

## **ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОЙ ПЕРЕРАБОТКИ СУЛЬФИДНОГО МЕДНО-НИМЕЛЕВОГО БРИКЕТИРОВАННОГО КОНЦЕНТРАТА**

*Ивановская Е.В., Белоглазов И.Н., Голубев В.О.*

*Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)*

*Чумаков Ю.А.*

*Кольская горно-металлургическая компания. Комбинат «Печенганикель»*

За 60 с лишним лет существования электропечного передела в поселке Никель шихта электроплавки много раз изменялась. В 70-80-е годы состав шихты РТП состоял из привозной высокосернистой руды норильских месторождений. В 90-е годы поступление норильской руды на комбинат стало уменьшаться, и шихта РТП все в большей степени стала состоять из руды и окатышей. В настоящее время норильская руда в плавильный цех практически не поступает, и шихта содержит только две главные рудные составляющие.

В условиях значительного сокращения объемов переработки норильской руды на комбинате «Печенганикель» снизился общий объем производства, неблагоприятная экологическая ситуация в регионе поставила задачу сокращения выбросов сернистого газа, образующегося на стадии обжига окатышей. Решением этой проблемы является замена существующей плавки руды и обожженных окатышей на плавку брикетов.

Планируемое радикальное изменение состава сырья электроплавки, неизбежно внесет весьма существенные изменения в технологию, так как высушенные брикеты, полученные из концентрата обогатительной фабрики как по своему химико-минералогическому составу, так и по физическим характеристикам отличаются от перерабатываемой в настоящее время шихты. В результате технология электроплавки должна претерпеть изменения, а определение оптимальных условий ее проведения при работе на новом виде сырья – брикетированном необоженном флотационном концентрате приобретает актуальность.

Физико-химические и энергетические особенности переработки брикетированного концентрата прежде всего сводятся к определению количества и состава продуктов переработки брикетов в РТП, их характеристик, показателей извлечения цветных металлов, удельного расхода электроэнергии на плавку и других параметров [1].

В ходе научно-исследовательских работ, выполненных в Санкт-Петербургском государственном горном институте совместно с техническим отделом комбината «Печенганикель», была разработана модель технологии электроплавки брикетированного концентрата, включающая в себя следующие структурно-смысловые блоки, где рассчитываются:

- 1) вещественные составы исходных материалов;
- 2) количественный состава шихты;
- 3) первичные превращения шихты;
- 4) количественные составы пыли и прочих;
- 5) количественные составы материалов: штейна, шлака и флюса;
- б) количественный состав технологических газов.

При создании блока вещественного состава исходных материалов кроме основного материала – брикетированного концентрата обогатительной фабрики, оборотного конверторного шлака и восстановителя, а также собственной руды и обожженных окатышей, учитывался ряд материалов, поступающих в плавку со стороны, а также собственные обороты. Для большей универсализации модели, анализируя практику работы плавильного цеха, в качестве «сторонних» металлосодержащих материалов в блок были включены «медный» (медно-никелевый) шлак «Североникеля», уфалейский и режский штейны, норильская руда. В блоке также фигурирует кварцевый флюс (песок) [2].

Модель блока количественного состава шихты получена путем простого суммирования масс отдельных компонентов, входящих в исходные материалы электроплавки. При составлении модели учитывалось два возможных варианта проведения технологии: с применением в электроплавке кварцевого флюса с целью получения шлака с заданным содержанием кремнекислоты и без использования флюса с получением самоплавкого шлака.

Все массы исходных металлосодержащих твердых материалов  $m_j$  являются заданными; базовой величиной при этом служит заданная производительность по брикетированному концентрату. Масса потребного флюса, задаваемого в шихту электроплавки (в случае флюсовой плавки), фигурирует в модели количественного состава шихты как неизвестная величина, которая находится в результате решения всей модели итерационно.

Структура блока количественного состава штейна и шлака в определенной степени зависит от того, флюсовой или бесфлюсовой является плавка. В первом случае должно быть задано содержание  $SiO_2$  в шлаке, и масса потребного флюса при этом является задачей определения. Во втором случае содержание кремнекислоты в шлаке находится в результате решения модели.

