

Е.В.ИВАНОВСКАЯ

*Металлургический факультет,  
аспирантка кафедры печей, контроля и автоматизации  
металлургического производства*

## ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ БРИКЕТИРОВАННОГО МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО КОНЦЕНТРАТА

В связи с предстоящим изменением состава сырья, перерабатываемого в рудно-термических печах плавильного цеха комбината «Печеганикель» (ОАО «Кольская ГМК»), переходом на плавку необожженного брикетированного флотоконцентраты проведена оценка содержания цветных металлов в шлаке. Для этого методом корреляционно-регрессионного анализа были обработаны показатели электропечей плавильного цеха за 2000 г. Установлено, что значимыми факторами для оценки концентрации никеля в шлаке являются концентрации  $\text{SiO}_2$  в шлаке и Fe в штейне, а для концентрации кобальта в шлаке – концентрации  $\text{SiO}_2$  и  $\text{MgO}$  в шлаке и концентрация Fe в штейне. Получены регрессионные уравнения, позволяющие рассчитать потери цветных металлов (никеля и кобальта) с отвальным шлаком для новых составов шихты.

With connection to the forthcoming changes in raw materials processed in ore-smelting furnaces of the smelter shop at the Pechenganikel industrial complex (OAO «Kolskaya GMK»), transition to unburned briquette concentrate froth use, – an estimation of non-ferrous metal content in dross is carried out. To achieve this, parameters of electric furnaces of the smelting shop for the 2000 year were studied with application of the cross-correlation-regression analysis. It was established, that significant factors for estimation of nickel concentration in dross are  $\text{SiO}_2$  concentrations in dross and Fe concentrations in matte as well as for cobalt dross concentration –  $\text{SiO}_2$  and  $\text{MgO}$  concentration in dross and Fe concentration in matte. Regression equations to calculate non-ferrous metal losses (nickel and cobalt) in dross are offered for the new fusion mixtures.

Планируемое радикальное изменение состава сырья, направляемого в металлургическое производство в плавильный цех комбината «Печеганикель», – переход на переработку брикетированного концентрата – неизбежно внесет весьма существенные изменения в технологию цеха. Прежде всего, эти изменения затронут головной передел – рудную электроплавку. Главная составляющая будущей шихты рудно-термических печей (РТП) – высушенные брикеты, полученные из концентрата обогатительной фабрики, – по своему химико-минералогическому составу и физическим характеристикам резко отличается от основных металло-содержащих составляющих шихты, перерабатываемой в настоящее время, – смеси руды и обожженных окатышей. Это потребует существенного изменения условий проведе-

ния технологического процесса электроплавки.

Определение физико-химических особенностей переработки брикетированного концентрата, прежде всего, сводится к расчету количества и состава продуктов плавки брикетов в РТП, показателей извлечения цветных металлов.

Как показывает опыт, наиболее неопределенным вопросом является распределение цветных металлов между продуктами плавки. Уровень развития металлургической науки в настоящее время таков, что дать количественную оценку всем этим вопросам, исходя из теоретических представлений, не удается, поэтому почти целиком приходится ориентироваться на заводскую практику. Для разработки модели технологии был решен вопрос количественного описания распределения цветных металлов меж-

ду продуктами при плавке брикетов с тем, чтобы это описание заложить в содержание модели.

Поскольку пылеунос при рудной электроплавке медно-никелевой шихты целиком представлен чисто механическим уносом, вопрос распределения цветных металлов сводится к их распределению между штейном и шлаком. При этом он может быть полностью описан через содержание цветных металлов в шлаке, так как наличие в структуре модели зависимостей, определяющих это содержание, «автоматически» делает известным и содержание металлов в штейне. Поэтому в работе рассматривается именно содержание металлов в шлаке.

Из теории и практики электроплавки медно-никелевого сульфидного сырья известно, что главными факторами, определяющими переход цветного металла (никеля, кобальта и меди) в шлак, являются содержания их в штейне, содержание кремнекислоты в шлаке, металлизация штейна, температура. Действуя в совокупности, эти факторы обуславливают весьма сложную картину перехода цветных металлов в шлак. Она еще больше осложняется ввиду влияния других факторов: содержания в шлаке других (помимо кремнекислоты) шлакообразующих, электрических параметров плавки, состояния ванны (высоты слоя шлака, заглубления электродов, системы загрузки печи шихтой, выпуска шлака и др.).

Учитывая все эти моменты, при проведении работы в первую очередь необходимо выявить влияние наиболее значимых факторов на содержание цветных металлов в шлаке, определить наиболее важные зависимости, характеризующие это содержание, и построить соответствующие статистические зависимости. При этом, что следует особо подчеркнуть, все используемые для анализа заводские данные никак не могли прямо относиться к плавке брикетированного концентрата, которой пока не существует. Вместе с тем будущие брикеты по соотношениям содержания металлов и шлакообразующих в общем отвечают диапазону колебаний этих содержаний в нынешнем сырье. Поэтому зависимости, полученные для ны-

нешнего сырья, могут, как представляется, быть использованы и для модели плавки брикетов.

При выполнении этого этапа работы основное внимание было уделено анализу данных плавильного цеха за 2000 г. Для этого были взяты результаты заводских анализов сменных проб содержания никеля, кобальта, кремнекислоты и оксида магния в шлаках, а также железа в штейнах. В общей сложности были обработаны данные примерно по 160 пробам, чего вполне достаточно для выявления значимых зависимостей. По известной методике был выполнен многофакторный корреляционно-регрессионный анализ, в результате которого обоснована взаимосвязь факторов, влияющих на концентрацию элементов в шлаке и штейне.

