

На правах рукописи



**КОЗЫРЕВ ВЛАДИМИР ВАСИЛЬЕВИЧ**

**ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА И РАЗРАБОТКА  
ТЕХНОЛОГИИ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦИНКА ИЗ СВИНЕЦ-  
СОДЕРЖАЩИХ ШЛАКОВ МЕТОДОМ ПРОДУВКИ  
(ФЬЮМИНГОВАНИЯ) ПРОДУКТАМИ СГОРАНИЯ  
ПРИРОДНОГО ГАЗА.**

Специальность 05.16.02 "Металлургия черных, цветных и  
редких металлов"

Автореферат диссертации на соискание  
ученой степени кандидата технических наук

Москва – 2013

Работа выполнена в ФГУП « Государственный научно-исследовательский институт цветных металлов «ГИНЦВЕТМЕТ»

Руководитель Парецкий Валерий Михайлович  
Доктор технических наук

Официальные оппоненты:

Гель Виталий Иванович Доктор технических наук,  
Нижегородский государственный  
Университет им. Ярослава Мудрого,  
профессор кафедры экологии и  
природопользования

Леонтьев Владимир Гильевич Кандидат физ. мат. наук ,  
ИМЕТ им. А.А.Байкова, РАН ,  
вед. н. сотр. лаборатории физико-  
химического анализа и металлургии  
цветных и редких металлов

Ведущая организация: ООО «Институт Гипроникель»

Защита состоится « 22 марта 2013 г. в 10-00 часов на заседании диссертационного Совета Д 217.041.01 в Государственном научно-исследовательском институте цветных металлов «ГИНЦВЕТМЕТ» по адресу: 129515, г. Москва, ул. Академика Королева, д. 13; тел.: (495) 615-39-82, факс: (495) 615-58-21.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГУП «Институт «ГИНЦВЕТМЕТ»

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью организации, просим направлять по адресу: 129515, г. Москва, ул. Академика Королева, 13

Тел. (495) 615-39-82, факс (495) 615-58-21,

e-mail: gintsvetmet.msk @gmail.com; dissovvet.gin@mail.ru

Автореферат разослан «.....» февраля 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета,  
канд. техн. наук



И.И. Херсонская

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Автогенные процессы в настоящее время занимают доминирующее положение при переработке сульфидного сырья, в частности, при переработке полиметаллического сырья, содержащего медь, свинец и цинк. Решение вопросов повышения их технологической эффективности является весьма актуальным, т. к. позволяет, учитывая масштабы производства, получать значительный экономический эффект.

Одной из проблем повышения эффективности автогенной плавки цинксодержащих полиметаллических концентратов является извлечение цинка в селективный товарный продукт. При автогенной плавке медно-цинкового и свинцово-цинкового сырья цинк на 90% переходит в шлак. Отгонка цинка из шлака в двухзонном агрегате, предусмотренная в проекте переработки медно-цинкового концентрата в печи Ванюкова на Среднеуральском медеплавильном заводе (СУМЗе), достаточно сложна, и поэтому не нашла практического применения. В настоящее время в Хакасии начата подготовка к строительству завода по переработке свинцово-цинкового концентрата Новоангарского ГОКа на основе автогенной плавки в агрегате «Ausmelt», извлечение цинка в технологической схеме которого также пока не предусматривается.

В данных условиях исследование возможности применения разработанного в Гинцветмете процесса фьюмингования цинксодержащих шлаков продуктами неполного сгорания природного газа на основе адаптации результатов научных исследований применительно к конкретным шлакам действующих и строящихся предприятий становится актуальным при решении проблем комплексной переработки полиметаллических концентратов, чему и посвящена данная диссертационная работа.

**Цель работы.** Создание эффективной технологии извлечения цинка из свинецсодержащих шлаков, получаемых при пирометаллургической переработке полиметаллического сырья.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- исследование влияния коэффициента расхода окислителя при сжигании природного газа в топках фьюминг-печи на содержа-

ние непрореагировавшего метана в продуктах сгорания, поступающих в реакционное пространство;

- изучение гидродинамики шлакового расплава в печи с целью определения условий, обеспечивающих минимальный брызгоунос шлака с отходящими газами;

- исследование изменения температуры шлака в процессе продувки в зависимости от тепловых потерь через ограждения печи и величины садки шлака;

- изучение влияния на кинетику отгонки цинка обогащения дутья кислородом, коэффициента расхода окислителя, величины садки жидкого и добавки твердого шлака;

- разработка на основании результатов проведенных исследований режимных и конструктивных параметров печи для фьюмингования шлаков строящегося свинцового завода.

**Методы исследования.** Для решения поставленных задач использованы следующие методы исследования: химический, физико-химический (атомно-абсорбционный) и минералогический анализ; газовая хроматография; хронометраж работы промышленной печи; стендовые испытания топков; снятие тепловых и материальных балансов; методы математической статистики; физическое и математическое моделирование.

**Научная новизна.**

1. Установлено, что процесс фьюмингования цинксодержащих шлаков успешно ведется без применения твёрдого восстановителя за счет вдувания в шлаковый расплав продуктов неполного сгорания природного газа, сожжённого в выносных топках под давлением.