Модель блока количественных составов штейна и отвального шлака РТП базируется на детерминированном учете механизма штейно- и шлакообразования и на количественных соотношениях, в большинстве своем достаточно надежно характеризующих технологию электроплавки медно-никелевой шихты на слабометаллизированный штейн. В качестве базовых неизвестных величин, подлежащих определению в модели, приняты массы получаемых штейна и шлака. В варианте флюсовой плавки к ним добавляется масса потребного

флюса. От значений этих базовых неизвестных зависят массы всех компонентов, входящих в штейн, шлак и флюс. Эти массы в большинстве случаев определяются через массовые содержания (концентрации) компонентов в штейне, шлаке и флюсе. Причем в последнем концентрации известны из его вещественного состава, а для штейна и шлака – назначается или определяются особо.

Поскольку пылеунос при рудной электроплавке медно-никелевой шихты целиком представлен чисто механическим уносом, вопрос распределения цветных металлов при плавке сводится к их распределению лишь между штейном и шлаком. При этом он может быть полностью описан через содержание цветных металлов в шлаке.

Для определения зависимостей содержания цветных металлов в шлаке по известной методике многофакторного корреляционного регрессионного анализа были обработаны результаты заводских аналитических определений содержаний никеля, меди, кобальта, кремнекислоты, оксида магния в шлаках и железа в штейнах (рис. 1-6).

На основании проведенной обработки данных установлено, что для оценочных расчетов потерь цветных металлов (никеля, меди и кобальта) с отвальным шлаком можно использовать регрессионные зависимости вида:

$$(Ni)^{шт} = 0,79 - 1,15 \cdot 10^{-2} \cdot (SiO_2)^{шт} - 3,54 \cdot 10^{-3} \cdot (Fe)^{шт} \quad (1)$$

$$(Co)^{шт} = 0,446 - 7,69 \cdot 10^{-3} \cdot (SiO_2)^{шт} - 1,53 \cdot 10^{-3} \cdot (MgO)^{шт} - 1,23 \cdot 10^{-3} \cdot (Fe)^{шт} \quad (2)$$

$$Cu^{шт} = 0,398 - 6,15 \cdot 10^{-3} \cdot (Fe)^{шт} \quad (3)$$

Можно полагать, что в диапазоне значений  $(Fe)^{шт}$  38 – 50 % эта зависимость имеет для меди определяющее значение.

В модели данные по распределению цветных металлов между штейном и шлаком представлены найденными выше регрессионными уравнениями, определяющими концентрацию никеля, кобальта и меди в шлаках РТП в зависимости от главных влияющих на них факторов – содержания железа в штейне и кремнекислоты в шлаке. Указанные уравнения позволяют определить массы цветных металлов в шлаке, а через них и массы этих металлов в штейнах [3].

Поступление в электроплавку оборотного конвертерного шлака не позволяет при моделировании технологии электроплавки ограничиться моделью только самой электроплавки, так как количество и состав поступающего в плавку конвертерного шлака в этом случае не могут быть обоснованы. Для решения этой задачи была разработана т.н. сквозная модель плавильного цеха, которая в данных условиях представлена двумя взаимосвязанными переделами – электроплавкой и конвертированием.

В сквозной модели взаимосвязь указанных переделов выражается в увеличении базовых неизвестных: помимо масс штейна, отвального шлака и электропечного флюса в сквозной модели должны фигурировать конвертерный шлак, файнштейн и конвертерный флюс. Все эти составляющие и формируют систему уравнений сквозной модели.

В модели конвертирования технологический процесс условно разбивается на короткие продувки равной заданной продолжительности. Для каждой продувки рассчитывается состав сульфидной массы и для нее – состав и количество шлака. Эти просчеты делаются вплоть до получения файнштейна. Суммированием масс шлака и его компонентов по всем продувкам определяются масса и средний состав всего конвертерного шлака. В таком виде модель технологии конвертирования увязана с моделью электроплавки. Вместе они составляют сквозную модель плавильного цеха.

По описанной модели была составлена компьютерная программа на языке программирования Turbo Pascal 7.1. Она позволяет варьировать в широких пределах состав исходного сырья плавильного цеха как по массам отдельных его составляющих, так и по химическому составу последних. Кроме того, в исходных данных можно изменять те величины, которые задаются в зависимости от конкретных особенностей сырья или технологии процесса – соотношение в содержании отдельных минералов рудной части шихты, расход восстановителя, металлизацию штейна, содержание прочих в штейне и файнштейне и т.д. [2].

