

**Название работы:** Технологические особенности обогащения клинкера цинкового производства ОАО «Электроцинк»

**Авторы работы:** Ю.С. Кривоносов, М.Г. Видуецкий, С.В. Мамонов, Р.Л. Габдулхаев

**Место публикации:** Сборник статей «Третья молодежная научно-практическая конференция «Профессиональные знания и навыки молодежи – будущий капитал Компании»

**Год публикации:** 2008 г.

**Место публикации:** Официальный каталог II Уральского горнопромышленного форума «Горное дело. Оборудование. Технологии» (г. Екатеринбург)

**Год публикации:** 2007 г.

**Место публикации:** Сборнике материалов 4-ой Международной научной школы молодых ученых и специалистов «Проблемы освоения недр в XXI веке глазами молодых» (ИПКОН РАН, г. Москва)

**Год публикации:** 2007 г.

**Место публикации:** Горный журнал, выпуск № 12

**Год публикации:** 2007 г.

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ОБОГАЩЕНИЯ КЛИНКЕРА ОАО «ЭЛЕКТРОЦИНК»

С.В. Мамонов, Ю.С. Кривоносов, М.Г. Видуецкий, Р.Л. Габдулхаев  
ОАО «Уралмеханобр», Екатеринбург

В условиях современной экономики России, с целью получения дополнительных объемов выпускаемой продукции, в переработку вводятся богатые по содержанию меди, золота, серебра техногенные образования металлургического производства. Одним из таких видов сырья является клинкер Владикавказского завода «Электроцинк».

Клинкеры являются побочным продуктом вельцевания цинковых кеков. В свою очередь последние являются отходами выщелачивания обожженных сульфидных цинковых концентратов, получаемых методом флотации.

В зависимости от состава исходного сырья клинкеры содержат 0,5-6 % меди; 0,5-2 % цинка; 0,5-1,5 % свинца; 15-40 % железа; 3-7 % серы; 15-20 % углерода; 1-5 г/т золота и 50-450 г/т серебра.

По вещественному составу клинкеры состоят из сульфидной части (сульфиды меди, железа, свинца и цинка), силикатной части, содержащей оксидные соединения кремния, кальция и алюминия с незначительным количеством меди, цинка и железа, металлической части (неуглеродный железистый сплав) и углеродной части – коксовой мелочи. Сульфидная и силикатная составляющие содержат «растворенное» металлическое железо. Железо в клинкерах представлено металлом и ферритами. В штейновой (железистой) фазе клинкера, в основном, содержатся сульфидная и металлическая части; в нем концентрируется основная часть железа, меди и благородных металлов. Шлаковая часть клинкера состоит из силикатов аллита, муллита, фаялита и стекла состава  $\text{CaAlSiO}_3$ . Здесь же концентрируется и мелкая часть коксика.

Клинкер характеризуется угловатой формой гранул с шероховатой поверхностью. Это скопления кокса, шлака, сульфидов и металлического железа. Гранулы более 5 мм представляют собой сростки кокса со шлаком, штейном и металлическим железом. Металлическое железо выделяется из штейна в виде округлых зерен размером до 1-0,1мм, сульфидно-металлические скопления – в виде окатышей размером 2-4мм. Мелкозернистая часть клинкера (класс минус 5 мм) содержит небольшое количество сростков коксика с другими фазами. Основная часть коксика в клинкере находится в виде свободных зерен крупностью менее 2 мм.

Клинкеры представляют собой зернистый материал крупностью 50-0мм с м.д. класса +25 мм 10 и более %, а – 1 мм до 20%.

Основные компоненты по классам крупности распределяются пропорционально выходам классов, за исключением углерода, который концентрируется (на 81,4 %) в классах менее 6 мм, в классе плюс 25 мм содержание его составляет величину, равную 2,5 %. Золото, в основном, ассоциирует с железом и на 64,2 % концентрируется в классе крупности -25+6 мм (в классе крупности 25-0 мм концентрация составляет 91,2 %), а концентрация железа в данном классе составляет величину равную 61,7 % (91,4 % в классе 25-0 мм). Серебро ассоциирует как с железом, так и с медью. По аналогии с золотом и

железом, серебро и медь концентрируется в классе -25+6 мм, соответственно, на 50,8 % и 51,8 % (в классе крупности 25-0 мм концентрация серебра и меди составляет 92,4 % и 92 % соответственно). Таким образом, класс крупности 25-0 мм можно считать основным продуктом для дальнейшего обогащения.

