0,0752	4	0,988
Электрод	0,491	100	-	-	0,023	-	-	-	-	-
Воздух	93,91	100	-	-	-	-	-	-	-	-
Всего	258,5	-	48,337	-	24,654	5,861	-	31,665	-	6,551
Извлечено										
Штейн	79,1877	100	47,8555	60,432	12,279	-	-	-	-	-
Шлак	65,1572	100	0,338	0,519	12,3408	5,849	8,977	31,603	48,503	6,536
Газы	106,0281	100	-	-	-	-	-	-	-	-
Пыль	7,893	100	0,1435	1,818	0,0342	0,012	0,152	0,0622	0,788	0,015
Невязка	0,23	100	-	-	-	-	-	-	-	-
Всего	258,5	-	48,337	-	24,654	5,861	-	31,665	-	6,551
Компоненты	Pb		SiO ₂		CaO		Al ₂ O ₃		Au	
	Кг	%	кг	%	кг	%	кг	%	кг	%
Загружено										
Концентрат	2	2	20,8	20,8	4	4	4	4	0,0001	0,0001
Цветной лом	0,625	2,5	-	-	-	-	-	-	-	-
Конверторный шлак	1,6	4,3	10,79	29	1,563	4,2	1,861	5	-	-
Известняк	-	-	0,0752	4	0,988	52,3	-	-	-	-
Электрод	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Воздух	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Всего	4,225	-	31,6652	-	6,551	-	5,861	-	0,0001	-

Продолжение таблицы 9

Извлечено										
Штейн	3,018	3,811	-	-	-	-	-	-	0,0001	0,0002
Шлак	0,546	0,838	31,603	48,503	6,536	10,031	5,849	8,977	-	-
Газы	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Пыль	0,661	8,374	0,0622	0,788	0,015	0,19	0,012	0,152	-	-
Невязка	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Всего	4,225	-	31,6652	-	6,551	-	5,861	-	0,0001	-
Компоненты	Ag		As		Cd		Re		O	
Загружено										
Концентрат	0,05	0,05	0,21	0,21	0,05	0,05	0,003	0,003	2,81	2,81
Цветной лом	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Конверторный шлак	0,003	0,008	0,0074	0,02	0,0005	0,0014	0,0001	0,0004	5,954	16
Известняк	-	-	-	-	-	-	-	-	0,564	29,857
Электрод	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Воздух	-	-	-	-	-	-	-	-	21,6	23
Всего	0,053	-	0,2174	-	0,0505	-	0,0031	-	30,928	-
Компоненты	C		MgO		N		Прочие			
	кг	%	кг	%	кг	%	кг		%	
Загружено										
Концентрат	1,16	1,16	1	1	-	-	0,6009		0,6009	
Цветной лом	-	-	-	-	-	-	0,125		0,5	
Конверторный шлак	-	-	0,372	1	-	-	0,364		0,9702	
Известняк	0,212	11,223	-	-	-	-	0,0498		2,6	
Электрод	0,468	95,32	-	-	-	-	-		-	
Воздух	-	-	-	-	72,31	77	-		-	
Всего	1,84	-	1,372	-	72,31	-	1,1397		-	
Извлечено										
Штейн	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Шлак	1,1571	1,776	1,369	2,101	-	-	0,1737		0,266	

Продолжение таблицы 9

Газы	0,68	0,64	-	-	72,3 1	68,2 03	-	-
Пыль	0,002 9	0,037	0,00 3	0,038	-	-	0,732	9,274
Невязка	-	-	-	-	-	-	0,234	100
Всего	1,84	-	1,37 2	-	72,3 1	-	1,1397	-

4.2 Расчет теплового баланса

По закону сохранения тепла, тепло которое вводится в систему равно теплу, которое выводится из системы.

Расчет теплоты шихты.

Физическая теплота твердой шихты.

В состав твердой шихты входит концентрат, известняк и цветной лом.

Поэтому:

$$100 + 3,832 + 25 = 128,832 \text{ кг (твердая шихта).}$$

Температура твердой шихты при загрузке составляет 25°C. Примем удельную теплоемкость шихты равной 0,22 Дж / кг·°C.