Сравнение показывает, что при плавке брикетов данного состава количество штейна РТП оказывает примерно таким же, что и при существующей технологии, даже несколько меньшим, при этом штейн при плавке брикетов несколько богаче в сумме цветными металлами, что объясняется значительно более высоким содержанием в нем меди при соизмеримых содержаниях никеля.

При плавке брикетов масса шлака оказывается несравненно меньшей, чем при переработке руды и окатышей. Содержания цветных металлов в обоих шлаках практически одинаковы, но за счет меньшей массы шлака количество теряемых с ним всех цветных металлов гораздо меньше. По содержанию основных шлакообразующих оба шлака довольно близки. При одинаковом содержании кремнекислоты (что задано в исходных данных) содержание вюстита в «брикетном» шлаке примерно на 5% выше, чем в существующем, а содержание представляющего особый интерес оксида магния – в первом на 2,7% выше.

Обращает на себя внимание тот факт, что несмотря на резко уменьшенный выход шлака при плавке брикетов количество необходимого флюса в этом случае снижается незначительно. Это является, конечно, следствием менее «кислого» состава брикетов в сравнении с существующей шихтой. Очевидно, что при плавке брикетов бесфлюсовая плавка, которую

недавно практиковал плавцех, вряд ли целесообразно, т.к. приведет к получению заметно более основных шлаков.

Так же в модели предусмотрен расчет шлака, который получился бы, если бы не было конвертерного шлака. При существующей шихте такой «собственный» шлак получается заметно менее железистым (что естественно) и значительно более магниальным (свыше 22 % MgO вместо примерно 11 %). При этом, однако, он остается, хотя и более тугоплавким, чем обычный, но всё же без особых проблем проплавляемым в РТП (в своё время на «Североникеле» РТП работали и на более магниальных шлаках – до 25 % MgO).

Совершенно иная картина наблюдается при плавке брикетов: «собственный» шлак (без конвертерного) содержит свыше 47 % MgO, т.е. по сути дела представляет собой почти сплошной двухмагнезиевый силикат (при 37,6 % SiO<sub>2</sub>) – оливин, имеющий температуру плавления выше 1700 °С, что делает его совершенно неприемлемым для плавки в РТП.

Возвращаясь к сопоставлению технологии плавки существующей шихты и плавки брикетов, отметим, что на конвертерном переделе рассматриваемое изменение состава шихты РТП хотя сказывается и не очень значительно, но, в общем, в неблагоприятную сторону. Количество штейна в случае брикетов несколько меньше, чем при существующей шихте, и этот штейн более богатый, содержит заметно меньше железа. Таким образом, переход на плавку брикетов не только не повысит тепловые резервы конвертеров, но и приведет к их заметному уменьшению.

Выход фанштейна и массы всех цветных металлов в нем при плавке брикетов оказывается значительно выше, чем при существующей шихте. Соответственно, заметно возрастает и сквозное извлечение металлов по цеху. Особенно резкий рост извлечения получается по кобальту; его значение (74,42 %) далеко выходит за привычные рамки. Вместе с тем, при расчете переработки существующей шихты полученное сквозное извлечение кобальта (58,64 %), хотя и является высоким, но укладывается в общий диапазон.

Учитывая вышесказанное, можно утверждать, что технологические показатели переработки сульфидного брикетированного медно-никелевого концентрата в плавильном цехе комбината «Печенганикель» выше, чем при действующей технологии.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ивановская Е.В. / Физико-химические особенности переработки брикетированного Cu-Ni концентрата. / Полезные ископаемые России и их освоение. Т. 151. СПГИ(ТУ), 2004 г.
2. Гальнбек А.А., Белоглазов И.Н., Голубев В.О., Калюкина Е.В. Электроплавка брикетированного сульфидного медно-никелевого сырья. СПб: Руда и металлы, 2003.

3. Калюкина Е.В. / Разработка математической модели процесса электроплавки брикетированного сырья / Полезные ископаемые России и их освоение. Т. 146. СПГТИ(ТУ), 2003.