2. Выявлена минимальная для осуществления процесса температура 1160-1260° С в зависимости от изменения состава шлака.

3. Показана зависимость скорости восстановления цинка от его содержания в шлаке и высоты расплава в рабочем пространстве фьюминг-печи.

4. Установлена зависимость брызгоуноса из реакционной зоны от температуры и высоты шлакового расплава в печи.

5. Определена зависимость интенсивности отгонки цинка из шлака от содержания кислорода в воздушном дутье. Показана возможность увеличения производительности фьюминг-печи обогащением дутья кислородом до 28 %.

### **Практическая значимость и реализация результатов работы.**

1. Показано, что при повышении температуры расплава в процессе фьюмингования шлаков продуктами сгорания природного газа в интервале температур 1180-1270°C скорость отгонки цинка возрастает на 1% при увеличении температуры на 1°C.

2. Определены тепловые потоки на кессоны печи и их распределение по высоте. Установлено, что при использовании плоских кессонов вместо трубчатых потери тепла через стены печи уменьшаются в полтора раза, вследствие чего происходит повышение температуры в печи с 1180-1210°C до 1230-1260 °C и увеличение скорости отгонки цинка в 1,3-1,5 раза.

3. Рекомендовано изменение конструкции печи в части расположения летки для выпуска шлака на высоте 0,5м от лещади и высоты рабочей зоны печи, обеспечивающей уровень расплава в ней 2м., что гарантирует надежную работу фьюминг-печи в режиме с наилучшими показателями.

4. Выявлено, что при понижении температуры расплава до температуры начала затвердевания шлака унос расплава многократно возрастает. Определено предельное количество перерабатываемого твердого шлака и режим его загрузки в печь.

5. На основании полученных данных применительно к условиям намеченного к строительству свинцового завода ЗАО «Карат-ЦМ» разработан технологический регламент для проектирования фьюминг-установки, обеспечивающей перевод цинка из шлака свинцовой плавки в товарные возгоны.

**Достоверность** результатов исследований, представленных в работе, подтверждена сходимостью расчетных данных и результатов промышленных испытаний, в частности, при снятии материальных и тепловых балансов, невязка которых составила менее 5%. Температура перехода шлака в жидкотекучее состояние, определенная при гидродинамических исследованиях и исследованиях теплообмена, идентична.

**На защиту выносятся:**

- результаты промышленных и стендовых исследований зависимости состава восстановительных газов на входе в шлаковый расплав от коэффициента расхода окислителя;

- результаты физического моделирования и промышленных исследований зависимости величины шлакового уноса от глубины погружения боковых фурм при продувке расплава продуктами горения природного газа в диапазоне температур от 1100°C до 1250°C при переработке жидкого и твердого шлака;

- результаты промышленных исследований скорости отгонки цинка при продувке расплава восстановительными газами с использованием нагретого воздушного и обогащенного кислородом дутья на фьюминг-печи при изменении площади ограждения ванны и её глубины;

- результаты промышленных исследований по определению потерь тепла через охлаждаемые ограждения печи в зависимости от температуры шлака и высоты расплава от пода.

- технология продувки шлака продуктами сгорания природного газа при повышенном уровне расплава с использованием обогащенного кислородом дутья.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, выводов, списка использованных источников из 118 наименований.

Материалы диссертации изложены на 131 странице машинописного текста, содержит 39 рисунка, 24 таблицы.

**Личный вклад автора.** Анализ причин уноса из ванн из фьюминг печи при продувке шлака восстановительными продуктами горения природного газа и определение ведущего значения температуры расплава для скорости процесса проводимого без участия твердого восстановителя. Формулирование цели работы; выбор и обоснование методик исследований; организация и непосредственное участие в исследованиях, промышленных испытаниях и внедрении; анализ и обобщение полученных результатов.

**Апробация работы.** Основные положения и отдельные результаты работы доложены и обсуждены: на 5-ой Международной научно-практической конференции «Современные технологии в области производства и обработки цветных металлов», на Между-

народной выставке «Металл-Экспо 2011», НТС ФГУП «Институт «Гинцветмет» (2008-2012 гг.).

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**Во введении** приведена общая характеристика работы, дано обоснование актуальности выбранной темы.

**В первой главе** представлен аналитический обзор литературы, на основании которого сформулированы цели и задачи исследований.

Исходное сырье получают из цинковых и полиметаллических руд после их обогащения. Тонкая вкрапленность, тесное взаимопрорастание минералов, наличие в рудах первичных и вторичных сульфидов меди и свинца не позволяют полностью отделять цинк, сопутствующий меди и свинцу. В зависимости от вида руды, до 10-30% цинка переходит в концентрат основного металла.

При свинцовой шахтной плавке получают шлаки, содержащие от 7 до 20% цинка. Для автогенной медной плавки на Среднеуральском металлургическом заводе характерны шлаки с содержанием 4-7% цинка.

Показано, что извлечение цинка из жидкого шлака фьюмингованием является одним из самых производительных процессов. Процесс фьюмингования протекает при высоких температурах с участием жидких и газообразных фаз, он изучен в России и за рубежом главным образом в печах, отапливаемых мазутом и пылеуглем. Фьюмингование природным газом недостаточно полно освещено в опубликованных научных работах.