Статистическая обработка указанных данных включала в себя следующие операции: определялись математические ожидания концентраций элементов в шлаке и штейне, вычислялась дисперсия концентраций, определялись нормированные значения концентраций, устанавливались парные коэффициенты корреляции, производилась оценка значимости парных коэффициентов корреляции, составлялись корреляционные матрицы для концентрации никеля и кобальта в шлаке, определялись миноры корреляционной матрицы, вычислялись частные коэффициенты корреляции, оценивалась значимость частных коэффициентов корреляции.

Полученные данные относительно значимости парных коэффициентов корреляции показали, что зависимости между содержанием никеля и оксида магния в шлаке, содержанием железа в штейне и диоксида кремния в шлаке отсутствуют (последнее, в общем, самоочевидно и определялось для контроля). Данные, полученные для коэффициентов корреляции между содержанием железа в штейне и оксидом магния в шлаке, а также содержанием диоксида кремния и оксида магния в шлаке, показывают, что все эти величины зависят от состава перерабатываемого сырья, а не друг от друга. Формально необходимо учитывать все зна-

чения полученных парных коэффициентов корреляции при оценке частных корреляционных коэффициентов.

По результатам оценки этих коэффициентов для никеля сделаны следующие выводы:

1) при постоянной концентрации железа в штейне и оксида магния в шлаке концентрация никеля в шлаке зависит от концентрации диоксида кремния в шлаке, коэффициент корреляции отрицательный (т.е. при увеличении концентрации  $\text{SiO}_2$  в шлаке потери никеля уменьшаются, что согласуется с данными практики);

2) при постоянной концентрации железа в штейне и диоксида кремния в шлаке концентрация никеля в шлаке не зависит от концентрации оксида магния в шлаке;

3) при постоянной концентрации диоксида кремния и оксида магния в шлаке концентрация никеля в шлаке зависит от концентрации железа в штейне, коэффициент корреляции отрицательный (т.е. при увеличении концентрации железа в штейне потери никеля уменьшаются, что согласуется с данными практики).

По результатам оценки коэффициентов частной корреляции для кобальта сделаны следующие выводы:

1) при постоянной концентрации железа в штейне и оксида магния в шлаке концентрация кобальта в шлаке зависит от концентрации диоксида кремния в шлаке, коэффициент корреляции отрицательный (т.е. при увеличении концентрации  $\text{SiO}_2$  в шлаке потери кобальта уменьшаются, что согласуется с данными практики);

2) при постоянной концентрации железа в штейне и диоксида кремния в шлаке концентрация кобальта в шлаке зависит от концентрации оксида магния в шлаке, коэффициент корреляции положительный (т.е. при увеличении концентрации  $\text{MgO}$  в шлаке потери кобальта увеличиваются);

3) при постоянной концентрации диоксида кремния и оксида магния в шлаке концентрация кобальта в шлаке зависит от концентрации железа в штейне, коэффициент корреляции отрицательный, т.е. при увели-

чении концентрации железа в штейне потери кобальта уменьшаются, что согласуется с данными практики.

По результатам анализа частных коэффициентов корреляции сделан вывод, что на потери никеля с отвальным шлаком наибольшее влияние оказывает концентрация  $\text{SiO}_2$  в шлаке при неизменных значениях концентраций  $\text{MgO}$  в шлаке и  $\text{Fe}$  в штейне; на потери кобальта с отвальным шлаком наибольшее влияние оказывает концентрация железа в штейне при неизменных концентрациях  $\text{SiO}_2$  и  $\text{MgO}$  в шлаке.

По результатам оценки значимости частных коэффициентов корреляции сделан вывод, что значимыми факторами, влияющими на концентрацию никеля в шлаке, являются концентрации  $\text{SiO}_2$  в шлаке и  $\text{Fe}$  в штейне, а на концентрации кобальта в шлаке сказываются концентрации  $\text{SiO}_2$  и  $\text{MgO}$  в шлаке и концентрация  $\text{Fe}$  в штейне. Далее находили значения коэффициентов регрессии, входящих в выражения для определения потерь цветных металлов со шлаком.

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

$$(\text{Ni})^{\text{шл}} = \\ = 0,79 - 1,15 \cdot 10^{-3} (\text{SiO}_2)^{\text{шл}} - 3,54 \cdot 10^{-3} (\text{Fe})^{\text{шт}};$$

$$(\text{Co})^{\text{шл}} = 0,446 - 7,69 \cdot 10^{-3} (\text{SiO}_2)^{\text{шл}} - \\ - 1,53 \cdot 10^{-3} (\text{MgO})^{\text{шл}} - 1,23 \cdot 10^{-3} (\text{Fe})^{\text{шт}}.$$

Приведенные результаты статистической обработки заводских данных характеризуют взаимосвязь содержания никеля и кобальта в шлаках с основными определяющими их факторами за сравнительно короткий период работы электропечного передела – один календарный год. За этот период набор шихты РТП по основным шихтовым материалам изменялся незначительно, а его основу составляли собственная «богатая» руда и обожженные окатыши.

Научный руководитель д.т.н. проф. К.П. Власов