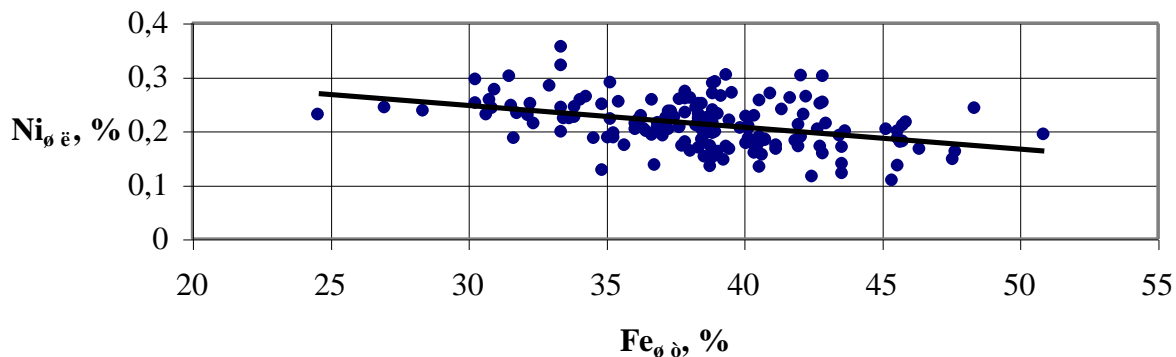


Рис. 1. Зависимость концентрации никеля в шлаке от концентрации железа в штейне

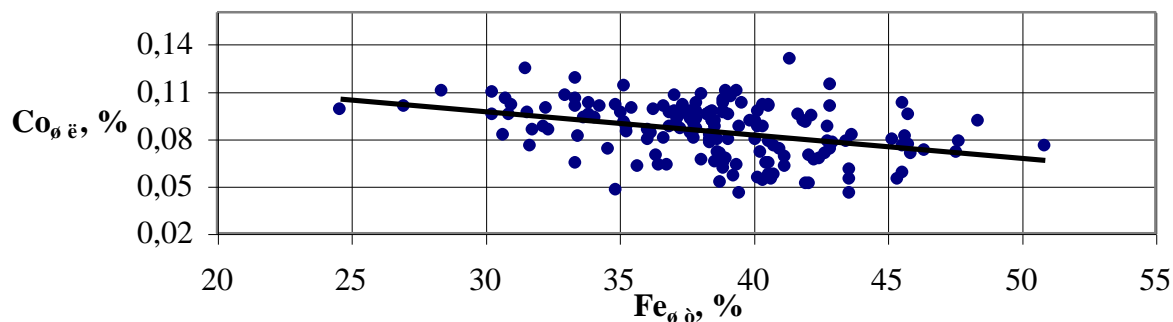


Рис. 2. Зависимость концентрации кобальта в шлаке от концентрации железа в штейне.

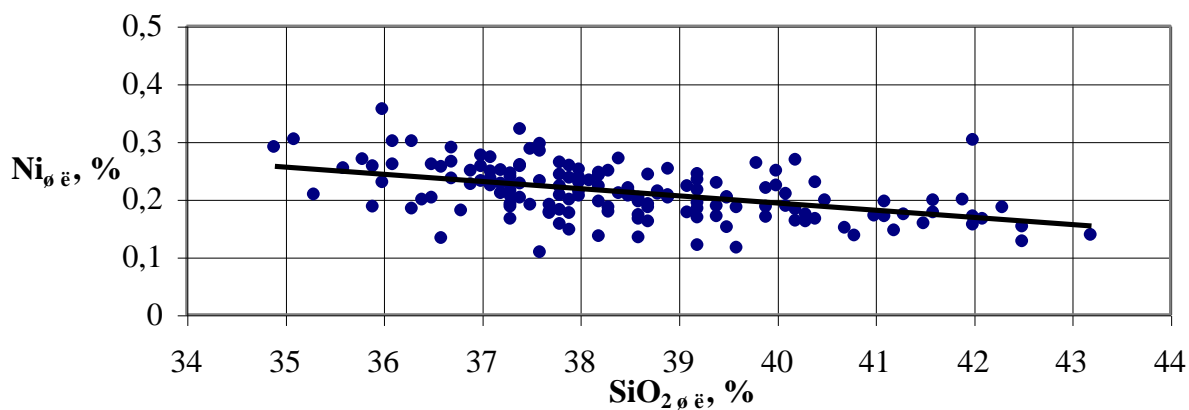


Рис. 3. Зависимость концентрации никеля в шлаке от концентрации кремнезема в шлаке