В настоящее время известен ряд методов обогащения клинкера, основными из которых является флотация, магнитная сепарация и отсадка и совокупность этих методов.

Флотационно-магнитное обогащение клинкера включает в себя: угольную флотацию, медную флотацию угольных хвостов и магнитную сепарацию хвостов медной флотации.

Недостатком схемы флотационно-магнитного обогащения является тот факт, что данная технология требует тонкого измельчения трудноизмельчаемого железосодержащего клинкера, большого расхода токсичных реагентов, большего времени флотации.

Гравитационно-флотационное обогащение включает в себя выделение углеродсодержащей части клинкера в надрешетный продукт и флотационную доводку подрешетного продукта с целью извлечения из него меди и драгоценных металлов.

Данная схема вызывает необходимость применения многостадийного измельчения и обогащения и, как следствие, приводит к обводнению и ухудшению процесса флотации; требует повышенных расходов реагентов и продолжительного времени. При этом получить хвосты с м.д. меди менее 1,5% весьма затруднительно.

Схема переработки клинкера, применяемая на Текелийской обогатительной фабрике (Казахстан) предусматривает дробление клинкера до 10-0мм, остатку с выделением коксика с последующей его флотационной доводкой. После 2-х стадийного измельчения тяжелой фракции производится мокрая магнитная сепарация с выделением магнитной фракции, которая разделяется флотацией на медный и железный концентраты. Из немагнитной фракции после доизвлечения угля флотацией извлекается 2-й медный концентрат.

Недостатком этой схемы является применение магнитной сепарации после весьма тонкого измельчения, а также угольной флотации из немагнитной фракции с применением реагентов с весьма высокими расходами.

Несмотря на многообразие схем обогащения клинкера достигнуты при этом невысокие показатели обогащения, все схемы затратны, требуют больших расходов реагентов и тонкого измельчения (до 87% -0,074мм) обогащаемого материала.

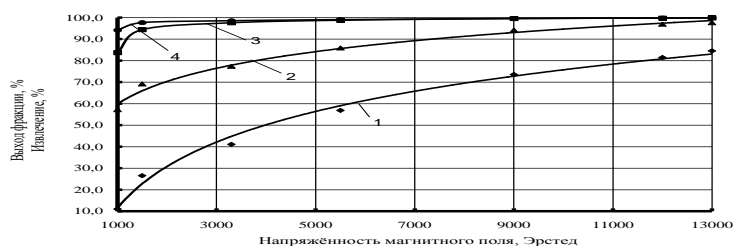
В институте «Уралмеханобр» разработана технология переработки клинкера с применением в «голове» схемы сухой магнитной сепарации, позволяющей выделить железосодержащую фракцию в естественном «природном» виде без применения процессов дезинтеграции (измельчения).

По разработанной магнито- гравитационно-флотационная схеме возможно получение продукта содержащего железо, медь и благородные металлы, который направляется в пирометаллургический передел и углеродсодержащего продукта, возвращаемого в процесс вельцевания.

Схема обогащения клинкера является, по мнению авторов, наиболее рациональной и обеспечивающей высокие технологические показатели

обогащения при высоком экономическом эффекте, а также улучшение экологической обстановки в районе размещения предприятия.

Исходный клинкер при напряженности поля от 0 до 13 тыс. Эрстед (0-1040 кА/м) был подвергнут магнитному анализу, результаты которого приведены на рисунках 1 и 2.