На основе анализа технической литературы сформулированы задачи, требующие разработки технологических режимов интенсивной отгонки цинка из шлаков, связанные с влиянием технологических, тепловых и гидродинамических процессов на скорость удаления цинка при фьюминговании и влиянием на нее конструктивных особенностей печи, режима работы агрегата и теплофизических свойств шлакового расплава.

Для решения этих вопросов автором данной работы в разное время был проведен ряд лабораторных и промышленных исследований, результаты которых представлены в данной диссертационной работе.

**Во второй главе** приведены методики проведения исследований и описание экспериментальных установок.

Основные эксперименты проводились на промышленной фьюминг-печи Чимкентского свинцового завода, состоящей из собственно печи, системы подачи твердых добавок, транспорта жидкого шлака, системы грануляции шлака и передачи его в шлаковый отвал, котла-утилизатора, системы пылеулавливания и отгрузки полученных возгонов.

Печь представляет собой прямоугольную кессонированную шахту поперечным сечением в области топочных отверстий 8,5x2,4 м и высотой 7,2 м. Подина печи поверх кессонов футерована слоем хромомagnesита толщиной 130-140 мм. По сторонам печи установлено 14 топок, ось сопла топки расположена на уровне 150 мм от пода.

Водоохлаждаемая топка состоит из смесителя; футерованной камеры сгорания (объем – 0,1м<sup>3</sup>); нефутерованного сопла длиной 700 мм, диаметром 150-160мм.

При тестировании топок на стенде и непосредственно на печи на выходе из топки водоохлаждаемым пробоотборником отбирались пробы продуктов сгорания.

Приборами ОРСа, хроматографами «Газохром–3101» и ЛХМ–80 определялось содержание в отобранной пробе Н<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, СО<sub>2</sub>, СО и СН<sub>4</sub>; количество воды в газовой смеси определялось расчетом. Количество тепла, теряемого через охлаждаемые элементы топки, температура продуктов горения, вдуваемых в расплав, определялись при снятии теплового баланса.

Исследования гидродинамики расплава проводили на холодной физической модели в масштабе 1:20 и на промышленной установке. Определение газонасыщенности ванны и исследования движения уноса по газовому тракту проводили на модели в соответствии с условиями, предложенными Редько и Фроловым. Исследование интенсивности образования шлаковых брызг и условий их выноса из печи проводили на промышленной установке, так как при моделировании невозможно одновременно соблюсти критерии подобия Вебера и Архимеда. При исследованиях на действующей установке проводились комплексные исследования перемещения жидкого шлакового расплава в печи с одновременным отбором проб пылей перед рукавными фильтрами из газоходного тракта по стандартной методике отбора пылегазовой



пробы. Количество шлакового уноса ( $G_y$ ), попадающего в рукавные фильтры за время отбора пробы, рассчитывалось исходя из количества жидкого шлака ( $G_{ш}$ ) в печи, содержания железа и цинка в отобранной пробе и продуваемом шлаке по формуле:

$$G_y = \frac{G_{ш} \cdot \Delta C_{Znш} \cdot C_{FeB}}{C_{Feш} \cdot C_{ZnB}} \quad (1)$$

Где:  $\Delta C_{Znш}$  – разность содержания цинка в шлаке в начале и конце времени отбора пробы пыли.  $C_{Feш}$ ,  $C_{FeB}$ ,  $C_{ZnB}$  — содержание железа в шлаке и содержание железа и цинка в пробе.

Количество шлаковых капель, движущихся со стороны ванны, определяли по весу шлака, попавшего в ловушку через калиброванное отверстие кожуха ловушки, или налипшего на площадь ломика, обращенного к расплаву.

Температура шлакового расплава в печи в течение продувки измерялась непрерывно или с интервалами 5-20 минут термопарой. Параллельно использовались оптические пирометры. Количество тепла, теряемого через охлаждаемые элементы печи, определялись при снятии теплового баланса по стандартной методике.

При исследованиях скорости отгонки цинка отбирались пробы шлака: с заливочного желоба фьюминг-печи ложкой, из рабочего пространства печи - на ломок. Отбор расплава производился каждые 10-20 минут. Одновременно проводились измерения температуры расплава. Пробы разделялась и анализировалась на содержание цинка и свинца на полярографе «Краб-2», анализ части проб дублировался по атомно-абсорбционной методике на приборе «Perkin-Elmer-2380».

Количество заливаемого в печь шлака определялось по изменению суммы динамического и статического напора в камере горения топки, измеряемого дифференциальным манометром ДМ-0,63 при фиксированном расходе дутья при пустой и максимально наполненной фьюминг печи. Количество загруженного в печь твердого шлака измерялось ленточным тензометрическим датчиком ТЛ-5. Количество возгонов взвешивалось на пятитонных весах по мере наполнения транспортного кубеля. Ежедневно на пятитонных весах взвешивались шлаки, направляемые в отвал. На основании измеренных масс полученных возгонов и отвального шлака поверялось истинное количество переработанного шлака.