Тогда:

$$0,22 \cdot 25 \cdot 128,832 = 708,576 \text{ Дж.}$$

Физическая теплота конвертерного шлака.

При загрузке конвертерного шлака в электропечь примем температуру равной 1150°C. Теплоемкость составляет 225 Дж/кг·°C.

$$34,559 \cdot 225 = 7775,775 \text{ Дж.}$$

Физическая теплота штейна.

При плавке медных руд или концентратов при максимальной температуре шлака, температура штейна составляет 1100-1250°C. При загрузке известкового флюса температура шлака снижается и поэтому примем температуру штейна 1200°C.

Теплоемкость составляет 240 Дж/кг.

Тогда:

$$240 \cdot 79,1877 = 19005 \text{ Дж.}$$

Физическая теплота отвального шлака.

При разгрузки шлака из печи температура составляет 1400°C при теплоемкости $403 \text{ Дж} / \text{кг}$.

Тогда:

$$403 \cdot 65,1572 = 26258 \text{ Дж}$$

Физическая теплота пылей.

Температура пыли при выпуске из печи равняется температуре газов, или 400°C . Теплоемкость составляет $0,2 \text{ Дж} / \text{кг} \cdot ^{\circ}$ Тогда:

$$0,2 \cdot 40 \cdot 7,893 = 631,44 \text{ Дж}$$

Теплота отходящих газов.

Температура отходящих газов равна 400°C .

Тогда:

$$0,482 \cdot 400 \cdot 5,024 = 969 \text{ Дж.}$$

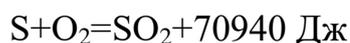
Теплота экзотермических и эндотермических реакций.

Экзотермические реакции:

Ошлакование окислов железа:



Окисление серы:



Общее тепло экзотермических реакций:

$$766,4 + 14660 + 2382 = 17808,4 \text{ Дж}$$

Эндотермические реакции:

На диссоциацию 1 моля серы затрачивается 20 Дж. Для разложения известняка необходимо:



Общее тепло эндотермических реакций:

$$4133 + 4708 = 8841 \text{ Дж.}$$

Заданое тепло:

Вес твердой шихты составляет $126,889 \text{ кг} = 0,126889 \text{ т}$.

Физическая теплота твердой шихты 698 Дж;
Физическая теплота конвертерного шлака 8372,25 Дж;
Теплота экзотермических реакций 17808,4 Дж.
Общее количество заданной теплоты:

$$0,126889+698+8372,25+17808,4=(0,126889+26878,65)\text{Дж.}$$

Затраченное тепло:

Физическая теплота штейна 19005 Дж;
Физическая теплота отвального шлака 26258 Дж;
Физическая теплота пыли 631,44 Дж;
Теплота отходящих газов 969 Дж;
Теплота эндотермических реакций 8841 Дж
Общее количество затраченной теплоты:

$$19005+26258+631,44+969+8841=55704,44 \text{ Дж}$$

Тепловой баланс: $0,126889+26878,65=55704,44$,
кроме $q_6=227173$ Дж для шихты
 $q_{\text{ш}}=227173-1,26889=288258$ Дж/т для концентрата.
В переводе на электроэнергию:

$$227173/860=264 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т для шихты}$$

или

$$288258/860=335 \text{ кВт}\cdot\text{ч/т для концентрата}$$

Оптимальный тепловой баланс процесса электроплавки.

Расчет ведется на 100 кг концентрата.

Заданное тепло:

Теплота электроэнергии 53 кВт*час;
Физическая теплота твердой шихты 698 Дж=0,81кВт*час;
Теплота конвертерного шлака 8372,25 Дж= 9,14 кВт*час;
Теплота электрода 3694,16 Дж = 4,3 кВт*час;
Теплота воздуха 452 Дж =0,53 кВт*час;
Теплота экзотермических реакций 17808,4 Дж = 20,7 кВт * час;

Затраченное тепло:

Физическая теплота штейна 19005 Дж=22,1 кВт*час;
Теплота шлака 26258 Дж=30,53 кВт*час;
Теплота отходящих газов 969+9123=10046=11,9 кВт*час;
Физическая теплота пыли 631,44 Дж=0,73 кВт*час;
Потери тепла в окружающую среду 4234 Дж=4,92 кВт*час;
Теплота эндотермических реакций 8841 Дж=10,28*кВт*ч
Все данные заносим в таблицу 10.