1 – суммарный выход магнитной фракции, 2 – зависимость извлечения углерода от напряженности магнитного поля; 3 – зависимость извлечения меди и серебра от напряженности магнитного поля, 4- – зависимость извлечения железа и золота от напряженности магнитного поля

Рисунок 1 – График зависимости выхода и извлечения основных элементов в магнитную фракцию от напряженности магнитного поля

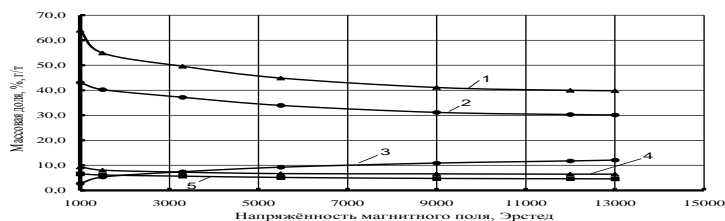


Рисунок 2 – График зависимости массовой доли железа (1), серебра x10 г/т (2), углерода (3), золота (4), меди (5) в магнитной фракции от напряженности магнитного поля

Из данных, приведенных на рисунке 1 следует, что с увеличением напряженности магнитного поля наблюдается снижение массовой доли металлов в магнитной фракции и повышение массовой доли углерода. Это объясняется тем, что при малой напряженности магнитного поля в магнитную фракцию переходит железистая часть клинкера, обладающая магнитными свойствами, и, как следствие, связанная с ней медь и благородные металлы. Коксик (углеродистая составляющая) при увеличении напряженности магнитного поля переходит в магнитную фракцию в связи с тем, что тесно связан со шлаковой частью, обладающей слабомагнитными свойствами.

Таким образом, магнитное обогащение обеспечивает эффективное разделение клинкера. Оптимальные показатели обогащения достигаются при напряженности магнитного поля в пределах 1500 Э (120 кА/м). При этом извлечение меди в магнитную фракцию составляет 94,2%, золота 97,7% и серебра 94,4%. Указанная напряженность является оптимальной для обогащения клинкера Владикавказского цинкового завода методом магнитной сепарации.

На основании результатов магнитного анализа были проведены исследования на обогатимость клинкера (массовая доля железа в исходном клинкере составила величину, равную 41,2 %, меди - 4,21 %, углерода - 14,8 %, золота - 5,7 г/т и серебра - 300,0 г/т) методом сухой магнитной сепарации на магнитном сепараторе ПБСЛ-УМ-1234 для сухого обогащения конструкции института Уралмеханобр.

В результате лабораторных исследований по обогащению клинкера методом сухой магнитной сепарации был получен магнитный продукт с массовой долей железа 53,2%, меди 5,42 %, углерода 5,46 %, золота 7,70 г/т и серебра 400 г/т при извлечении 87,1 %, 86,8 %, 24,9 %, 91,1 % и 89,9 % соответственно. Степень концентрации элементов составила величину, равную для железа 1,29, для меди 1,29, для углерода 0,37, для золота 1,35, для серебра 1,33.

В немагнитный продукт извлекается до 75 % углерода. На ряде горно-обогатительных предприятий, перерабатывающих клинкер, выделение коксика в самостоятельный продукт осуществляется посредством флотационного обогащения. Как известно, коксик является мощным сорбентом, вследствие чего, флотационное обогащение немагнитной фракции, до момента выделения коксика в отдельный продукт, проводить нецелесообразно по причине высокого расхода реагентов и продолжительного времени флотации. Коксик из немагнитной фракции эффективнее выделять посредством гравитационного обогащения в углеродсодержащий продукт, а на хвостах гравитации доизвлекать металлы флотацией.

На основании вышеприведённых исследований по сухой магнитной сепарации в текущем году сотрудниками института в тесном сотрудничестве со специалистами завода проведены промышленные испытания технологии переработки клинкера по схеме приведенной на рисунке 3.

Обогатительная установка (рисунок 4) построена силами завода при цехе вельцевания ОАО «Электроцинк» по технологическому регламенту и проекту ОАО «Уралмеханобр» на производительность 5 т/ч по исходному клинкеру. Технологическая схема предусматривает процесс дезинтеграции текущего клинкера крупностью до 100 мм на грохоте ГИТ-32 с выделением подрешётного класса 25-0 мм, который далее подвергается сухой магнитной сепарации на магнитном сепараторе ПБС-90/150 при напряжённости магнитного поля до 1900 Эрстед и скорости вращения барабана 25 об/мин. Магнитный продукт сепаратора объединяется с надрешётным продуктом грохота, В объединенном продукте концентрируется железо, медь, золото и серебро.