**В третьей главе** представлены результаты исследований зависимостей интенсивности процесса отгонки цинка и качества получаемых возгонов от режимов ведения процесса фьюмингования: газовоздушного, гидродинамического, теплового.

Среднестатистический режим работы промышленной установки характеризовался следующими основными параметрами: расход природного газа на всю печь - 4650-4750  $\text{нм}^3/\text{час}$ , воздуха - 33000-34000  $\text{нм}^3/\text{час}$ ; среднее значение коэффициента расхода воздуха по топкам, рассчитанное по результатам газовых анализов, –  $\alpha = 0,76$ . Значение  $\alpha$ , определенное по показаниям общих расходомеров на всю печь, равнялось 0,73

Состав восстановительных газов, определенный на основании проведенных исследований, близок к расчетному. Сумма сухих восстановительных газов ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ), рассчитанная для  $\alpha = 0,75$ , составляла 13,995%; для  $\alpha = 0,76$  - 13,332%; среднее значение величины ( $\text{CO} + \text{H}_2$ ) по результатам анализа газов составляла 13,732%.

Количество метана, не успевшего вступить в реакцию горения за время пребывания в футерованной камере топки, зависит от коэффициента избытка воздуха и расхода топлива. При коэффициенте расхода окислителя от 1 до 0,72 степень использования метана изменяется от 1,0 до 0,95 (среднее значение  $\eta_{\text{сн4}} = 0,98$ ), что является вполне приемлемой величиной для технологического использования.

При более низком значении  $\alpha$  степень использования метана, сжигаемого в топках, колеблется от 0,91 до 0,98% при среднем значении  $\eta_{\text{сн4}} = 0,95$ .

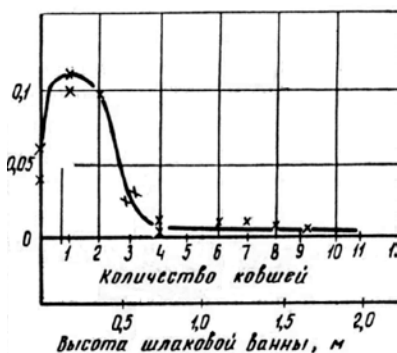
При снижении коэффициента расхода окислителя и увеличении расхода природного газа на топку свыше 360-380  $\text{нм}^3/\text{час}$  просок метана в шлаковый расплав возрастает. Метан не полностью используется в ванне, в возгонах было обнаружено до 0,4% сажистого углерода. Вероятно, происходит пиролиз метана.

Топки, сжигающие природный газ на подогретом воздушном дутье с расходом природного газа не более 380  $\text{нм}^3/\text{час}$ , обеспечивают конверсию метана не менее 98% при коэффициенте расхода окислителя  $\alpha \geq 0,72$ ; на дутье, обогащенном кислородом с расходом топлива 465  $\text{нм}^3/\text{час}$  - при  $\alpha \geq 0,5$ .

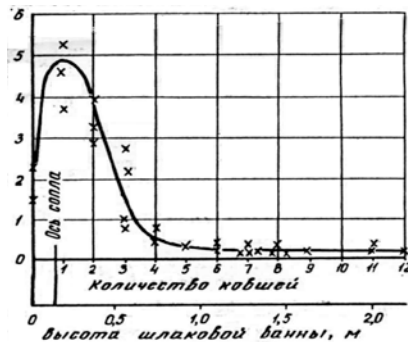
Исследования, проведенные на печи, позволяют оценить некоторые характеристики движения брызг расплава в рабочем пространстве печи. При продувке заполненной ванны визуально установлено, что расплав (видимые брызги и всплески) не поднимается на высоту более 7 метров от лещади. На высоте 5 м брызги имеют размер 2–20 мм, интенсивность движения капель - (25-60) г/м<sup>2</sup> в секунду.

При исследовании процесса фьюмингования на природном газе было выявлено ухудшение качества получаемых возгонов. Главной причиной этого было попадание в возгоны большого количества шлакового брызгоуноса. Проводились исследования условий образования брызгоуноса из печи, а также закономерностей его движения по газоходному тракту до рукавных фильтров.

На рис. 1 представлена зависимость интенсивности шлакового уноса, выраженная в кг массы твёрдых и жидких частиц, пересекающих сечение печи (газохода) за секунду, от высоты расплава шлаковой ванны.



а) в газоходе



б) в печи

Рис. 1. Зависимость интенсивности выноса шлака от количества шлака в печи. Замеры проводились одновременно перед рукавными фильтрами (а) и в печи на высоте 8 м от пода (б).

При уровне расплава менее 0,5 м продувка переходит в капельный режим. Максимальный вынос шлака (до 250 г/м<sup>2</sup>·с) происходит при совпадении уровня шлаковой ванны с высотой расположения оси топков. При высоте шлакового слоя более 0,5 м (3-

4 диаметра сопла) интенсивность уноса значительно снижается. При высоте расплава более 0,8 м наступает нормальный режим барботажной продувки, который характеризуется тем, что интенсивность уноса не изменяется при увеличении глубины ванны, т.к. газовые струи не продувают слой шлака. Унос состоит из мельчайших брызг, образовавшихся при разрыве пузырьков и их схлопывании на поверхности зеркала ванны. Минимальный унос шлака, определённый на высоте 8 м, снижается по мере наполнения ванны с 400г/с до 150-200 г/с на всю печь или около  $10 \text{ г/с*м}^2$ .

