

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**Диссертационного совета по металлургии, обогащению, материаловедению и наноматериалам при Казахском национальном техническом университете имени К.И. Сатпаева по защите диссертационной работы**

**Меркибаева Ерика Сериковича на тему «Переработка бедных труднообогатимых комплексных свинцово-цинковых руд и промпродуктов обогащения», представленной на соискание степени доктора философии PhD по образовательной программе 6D070900 – «Металлургия»**

Работа выполнена на кафедре «Металлургические процессы, теплотехника и технология специальных материалов» КазННТУ им.К.И. Сатпаева, г. Алматы. Защита состоялась на русском языке.

### **Научные консультанты:**

1. [Луганов Владимир Алексеевич], доктор технических наук, профессор, кафедры МПТиТСМ, Сатпаев Университет.
2. Чепуштанова Татьяна Александровна, доктор PhD, к.т.н., зав.кафедрой МПТиТСМ, Сатпаев Университет.
3. Панайотова Маринелла, профессор, доктор PhD, Горно-геологический университет имени Святого Ивана Рилского София, Болгария.

### **Рецензенты:**

1. Шевко Виктор Михайлович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Металлургия» НАО Южно-Казахстанский университет имени М. Ауэзова, (г. Шымкент, Казахстан), имеется более 2-х научных публикаций в (Scopus) CiteScore выше 35-ти по специальности 6D070900 – Металлургия.
2. Квятковский Сергей Аркадьевич – доктор технических наук, академик КазНАЕН, заведующий лабораторией пирометаллургии тяжелых цветных металлов Института металлургии и обогащения при Казахском национальном исследовательском техническом университете имени К. И. Сатпаева. (г. Алматы, Казахстан), имеется более 2-х научных публикаций в (Scopus) CiteScore выше 35-ти по специальности 6D070900 – Металлургия.

Основные выводы, положения и результаты, изложенные в диссертации, опубликованы в 16 научных трудах, из них 4 в базе данных Scopus и WoS; 4 публикация в журнале, рекомендованном КОКСНВО МННВО РК; 5 публикаций в материалах международных конференций, 1 патент, 1 монография, 1 Статья, опубликованные в других научных журналах и изданиях

Защита состоялась 18 апреля 2024 г., в 09-30 час. в АО «Институт металлургии и обогащения» КазННТУ имени К.И. Сатпаева.

Развитие свинцово-цинковой промышленности требует расширения сырьевой базы современной цветной металлургии. Одним из критически



важных резервов в этом направлении является вовлечение в эксплуатацию труднообогатимых руд, в частности окисленных и смешанных, а также ликвидных хвостов обогащения. Значительная часть полиметаллических, свинцово-цинковых руд на сегодняшний момент содержит менее 3 % цинка и менее 1 % свинца, характеризуются также труднообогатимостью вследствие тонкой вкрапленности и тесного взаимного прорастания рудных и нерудных минералов, а также значительной окисленностью приповерхностной части рудных тел. В мировой практике при переработке руд подобного состава имеется тенденция к применению комбинированных методов, включающих операции гидро- или пирометаллургии в сочетании с флотационным или гравитационным обогащением в зависимости от особенностей вещественного состава руд. Одним из эффективных активирующих способов подготовки окисленных минералов к флотации является сульфидирующий обжиг. Предлагается сульфидирующий обжиг в печи «кипящего слоя» с использованием в качестве сульфидизатора и топлива пиритного концентрата, который обеспечивает перевод минералов из окисленной формы в легкообогатимые сульфидную, со значительным снижением потери металла, чем при использовании других схем активации, с последующим магнитным и флотационным обогащением продуктов обжига. Особую актуальность данная технология приобретает в условиях стремительного снижения содержания свинца и цинка в рудах.