В ходе промышленных испытаний технологии обогащения клинкера влажностью 7-9 % и с массовой долей меди 3,2 %, железа – 25 %, углерода – 24,8 %, золота – 5,7 г/т и серебра – 229,7 г/т был получен концентрат с массовой долей меди – 5,5 %, железа – 44,3 %, углерода 5,2 %, золота 9,5 г/т и серебра – 379 г/т при извлечении их 93,2 %, 94,4 %, 24,9 %, 94,9 % и 95,4 % соответственно.

Степень концентрации железа составила величину, равную 1,77, меди - 1,72, углерода - 0,21, золота - 1,67, и серебра - 1,65.

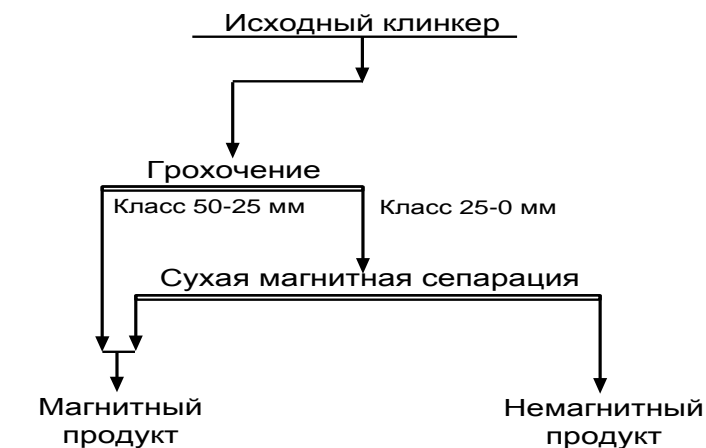


Рисунок 3 - Технологическая схема промышленных испытаний



Рисунок 4 Промышленная обогатительная установка

В целом, по результатам промышленных испытаний можно заключить, что технология сухой магнитной сепарации обеспечивает достижение проектных показателей обогащения, а по извлечению меди, золота и серебра даже превосходит их. Обогащенный продукт, содержащий железо, медь и драгметаллы, рекомендуется для переработки методом пирометаллургии.

Переработка на ОАО «ММСК» обогащенной медью, золотом и серебром магнитной фракции позволяет, а также увеличения объемов переработки медных концентратов предполагает получение дополнительных объемов меди в количестве 7344 т, золота 165 кг и серебра 433 кг в год.

Как отмечалось выше, на немагнитном продукте сепаратора были проведены исследования по доизвлечению углерода методом гравитации, а меди и драгметаллов – флотацией из доизмельченных хвостов гравитации.

В результате гравитационного обогащения на отсадочной машине немагнитной фракции, доизмельченной до размера зерна, не превышающего 1 мм в диаметре, был получен коксик с содержанием углерода до 76 % и извлечением его в углеродсодержащий продукт до 68 %. Потери меди и драгметаллов с коксиком составляют до 16-20 % от операции.

Тяжелая фракция гравитационного обогащения направлялась на флотационные исследования, целью которых являлось доизвлечение металлов. Опыты проводились на материале, измельченном до 80-85 % содержания класса – 0,074 мм.

По результатам флотационных исследований, можно заключить, что из тяжелой фракции методом флотации с одной основной и двумя перечистными операциями может быть получен медный концентрат с выходом 2,5 % от исходного клинкера с м.д. меди 10,6 %, золота – 3,4 г/т и серебра 385 г/т при извлечении от операции соответственно 86,9 %; 64,1 % и 74,2 %.

В результате проведенных исследований была разработана технологическая схема обогащения клинкера, приведенная на рисунке 5.