На рис. 2 приведена зависимость брызгоуноса из ванны при изменении температуры в рабочем пространстве фьюминг-печи. Падение температуры в печи ниже  $1130^\circ\text{C}$ , которое отмечается при загрузке твердого шлака, приводит к значительному увеличению выноса шлака.

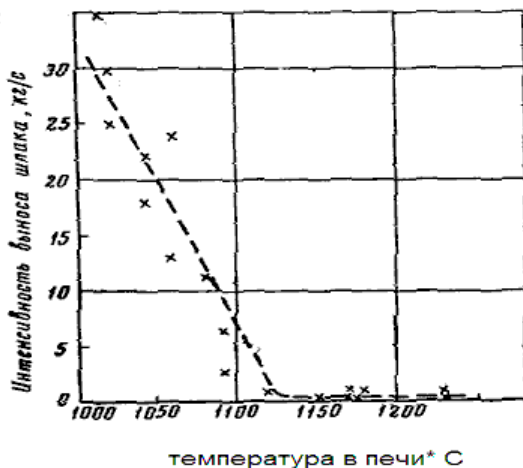


Рис.2. Зависимость интенсивности выноса шлака от температуры.

Следует отметить, что эта температура характеризует переход шлакового расплава из области хорошей жидкотекучести шлака в область повышенной вязкости (начало его загустевания). При снижении температуры расплава до точки, характеризующей резкое возрастание вязкости и начало его кристаллизации, газовые струи продувают каналы в расплаве и дробят шлак на мелкие сферические частицы, которые могут уноситься газами. Макси-

мальная величина уноса шлака достигала 25-35 кг/с на всю печь или до 1,5 кг/с\* м<sup>2</sup>.

При температуре ванны 1130-1140°C и выше шлаки достаточно жидкотекучие, поэтому хорошо перемешаны и однородны по вязкости и составу. В этом случае температура, измеренная в одной точке ванны, характеризует температуру всего реакционного пространства фьюминг-печи.

На рис.3 даны графики изменения температуры шлака по ходу продувок.

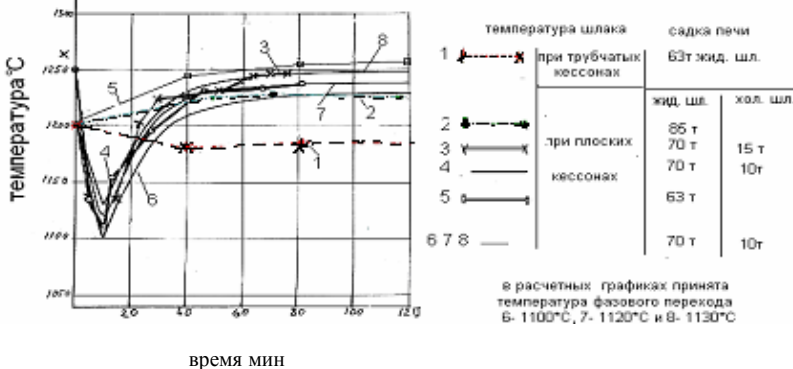


Рис. 3. Изменения температуры шлака по ходу продувок, отличающихся весом садки.

Как показывают эти исследования, температура расплава во фьюминг-печи зависит от количества тепла, усвоенного расплавом, и потерь тепла через ограждения. Количество тепла, выделяющееся в топках, для всех графиков одинаково. При сгорании 4500 м<sup>3</sup>/час природного газа значение коэффициента избытка воздуха на печь  $\alpha = 0,78$ . Значительное влияние потерь тепла через ограждения подтверждается самым низким уровнем температур шлака на графике 1, полученном при использовании трубчатых кессонов, тепловоспринимающая поверхность которых в полтора раза превышает таковую у плоских кессонов, при использовании которых снимались зависимости приведенные ниже. Более высокие температуры на графиках 2 и 5 (1235°C и 1260°C) для садок 85т и 63т (график 5), отражают ее зависимость от количества расплава. Для не типичной садки весом 30т отмечена температура 1362°C. При загрузке в печь холодного шлака (графики 3и 4) температура

расплава опускается до температуры начала его затвердевания ( $T_S$ ). Тепловые потери через ограждения резко падают после прекращения загрузки и расплав быстро разогревается.

Для садки 70т жидкого шлака с загрузкой 10т холодного шлака для различных температур ( $T_S = 1100-1130^\circ\text{C}$ ) построены расчетные графики 6,7 и 8, совпадающие с экспериментальными данными.