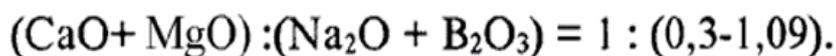
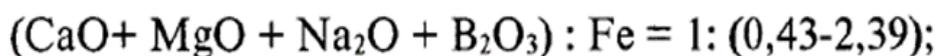
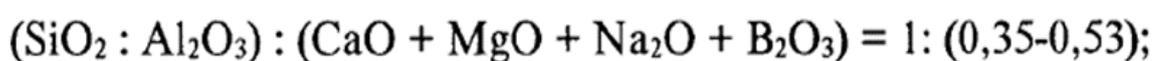
Таблица 10 – Тепловой баланс процесса электроплавки

Заданное тепло			Затраченное тепло		
Составные баланса	кВт-час	%	Составные баланса	кВт-час	%
Тепло электроэнергии	53	59,5	Физическое тепло штейна	22,1	24,81
Физическое тепло твердой шихты	0,81	0,91	Физическое тепло отвального шлака	30,53	34,27
Тепло конвертер шлака	9,74	10,93	Тепло отходящих газов	11,9	13,36
Тепло нагрева электрода	4,3	4,83	Физическое тепло пыли	0,73	0,82
Физическое тепло воздуха	0,53	0,6	Потери тепла в окружающую среду	4,92	5,52
Тепло экзотермических реакций	20,7	23,23	Тепло эндотермических реакций	10,28	11,54
			Потери тепла при остановках печи	4,56	5,12
			Невязка	4,06	4,56
Всего	89,08	100,0	Всего	89,08	100,0

4.3 Предложения по совершенствованию процесса электроплавки медных концентратов

Новизна работы: при изготовлении шихты в качестве флюса рекомендуем использовать борсодержащие материалы в следующих соотношениях. В качестве борсодержащих материалов используют борную кислоту (H_3BO_3), Борат натрия ($B_4O_7Na_2 \cdot 10H_2O$), кальций ($Ca_3(BO_3)$) или бораты магния ($Mg_3(BO_3)$), можно использовать боросилакаты железа, магния, кальция

Тогда, во-первых, снижаются энергетические затраты, а во-вторых, увеличивается выброс меди в штейн.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем дипломном проекте дана краткая характеристика предприятия Жезказганского медеплавильного завода, рассмотрены технологические решения: выбор и обоснование технологической схемы, характеристика и принцип работы руднотермической печи, химизм электроплавки медных руд и концентратов. Произведены основные технологические расчеты руднотермической печи: произведен расчет материальных и тепловых балансов процесса электроплавки медных руд и концентратов на штейн.

При выполнении данного проекта установлено, что введение в шихту борсодержащих материалов, во-первых, снижаются энергетические затраты, а во-вторых, увеличивается выброс меди в штейн.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ванюков А.В., Уткин Н.И. Комплексная переработка медного и никелевого сырья. – Челябинск: Metallurgy, 1988.
- 2 Диомидовский Д.А. Печи цветной металлургии. - М.: Metallurgy, 1956.
- 3 Техническая инструкция плавильного цеха ЖМЗ. – Жезказган: ЖМЗ, 2003.
- 4 Серебрянный В.А. Электрические печи для плавки медных концентратов. - М.: Metallurgy, 1975.
- 5 Диомидовский Д.А., Шалыгин Л.М. Расчеты пиропроцессов и печей цветной металлургии. – М.: Metallurgizdat, 1963.
- 6 Ванюков А.В., Зайцев В.А. Теория пирометаллургических процессов. – М.: Metallurgy, 1973.
- 7 Баимбетов Б.С. Процессы обжига и плавки в металлургии тяжелых цветных металлов. – Алматы: 1998.
- 8 Лоскутов Ф.М., Цейдлер А.А. Расчеты по металлургии тяжелых цветных металлов. - М. Metallurgizdat, 1963.
- 9 Технологические расчеты в металлургии тяжелых цветных металлов. /Под ред. Н.В.Гудимы. - М.: Metallurgy, 1977.
- 10 Гальнбек А.А., Шалыгин Л.М., Шмонин Ю.Б. Расчеты пирометаллургических процессов и аппаратуры цветной металлургии. - Челябинск: Metallurgy, 1990.
- 11 Струнский Б.М. Руднотермические плавильные печи. - М.: Metallurgy, 1972.
- 12 Худяков И.Ф., Дорошкевич А.П., Карелов С.В. Металлургия вторичных тяжелых цветных металлов. – М.: Metallurgy, 1987.