Впервые результатами термического анализа TG/DSC и (SEM) и (EDS) спектроскопией установлен механизм сульфидирования окисленных соединений цинка пиритом: 1 стадия - первичное образование ZnS при температуре от 450 °C; 2 стадия - при максимальной степени сульфидизации при 700-750 °C происходит образование стабильной пленки ZnS с образованием при этом пирротинов состава  $Fe_{1-x}S$ , которые растворяются в ZnS с образованием соединения  $(Zn, Fe)S$  в форме  $Fe_2Zn_3S_5$  при температуре 750 °C; 3 – стадия при температуре обжига выше 750 °C с образованием минерала ZnS, который не только агрегирует с  $Fe_{1-x}S$  с получением соединения  $(Zn, Fe)S$  в форме  $Fe_2Zn_3S_5$ , но и с агрегацией с элементами пустой породы, что отрицательно влияет на эффективность флотации.

Впервые экспериментальной термодинамикой, методами электронной микроскопией (SEM) в сочетании с энергодисперсионной спектроскопией (EDS) установлен механизм сульфидирования оксида цинка и образование промежуточных соединений при 800 °C в виде франклинита  $(ZnFe_2O_4)$  и цинкозита  $(ZnSO_4)$ , по следующему механизму превращений:  $ZnO \rightarrow ZnFe_2O_4 \rightarrow ZnSO_4 \rightarrow ZnS$ .

Впервые методами ЯМР и ЭПР установлена зависимость намагниченности пирротинов  $Fe_{0.855}S$ ,  $Fe_{0.862}S$ ,  $Fe_{0.877}S$ ,  $Fe_{0.901}S$ ,  $Fe_{0.911}S$  от температуры обжига, установлено, что намагниченность увеличивается с 4,5 Гс·см<sup>3</sup>/г при 600 °C обжига до 12,5 Гс·см<sup>3</sup>/г при 800 °C с дальнейшим уменьшением до 3,0 Гс·см<sup>3</sup>/г и значений 0 Гс·см<sup>3</sup>/г при температурах выше 1000 °C за счет уменьшения числа вакансий в четных базисных плоскостях структуры пирротинов.

Установлены составы, магнитная восприимчивость пирротинов ( $Fe_{0,855}S = 3,75$ ;  $Fe_{0,888}S = 5,43$ ;  $Fe_{0,909}S = 2,18$  единиц СИ), а также их структурные свойства на предмет перехода из магнитного, ферромагнитного и парамагнитного состояний, что позволило разработать способы обжиг-магнитного обогащения в условиях сульфидирующего обжига в кипящем слое и в неподвижном слое.

Впервые разработан способ термической активации цинк-олигонитовой руды, включающий высокотемпературный, сульфидирующий обжиг в присутствии высокосернистого сульфидизатора в виде пиритного концентрата при соотношении к руде 2:1, в печи кипящего слоя на воздушном дутье при расходе от 10 до 20 л/мин, при температуре  $650^{\circ}C$ , с получением максимально магнитных пирротинов, магнитная восприимчивость которых равна  $1020 - 1330 \cdot 10^{-6}$  Си/г, при степени сульфидизации 88 % и извлечении их при магнитной сепарации в магнитную фракцию более чем на 90 %.

Впервые установлено, что после сульфидирующей обработки руды в печи КС и отделения магнитной фракции в огарке содержание цинка повышается до 3,5-4,0 %, флотация немагнитной фракции без специального подбора флотореагентов в открытом цикле позволяет повысить извлечение цинка в 2,5-3 раза, а содержание цинка в пенном продукте в 4-7 раз.

Впервые разработана технологическая схема активирующего сульфидирующего обжига цинксодержащих и свинецсодержащих промышленных продуктов обогащения в неподвижном слое, содержащих пирит в собственном составе не менее 50-54 %, использующегося в качестве сульфидизатора, с получением пирротинов с максимальной магнитной восприимчивостью равной:  $Fe_{0,855}S = 3,75$ ;  $Fe_{0,888}S = 5,43$ ;  $Fe_{0,909}S = 2,18$  единиц СИ.

Результаты голосования по вопросу о присуждении степени доктора философии (PhD) по образовательной программе 6D070900 – «Металлургия» Меркибаева Ерика Сериковича:

«ЗА» - 18 голосов

«ПРОТИВ» - нет

недействительных бюллетеней нет.