Средние тепловые потоки в конце продувки при садке 60 -70 т шлака, нагретого до  $1250-1265^\circ\text{C}$ , по рядам плоских кессонов (охлаждаемых водой), составили: для нижнего ряда  $93-116 \text{ кВт/м}^2$ , среднего ряда  $46-72 \text{ кВт/м}^2$ , верхнего ряда и подовых кессонов  $21-41 \text{ кВт/м}^2$ . При загрузке в печь на одну операцию 10-20 тонн гранулированного шлака из отвалов слой гарниссажа на боковых стенах увеличивается, тепловые потери снижаются примерно вдвое. Через час после окончания загрузки шлак разогревается, для нижних кессонов потери тепла приближаются к максимальным значениям, толщина гарниссажа выше уровня расплава не приходит в относительно равновесное состояние до окончания технологической операции.

Проведены исследования скорости отгонки цинка в контрольных режимах, характеризующихся различными входными параметрами.

Исследованные контрольные продувки разбили на группы по величине садки шлака и параметрам газовоздушного режима. По усреднённым значениям входных параметров этих продувок для нескольких характерных режимов построены макрокинетические зависимости изменения содержания цинка в шлаке во времени. Заливка шлака в печь затянута по времени, что снижает скорость процесса в начале продувки. Разнонаправленность этих факторов делает скорость отгонки цинка близкой к постоянной величине в продувках на воздушном дутье до концентрации цинка в шлаке 2-3%, а при обогащении дутья кислородом до 0,5-1%.

На рис.4 представлены графики изменения содержания цинка в шлаке во время цикла фьюмингования на печи чимкентского свинцового завода для четырех режимов продувки ванны продуктами неполного горения природного газа. Параметры режимов работы печи: режим- 1 (продувки на воздушном дутье, садка - 73,5 т в том числе до 10т твердого шлака, расход газа  $4650-4800 \text{ м}^3/\text{час}$ ,  $\alpha$ -

0,77); режим – 2 (продувки на воздушном дутье, садка – 79-82т жидкого шлака, расход газа 4650-4800м<sup>3</sup>/час  $\alpha$ -0,77); режим – 3 (продувки на дутье обогащенном до 22,5- 24% кислородом, садка - 58,5т, расход газа 5200м<sup>3</sup>/час,  $\alpha$ -0,77); режим – 4 (продувки на дутье обогащенном до 26 -27% кислородом, садка - 85т, расход газа 6000м<sup>3</sup>/час,  $\alpha$ -0,704).

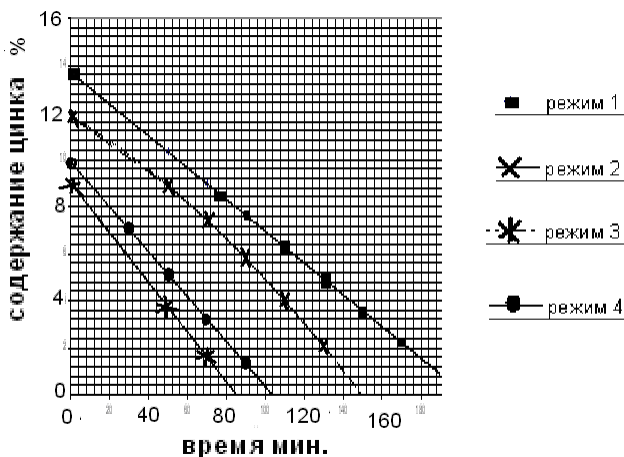


Рис. 4. Изменение содержания цинка в шлаке во времени

Количество цинка, переходящего в газовую фазу в единицу времени, характеризуется наклоном графической зависимости, количеством шлака в печи и исходным содержанием цинка в расплаве. Скорость отгонки цинка в режиме-1 — 48 кг/мин. (с высоким начальным содержанием цинка); в режиме-2 — 51кг/мин. (в который отобраны операции с повышенным количеством шлака в печи); в режиме-3 — 61кг/мин. (печь проработала несколько месяцев на дутье, обогащенном кислородом до 22-24%); в режиме-4 — 81кг/мин. (кратковременные испытания на дутье, обогащенном кислородом до 26-28%).

При переводе печи на испарительное охлаждение плоские кессоны водяного охлаждения поменяли на конструкции из труб, площадь контакта расплава с гарниссажем возросла в полтора раза. Это привело к снижению температуры расплава до 1180-1210°С,

скорость отгонки цинка при этом уменьшилась. Скорость отгонки цинка 43,7 кг/мин. получена для садок 90-99т, температура расплава 1195°C (режим-5) Сравнивая этот режим с аналогичным по дутью режимом-6, где вес садки 90-92т, температура шлака перед выпуском 1250-1270°C, а за минуту извлекается 57,8-58,9 кг цинка, видим, что снижение температуры шлака в печи приводит к уменьшению скорости отгонки цинка в 1,3 раза.

В этих условиях, при садке 50т и температуре в печи 1190°C была получена скорость отгонки цинка 22,1 кг/мин (режим-7), а для садке 40т и температуре 1216°C скорость отгонки – 27,2кг/мин (режим -8), что значительно меньше, чем – 43,7 кг/мин. для режима -5. Из этого следует вывод, что при температуре близкой, к 1200°C, скорость отгонки цинка зависит от глубины ванны расплава. Это подтверждается и при сравнении скоростей извлечения цинка режима-2 и режима-6 составляющих соответственно 51кг/мин. и 58кг/мин. при работе печи с плоскими кессонами при более высокой температуре.