ОТЗЫВ
НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломный проект
(наименование вида работы)

Темірхан Ерлан Қасымханұлы
(Ф.И.О. обучающегося)

5В070900 - Metallургия
(шифр и наименование специальности)

Тема: Совершенствование процесса электроплавки медных концентратов на штейн

Целью предлагаемой работы является проектирование цеха электроплавки медных концентратов на штейн. В дипломном проекте выполнен анализ научно-исследовательских работ, рассмотрены физико-химические основы электротермической плавки, химизм руднотермической плавки, а также потери металлов со шлаками, тепловая работа и механизм процесса электроплавки, приведена характеристика основных технологических процессов. Выполнены соответствующие металлургические расчеты технологических показателей. Для снижения расхода электроэнергии и повышения извлечения меди в штейн предлагается добавка новых борсодержащих флюсующих реагентов.

При выполнении дипломного проекта Темірхан Ерлан проявил способность к принятию самостоятельных решений и показал достаточно хорошие знания.

Дипломный проект выполнен на актуальную производственную тему и соответствующий квалификации бакалавра, оцениваю на «отлично» (92 %) и считаю возможным присвоить звание бакалавра в области металлургии Темірхан Ерлану Қасымханұлы.

Научный руководитель
канд. техн. наук, ассоц. проф. каф. МиОПИ
(должность, уч. степень, звание)

Г.Ж. Молдабаева Молдабаева Г.Ж..
(подпись)

«31» мая 2022 г.

РЕЦЕНЗИЯ

на дипломный проект
(наименование вида работы)

Темірхан Ерлан Қасымханұлы
(Ф.И.О. обучающегося)

5В070900 - Металлургия
(шифр и наименование специальности)

На тему: Совершенствование процесса электроплавки медных концентратов на штейн

Выполнено:

- а) графическая часть на 13 листах
б) пояснительная записка на 49 страницах

ЗАМЕЧАНИЯ К РАБОТЕ

В связи с ограниченностью запасов углеродистого топлива в земной коре использование электрической энергии для производства металлов и их промпродуктов является одним из перспективных направлений развития металлургии. Еще одним важным достоинством электроплавки является возможность плавки тугоплавких шихт, меньший расход флюсов и, соответственно, меньший выход шлака. Целью предлагаемой работы является проектирование цеха электроплавки медных концентратов на штейн. В соответствии с тематикой дипломного проекта проведен анализ научно-исследовательских работ, приведены физико-химические основы руднотермической плавки, химизм руднотермической плавки, а также рассмотрены потери металлов со шлаками, тепловая работа и механизм процесса электроплавки, описаны основные технологические процессы.

На необходимом уровне выполнены металлургические расчеты, составлены материальные и тепловые балансы. По расчетам представлены технологические схемы.

Замечания к работе: в дополнение к известным трудам в области электроплавки желательным было бы привести современные литературные источники.

Оценка работы

Дипломный проект, выполненный на актуальную производственную тему и соответствующий квалификации бакалавра, оцениваю на «отлично» (90 %) и считаю возможным присвоить звание бакалавра в области металлургии Темірхан Ерлану Қасымханұлы.