Таким образом, Диссертационный Совет по Metallургии, обогащению, материаловедению и наноматериалам на основании публичной защиты диссертации и результатов тайного голосования принял решение присудить Меркибаеве Ерике Сериковиче степень доктора философии (PhD) по образовательной программе 6D070900 – «Металлургия».



## КЛАССИФИКАЦИОННЫЕ ПРИЗНАКИ ДИССЕРТАЦИИ

### 1. Соответствие приоритетным направлениям развития науки или государственным программам:

1) Диссертация выполнена в рамках проекта или целевой программы, финансируемого(ой) из государственного бюджета

2) Диссертация выполнена в рамках другой государственной программы индустриально-инновационного развития Республики Казахстан на 2020-2025 годы.

3) Диссертация соответствует приоритетному направлению развития науки, утвержденному Высшей научно-технической комиссией при Правительстве Республики Казахстан (указать направление)

### 2. Важность для науки:

Работа вносит/не вносит существенный вклад в науку, а ее важность хорошо раскрыта/не раскрыта

### 3. Уровень самостоятельности:

1) Высокий 2) Средний 3) Низкий 4) Самостоятельности нет

### 4. Принцип внутреннего единства

1) Актуальность обоснована/содержание диссертации отражает тему диссертации/цель и задачи соответствуют теме диссертации

2) Актуальность частично обоснована/содержание диссертации частично отражает тему диссертации/ цель и задачи частично соответствуют теме диссертации

3) Актуальность не обоснована/содержание диссертации не отражает тему диссертации/ цель и задачи не соответствуют теме диссертации

### 5. Принцип научной новизны

5.1 Научные результаты и положения являются новыми?

1) полностью новые;

2) частично новые (новыми являются 25-75%);

3) не новые (новыми являются менее 25%)

5.2 Выводы диссертации являются новыми?

1) полностью новые;

2) частично новые (новыми являются 25-75%);

3) не новые (новыми являются менее 25%)

5.3 Технические, технологические, экономические или управленческие решения являются новыми и обоснованными:

1) полностью новые;

2) частично новые (новыми являются 25-75%);

3) не новые (новыми являются менее 25%)

### 6. Обоснованность основных выводов:

Все основные выводы основаны/не основаны на весомых с научной точки зрения доказательствах либо достаточно хорошо обоснованы

## **7. Основные положения, выносимые на защиту**

### **7.1 Доказано ли положение?**

1) доказано 2) скорее доказано 3) скорее не доказано 4) не доказано

### **7.2 Является ли новым?**

1) да 2) нет

### **7.3 Уровень для применения?**

1) узкий 2) средний  3) широкий

## **8. Достоверность источников и предоставляемой информации**

**8.1 Выбор методологии - обоснован или методология достаточно подробно описана:**

1) да 2) нет

**8.2 Результаты диссертационной работы получены с использованием современных методов научных исследований и методик обработки и интерпретации данных с применением компьютерных технологий**

1) да 2) нет

## **9. Принцип практической ценности**

### **9.1 Диссертация имеет теоретическое значение**

1) да 2) нет

**9.2 Диссертация имеет практическое значение и существует высокая вероятность применения полученных результатов на практике**

1) да 2) нет

### **9.3 Предложения для практики являются новыми?**

- 1) полностью новые;  
2) частично новые (новыми являются 25-75%);  
3) не новые (новыми являются менее 25%)

## **10. Качество написания и оформления**

- 1) высокое;  
2) среднее;  
3) ниже среднего;  
4) низкое.

**11. Уровень внедрения (использования) результатов диссертаций, имеющей прикладное значение**

1) на международном уровне (проданы лицензии, получены международные гранты);

2) на межотраслевом уровне

3) в масштабах отрасли

4) в рамках организаций

**12.Рекомендации по расширенному использованию результатов диссертаций, имеющих прикладное значение**

- 1 требует расширенного использования
- 2 не требует расширенного использования

**Председатель Диссертационного совета по металлургии, обогащению, материаловедению и наноматериалам, доктор технических наук**



**Кенжалиев Б.К.**

**Ученый секретарь Диссертационного совета по металлургии, обогащению, материаловедению и наноматериалам, кандидат физико-математических наук**

**Мамаева А.А.**