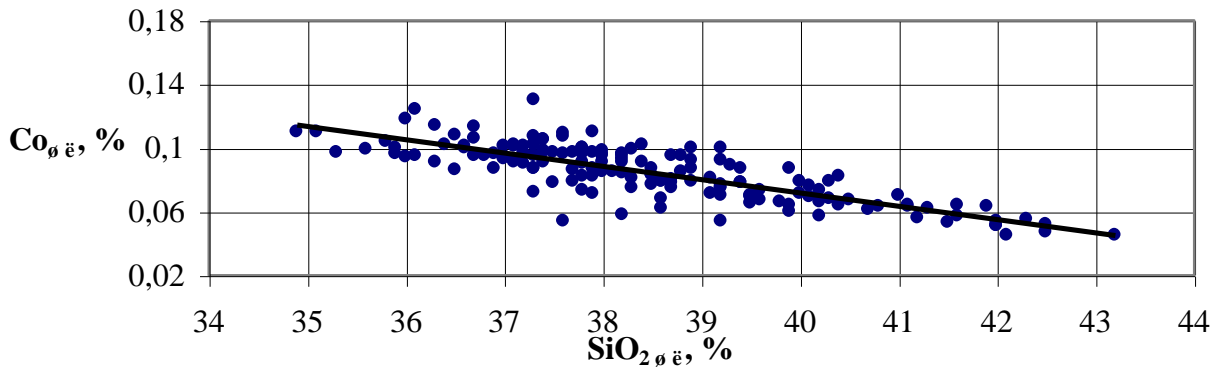


Рис. 4. Зависимость концентрации кобальта в шлаке от концентрации кремнезема в шлаке

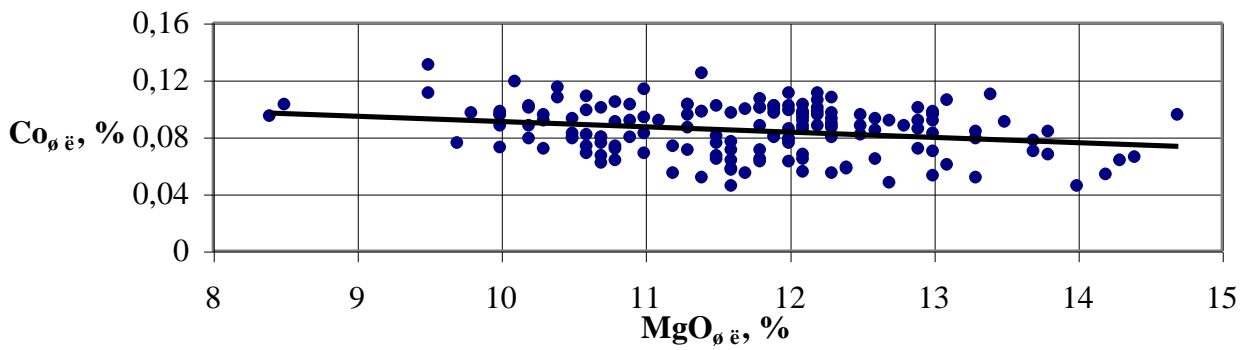


Рис. 5. Зависимость концентрации кобальта в шлаке от концентрации оксида магния в шлаке.

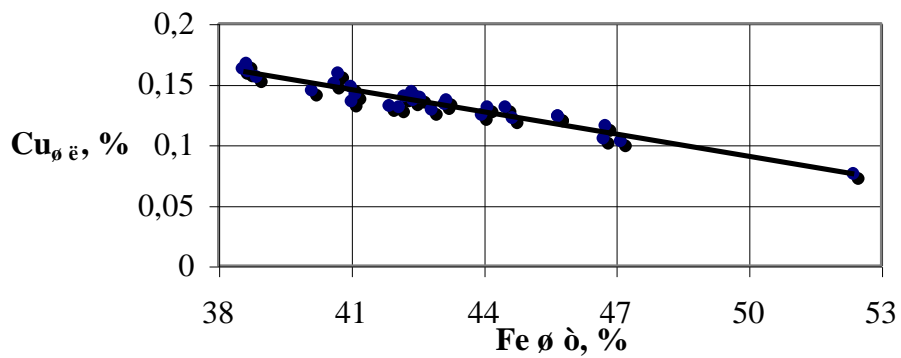


Рис. 6. Зависимость концентрации меди в шлаке от концентрации железа в штейне