Наилучшие показатели по извлечению цинка из шлаков получены на воздушном дутье с нагревом воздуха до 300° С при максимальных садках 90-100т, расходе природного газа 4700-4800 нм<sup>3</sup>/ час, коэффициенте расхода воздуха  $\alpha$ -0,78. Увеличение расхода природного газа выше указанных значений возможно только на короткое время.

**В четвертой главе** изложены результаты разработки на основании проведенных исследований и расчетов применительно к условиям завода ЗАО «Карат-ЦМ» технологического регламента для проектирования фьюминг-установки, обеспечивающей перевод цинка из шлака свинцовой плавки в товарные возгоны с извлечением 85-90 %. Шлак после удаления свинца в электропечи в жидком виде заливается в печь для фьюмингования, где продувается восстановительными газами. Материальный баланс фьюминг-печи производительностью 160 т шлака в сутки с использованием нагретого до 600°C дутья приведен в таблице 1. Предлагаемая печь за одну операцию перерабатывает 20т шлака, выпускная летка находится выше топочных фурм и на 0,5м выше подины, 10т шлака остаются в печи между операциями.



Таблица 1

Материальный баланс фьюминг-печи общей садкой 30 тонн.

материал	вес	Содержание %/т					
	т/%	Zn	Pb	Fe	SiO <sub>2</sub>	прочие	CaO
Шлак цинковый	20,0000	7,5800	1,5800	29,4400	24,7700	27,8100	8,8200
	20,0000	1,5160	0,3160	5,8880	4,9540	5,5620	1,7640
Шлак оборотный	10,0000	0,8502	0,0886	32,8218	27,6154	28,7909	9,8332
		0,0850	0,0089	3,2822	2,7615	2,8791	0,9833
дутье	43,7700						
итого	73,7700	1,6010	0,3249	9,1702	7,7155	8,4411	2,7473
Шлак оборотный	10,0000	0,8502	0,0886	32,8218	27,6154	28,7909	9,8332
	10,0000	0,0850	0,0089	3,2822	2,7615	2,8791	0,9833
Шлак отвальный	17,8316	0,8502	0,0886	32,8218	27,6154	28,7909	9,8332
	17,8316	0,1516	0,0158	5,8527	4,9243	5,1339	1,7534
Возгоны	2,1684	62,9234	13,8446	1,6293	1,3708	19,7438	0,4881
	2,1684	1,3644	0,3002	0,0353	0,0297	0,4281	0,0106
газы	43,7700						
итого	73,7700	1,6010	0,3249	9,1702	7,7155	8,4411	2,7473

Изменение масштабов печи приводит к необходимости компенсировать тепловые потери применением кислорода и повышенным расходом природного газа, либо нагревом дутья. Тепловой баланс ванны с нагревом дутья до 600°C приведен в таблице 2.

Таблица 2

Тепловой баланс ванны и топок

Приход	Кдж/час	%	расход	Кдж/час	%
Тепло воздуха	10462500	22,95	топки	2919326	6,50
Тепло газа	4369	0.005	кессоны	15196861	34,37
			Нагрев шлака и возгонов.	695218	1,55
реакций горения	34456210	77,095	реакции	1728495	5,02
			Тепло газов	23002697	51,21
			Излучение.	63148	0,14
итого	44961499	100	итого	44961499	100

Повышение производительности завода по переработке дополнительного свинцового концентрата можно обеспечить применением обогащенного дутья кислородом и его нагревом до 750°C. Это обеспечит извлечение цинка на 85 %. Технические характеристики промышленной фьюминг-печи «Чимкентского свинцового завода» и печей свинцового завода ЗАО «Карат-ЦМ» представлены в таблице 3.

Таблица 3

## Технические характеристики фьюминг-печей.

Показатели	Единицы	Печь «ЧСЗ»	Печь «Карат-ЦМ»	Интенсивный режим печи «Карат-ЦМ»
Садка печи	т	73,1	30	42,5
Площадь ванны	м <sup>2</sup>	20,4	5,8	5,8
Расход природного газа	м <sup>3</sup>	4850	1450	1450
Коэффициент расхода окислителя		0,75-0,78	0,76	0,7-0,76
Температура дутья	° С	270-325	600	750
Расход воздуха	м <sup>3</sup> /час	33500-35000	10650	9800-10650
Содержание кислорода в дутье	%	21	21	28
Содержание цинка в шлаке исходное	%	10,16	7,58	7,58
Содержание цинка в шлаке конечное	%	1,76	0,085	1,3
Содержание свинца в шлаке исходное	%	1,5	1,5	1,5
Содержание свинца в шлаке конечное	%	0,03	0,01	0,05
Степень возгони цинка	%	84	90	85
Степень возгони свинца	%	97	98	97
Время цикла	минут	160	180	180
Производительность по шлаку	т/год	205260	51200	85340
Температура заливаемого шлака	° С	1200	1200	1200
Температура выпускаемого шлака	° С	1260	1270	1270
Количество газов в Котле-утилизаторе	М <sup>3</sup> /час		18000	18000

**Общие выводы по работе.**

1. На основе анализа современного состояния вопроса сформулирована научно-техническая задача эффективной промышленной реализации технологии извлечения цинка из металлургических шлаков методом фьюмингования природным газом: исследование взаимосвязи интенсивности отгонки цинка и качества товарных возгонов с технологическими, тепловыми и гидродинамическими параметрами ведения процесса.