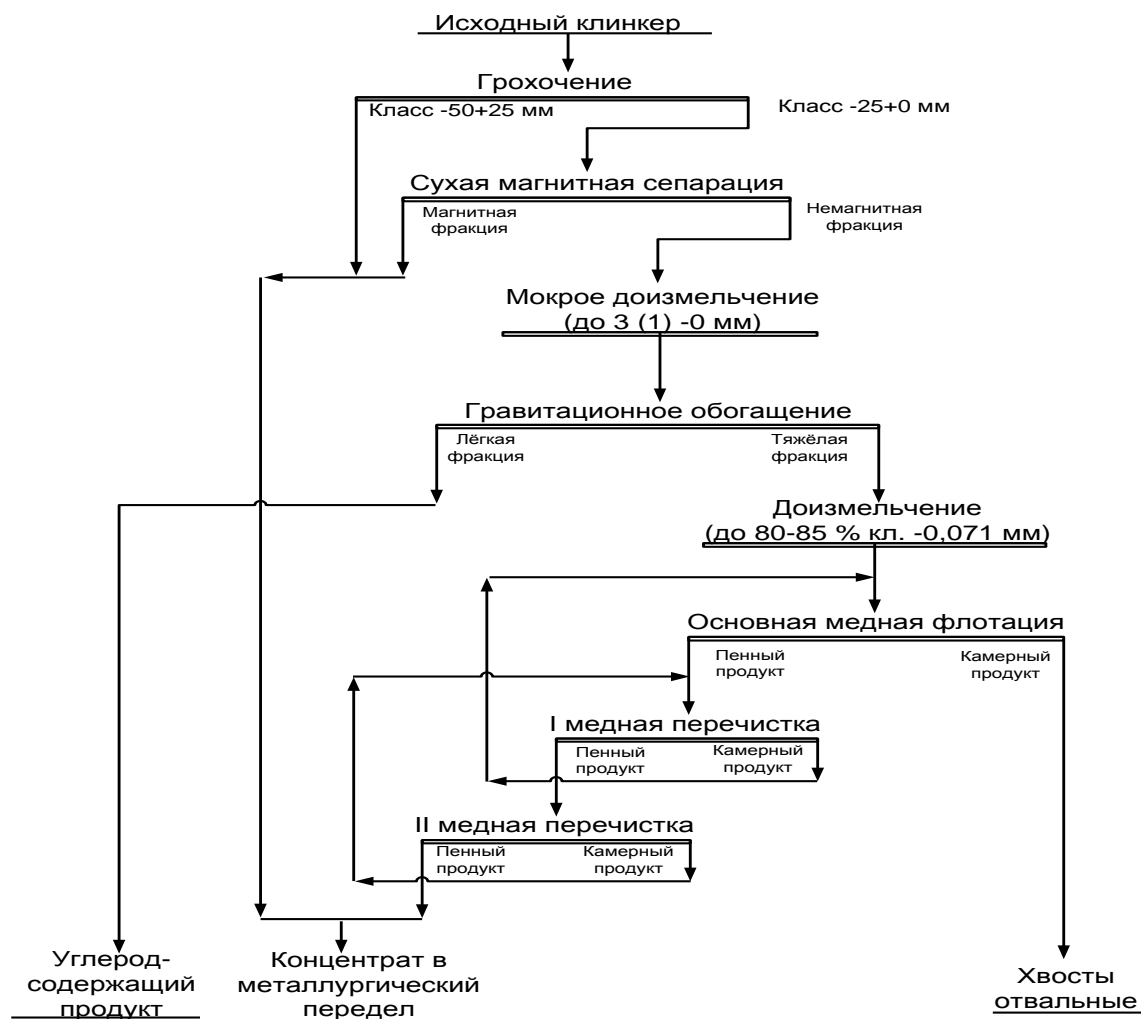


Рисунок 5 – Технологическая схема обогащения клинкера Владикавказского завода ОАО «Электроцинк»

Технологическая схема обогащения включает в себя такие основные процессы, как дезинтеграцию исходного клинкера, сухую магнитную сепарацию подрешетного продукта, гравитационное обогащение немагнитной фракции и флотационное обогащение тяжелой фракции гравитации. Данная схема позволяет достигнуть высокие технологические показатели обогащения, которые приведены в таблице.