Рецензент

Доктор PhD,
СНС лаборатории редких металлов РГП «НЦКПМС РК»
(должность, уч. степень, звание)

Малдыбаев Г.К.

«31» мая 2022 г.

Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Темірхан Ерлан Қасымханұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Совершенствование процесса электроплавки медных концентратов на штейн

Научный руководитель: Гульнар Молдабаева

Коэффициент Подобия 1: 0

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из здругих алфавитов: 11

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

- Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.
- Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.
- Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.
- Обоснование:

Дата 31. мая. 2022 г.

Заведующий кафедрой МОН РК
Берменшинов М.Б.



Протокол

о проверке на наличие неавторизованных заимствований (плагиата)

Автор: Темірхан Ерлан Қасымханұлы

Соавтор (если имеется):

Тип работы: Дипломная работа

Название работы: Совершенствование процесса электроплавки медных концентратов на штейн

Научный руководитель: Гульнар Молдабаева

Коэффициент Подобия 1: 0

Коэффициент Подобия 2: 0

Микропробелы: 0

Знаки из других алфавитов: 11

Интервалы: 0

Белые Знаки: 0

После проверки Отчета Подобия было сделано следующее заключение:

Заимствования, выявленные в работе, является законным и не является плагиатом. Уровень подобия не превышает допустимого предела. Таким образом работа независима и принимается.

Заимствование не является плагиатом, но превышено пороговое значение уровня подобия. Таким образом работа возвращается на доработку.

Выявлены заимствования и плагиат или преднамеренные текстовые искажения (манипуляции), как предполагаемые попытки укрытия плагиата, которые делают работу противоречащей требованиям приложения 5 приказа 595 МОН РК, закону об авторских и смежных правах РК, а также кодексу этики и процедурам. Таким образом работа не принимается.

Обоснование:

Дата

31 мая 2022г

проверяющий эксперт

Молдабаева Г. М.
ГМ -



Метаданные

Название

Совершенствование процесса электроплавки медных концентратов на штейн

Автор

Темірхан Ерлан Қасымханұлы

Научный руководитель

Гульнар Молдабаева

Подразделение

Г_М_И

Список возможных попыток манипуляций с текстом

В этом разделе вы найдете информацию, касающуюся текстовых искажений. Эти искажения в тексте могут говорить о ВОЗМОЖНЫХ манипуляциях в тексте. Искажения в тексте могут носить преднамеренный характер, но чаще всего характер технических ошибок при конвертации документа и его сохранении, поэтому мы рекомендуем вам подходить к анализу этого модуля со всей долей ответственности. В случае возникновения вопросов, просим обращаться в нашу службу поддержки.

Замена букв		11
Интервалы		0
Микропробелы		0
Белые знаки		0
Парафразы (SmartMarks)		0

Объем найденных подобиий

Обратите внимание! Высокие значения коэффициентов не означают плагиат. Отчет должен быть проанализирован экспертом.



КП1

25

Длина фразы для коэффициента подобия 2



КП2

3899

Количество слов



КЦ

25386

Количество символов

Подобия по списку источников

Просмотрите список и проанализируйте, в особенности, те фрагменты, которые превышают КП №2 (выделенные жирным шрифтом). Используйте ссылку «Обозначить фрагмент» и обратите внимание на то, являются ли выделенные фрагменты повторяющимися короткими фразами, разбросанными в документе (совпадающие сходства), многочисленными короткими фразами расположенные рядом друг с другом (парафразирование) или обширными фрагментами без указания источника ("крипцитаты").

10 самых длинных фраз

Цвет текста

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ И АДРЕС ИСТОЧНИКА URL (НАЗВАНИЕ БАЗЫ)	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из базы данных RefBooks (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из домашней базы данных (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из программы обмена базами данных (0.00 %)		

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	НАЗВАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
из интернета (0.00 %)		
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	ИСТОЧНИК URL	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)

Список принятых фрагментов (нет принятых фрагментов)

ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР	СОДЕРЖАНИЕ	КОЛИЧЕСТВО ИДЕНТИЧНЫХ СЛОВ (ФРАГМЕНТОВ)
------------------	------------	---