2. Разработаны методики проведения лабораторных и промышленных исследований процесса фьюмингования на природном газе. Изучена полнота сжигания и состав продуктов горения природного газа на входе в расплав.

3. Проведены исследования скорости отгонки цинка при вдувании в шлаковый расплав фьюминг-печи продуктов неполного горения природного газа, сожжённого в выносных топках под давлением. Показана возможность высокоэффективного ведения процесса без применения твёрдого углеродсодержащего восстановителя.

4. Установлено, что барботирование шлакового расплава сопровождается подъёмом части жидкой фазы в виде капель и всплесков, осуществляющих перенос тепла к кессонам над уровнем ванны на высоту, обусловленную интенсивностью дутья. Всплытие пузырей из расплава сопровождается образованием мелких капель, часть которых уносится из печи с интенсивностью около  $10 \text{ г/с} \cdot \text{м}^2$  площади пода.

5. Исследованы условия нарушения барботажного режима продувки шлаков вследствие изменения высоты шлакового расплава и снижения его температуры.

а) Кинетическая энергия газовых струй при низком уровне ванны (заливка, выпуск) расходуется на капельное дробление расплава. Совпадение уровня ванны с осями топочных сопел приводит к уносу расплава за пределы печи в количестве  $250 \text{ г/с} \cdot \text{м}^2$  площади пода.

б) При снижении температуры расплава до точки, характеризующей начало загустевания ( $1130^0 \text{ C}$ ), газовые струи продувают каналы в расплаве и дробят шлак на мелкие сферические частицы, которые могут уноситься газами. Скорость уноса шлака достигала  $1,5 \text{ кг/с} \cdot \text{м}^2$  площади пода печи.

6. На основании проведенных исследований для снижения уноса шлака рекомендовано уменьшение интенсивности дутья при совпадении уровня расплава с плоскостью сечения фурм и между операциями, а также поддержание хорошей жидкотекучести расплава ограничением загрузки холодного гранулированного шлака.

7. Проведение процесса отгонки цинка природным газом при увеличении глубины шлаковой ванны приводит к повышению количества полученных возгонов в единицу времени.

8. На основании проведенных исследований применительно к условиям завода ЗАО «Карат-ЦМ» разработан технологический регламент для проектирования фьюминг-установки, обеспечивающей перевод цинка из шлака свинцовой плавки в товарные возгоны.

**Основное содержание приведено в следующих работах:**

1. Евдокименко А.И., Савин И.В., Гнатовский Е.С., Котляренко В.В., Чижов Д.И., Козырев В.В. Промышленное внедрение процесса фьюмингования шлаков природным газом на воздушном дутье// *Металлургия цветных металлов: Сб. научных трудов ин-та "Гинцветмет". - М.,: Metallurgia, -1974.- № 37 -С.89-96.*

2. Евдокименко А.И., Козырев В.В. Характер изменения температуры шлака во фьюминг-печи (по экспериментальным данным)// *Совершенствование техники и технологии металлургической переработки поли металлургического сырья: Сб. научных трудов ин-та «Гинцветмет».-М., 1981.-С.78-81.*

3. Евдокименко А. Козырев В.В. Плавление и затвердевание в жидкой ванне// *Исследование пирометаллургических процессов производства тяжелых цветных металлов: Сб. научных трудов ин-та «Гинцветмет».- М., 1984.- С. 23-33.*

4. Козырев В.В. Вынос жидкого шлака из фьюминг-печи, работающей на природном газе// *Исследование пирометаллургических процессов производства тяжелых цветных металлов: Сб. научных трудов ин-та «Гинцветмет».- М., 1984.- С. 42-48.*

5. Гречко А.В., Козырев В.В. Анализ методик расчета процесса проявления материалов в барботируемой ванне// *Цветная металлургия.- 2000.- № 5-6. - С. 25-28.*

6. Козырев В.В. Фьюмингование шлаков природным газом// Новые рубежи в цветной металлургии: Сб. научных трудов ФГУП «Институт "ГИНЦВЕТМЕТ"», М., - 2002. - С. 85-92.
7. Козырев В.В. Отгонка цинка из шлака при фьюминговании природным газом// Цветные металлы.- 2009.- № 2. - С. 61-64.
8. Козырев В.В. Особенности движения расплава во фьюминг-печи, работающей на природном газе// Цветные металлы.- 2009.- № 4.- С. 56-59.
9. Козырев В.В., Бессер А. Д., Парецкий В.М., Перспективы использования фьюминговании шлаков при переработке свинцово-цинкового сырья /ФГУП «Институт «Гинцветмет». -М.,2012-10с.- Библиогр.: 6 назв.- Деп. в ВИНТИ 17.12. 12, №452-В2012 //Указатель ВИНТИ- 2012-№2.