Таблица - Технологические показатели обогащения клинкера

Продукты обогащения	Выход, %	Массовая доля					Извлечение, %				
		%			г/т		Fe	Cu	C	Au	Ag
		Fe	Cu	C	Au	Ag					
Магнитный продукт	57,8	57,4	6,3	5,5	9,5	379,0	96,2	91,0	22,5	94,4	91,6
Флотационный концентрат	2,5	27,0	10,6	5,0	3,4	385,0	2,0	6,6	0,9	1,5	4,0
<b>Суммарный концентрат в пирометаллургический передел</b>	<b>60,3</b>	<b>56,1</b>	<b>6,5</b>	<b>5,5</b>	<b>9,2</b>	<b>379,2</b>	<b>98,2</b>	<b>97,6</b>	<b>23,4</b>	<b>95,9</b>	<b>95,6</b>
Углеродсодержащий продукт	12,6	2,4	0,3	76,0	0,2	31,1	0,9	0,9	67,8	0,4	1,6
Хвосты отвалыные	27,1	1,2	0,22	4,6	0,8	25,0	0,9	1,5	8,8	3,7	2,8
Исходный клинкер	100,00	34,5	4,0	14,1	5,8	239,4	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

### Выводы

1. Сухая магнитная сепарация является эффективным методом обогащения клинкера. Она позволяет получить обогащенную по меди и драгметаллам магнитную фракцию при извлечении каждого компонента более 90 %. Этот продукт может использоваться в пирометаллургическом переделе.
2. По результатам промышленных испытаний на ОАО «Электроцинк» можно заключить, что технология сухой магнитной сепарации обеспечивает достижение проектных показателей обогащения и даже превосходит их.
3. Эффективное использование на ОАО «Электроцинк» технологии сухого магнитного обогащения клинкера позволяет получить для ООО «УГМК-Холдинг» более 200 млн. рублей чистой прибыли.
4. Гравитационной доводкой немагнитной фракции выделяется до 68 % углеродсодержащего продукта с массовой долей углерода до 76 % с весьма низкими потерями в нем меди и драгметаллов. Этот продукт может быть использован в виде твердого топлива.
5. Магнито-гравитационно-флотационная схема позволяет получить для пирометаллургического передела продукт с массовой долей железа 56,1 %, меди – 6,5 %, углерода – 5,5 %, золота – 9,2 г/т и серебра 379,2 г/т, при извлечении соответственно 98,2 %, 97,6 %, 23,4 %, 95,9 % и 95,6 %.

## ОТЗЫВ

на статью Мамонова С.В. «Технологические особенности обогащения клинкера цинкового производства ОАО «Электроцинк»

В статье рассмотрены результаты изучения вещественного состава клинкера цинкового производства ОАО «Электроцинк», его технологические свойства, на основании которых автором разработана технология сухого магнитного обогащения.

Промышленное освоение разработанной сухой технологии обогащения, проведенное автором в 2007 г, показало возможность получения двух продуктов: углеродсодержащего (коксик) и магнитной фракции с высокими технологическими показателями обогащения.

В статье показан экономический эффект от внедрения на ОАО «Электроцинк» сухой магнитной сепарации, который составляет в денежном выражении величину равную более 200 млн. рублей в год.

В статье определены основные пути по доизвлечению углерода, меди и драгметаллов. Скомпонована технологическая схема обогащения клинкера, определены основные технологические показатели.

Разработанная автором схема является актуальной для ОАО «Электроцинк» в плане вовлечения в процесс вельцевания коксика получаемого при сухой магнитной сепарации; позволяет получить существенный экономический эффект и сократить объемы клинкера, поступающего на складирование в отвалы и тем самым улучшить экологическую обстановку в районе расположения предприятия.

Разработанная технология может быть успешно внедрена на предприятиях ООО «УГМК-Холдинг» перерабатывающих цинковые концентраты.

Руководитель рабочей группы авторского коллектива, действительный член академии горных наук, заслуженный деятель науки и техники РФ., д.т.н., профессор, член экспертного Совета по рассмотрению Премий правительства России

В.А. Бочаров