УДК 669.2:518:669.053.2

Е.В.КАЛЮКИНА
Металлургический факультет,
аспирант кафедры печей, контроля
и автоматизации металлургического производства

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОПЛАВКИ БРИКЕТИРОВАННОГО СЫРЬЯ

В связи с переходом на плавку необожженного брикетированного флотоконцентрата в рудно-термических печах плавильного цеха комбината «Печенганикель» (ОАО «Кольская ГМК») представляется целесообразным определение оптимальных условий технологии электроплавки. Разработаны математические модели технологии плавки и технологии цеха в целом и создана компьютерная программа для их решения, проведен сопоставительный анализ показателей технологии на существующем и новом сырье.

In connection with transition on fuse not burnt bricketed floatation a concentrate in ore-thermal ovens fuse department of combine «Pechenganikel» (The open joint-stock company Kola mountain metallurgical company), it is represented to expedient definition of optimum conditions of technology fuse of a new kind of raw material. In work the mathematical models of technology fuse and technology of shop as a whole are developed and the computer program for their decision is created, the comparative analysis of parameters of technology on existing and new raw material is carried spent.

Планируемое в настоящее время изменение состава сырья, переход на переработку брикетированного концентрата связаны с существенными изменениями в технологии. Прежде всего, эти изменения затронут головной передел – рудную электроплавку. Главная составляющая будущей шихты рудно-термических печей (РТП) – высушенные брикеты, полученные из концентрата обогатительной фабрики, как по своему химико-минералогическому составу, так и по физическим характеристикам отличаются от основных металлсодержащих составляющих шихты, перерабатываемой в настоящее время: смеси руды и обожженных окатышей. Это потребует существенного изменения условий проведения технологического процесса электроплавки.

Целью настоящей работы является разработка адекватной модели развернутого, поэлементного материального баланса процесса, в котором должны быть представлены все исходные материалы и полученные продукты плавки, анализ полученных при решении этой модели зависимостей, а также разработка на этой основе рекомендаций по осуществлению технологии плавки. Выборкой из этого развернутого баланса является, в частности, баланс цветных металлов и серы, который характеризует главные технико-экономические показатели плавки брикетов в РТП. Без разработки и составления развернутого баланса, прослеживающего поведение всех основных металлов, включая железо, шлакообразующих, серы, газовых составляющих, невозможно аргументированно составить баланс цветных металлов и серы и проанализировать влияние различных факторов на технологические показатели процесса.

Принципиальной особенностью метода моделирования технологии пирометаллургических процессов является обязательный учет в модели вещественного состава материалов и продуктов процесса, поведения в технологическом процессе всех участвующих в нем компонентов (химических элементов) исходных материалов и формирование материального баланса процесса. Такой подход обеспечивает наибольшую достоверность результатов расчетов, выполненных по модели, позволяет обоснованно

судить о влиянии различных факторов на показатели технологического процесса.

Разработанная модель технологии электроплавки брикетированного концентрата включает в себя следующие структурно-смысловые блоки: 1) вещественного состава исходных материалов; 2) количественного состава шихты; 3) первичных превращений шихты; 4) количественных составов пыли и неучитываемых потерь; 5) количественного состава штейна, шлака и флюса; 6) количественного состава технологических газов.

При составлении модели учитывалось два возможных варианта технологии: с применением в электроплавке кварцевого флюса с целью получения шлака с заданным содержанием кремнекислоты и без использования флюса с получением самоплавкого шлака.

Состав и масса конвертерного шлака, направляемого в электроплавку, определяются конечным продуктом самой электроплавки (штейном). Характеристики конвертерного шлака могут быть определены только в результате составления сквозной модели технологии плавильного цеха. Сквозная модель делает состав и массу конвертерного шлака известными и позволяет включить их в блок количественного состава шихты.

Масса потребного флюса, задаваемого в шихту электроплавки (в случае флюсовой плавки), фигурирует в модели количественного состава шихты как неизвестная величина, которую находят в результате решения всей модели. В таком виде модель технологии конвертирования была увязана с моделью электроплавки. Вместе они составляют сквозную модель плавильного цеха.

По описанной модели была составлена программа на языке программирования Turbo Pascal 7,0. 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*.

Выполнен всесторонний анализ изменения технологических показателей плавильного цеха при переходе на новый вид сырья – брикетированный концентрат. Показано, что переход на плавку брикетов с иным химико-минералогическим составом, чем у перерабатываемой на предприятии в настоящее время смеси руды и окатышей, приведет к существенным изменениям технологии. Более высокое содержание сульфидов $NiFeS_2$, $CuFeS_2$ и талька в брикетированном концентрате и меньшее, чем в собственной руде оксидов железа и кремния приведет к заметному изменению состава шлаков. Недостаток оксидного железа и кремнезема сказывается на процессе электроплавки, повышая магнезиальность шлака РТП и увеличивая температуру его плавления. В зависимости от состава брикетов содержание MgO в «собственном» шлаке меняется в широких пределах (от вполне приемлемых 21-23 % до более высоких 28-29 %).

Это предположение проверено на брикетах различного состава, что позволило установить главные факторы, влияющие на содержание MgO в «собственном» шлаке РТП: концентрация серы и оксида магния в исходных брикетах, в связи с чем не рекомендуется плавить брикеты с содержанием серы более 17 % и оксида магния более 10,5 % без заливки жидкого конвертерного шлака.

Установлено, что при содержании кремнезема в брикетах менее 20 % процесс электроплавки можно будет без особых сложностей вести по бесфлюсовой схеме, если при этом будет обеспечено постоянное присутствие конвертерного шлака в ванне электропечи. На сквозных извлечениях цветных металлов это практически не скажется.

---

* Электроплавка брикетированного сульфидного медно-никелевого сырья / А.А.Гальнбек, И.Н.Белоглазов, В.О.Голубев, Е.В.Калюкина. СПб: Руда и металлы, 2002.

Таблица 1

Материальный баланс электроплавки при переработке руды и окатышей

Вещество	Приход				Расход			
	Руда собственная	Обожженные окатыши	Конвертерный шлак	Другие составляющие шихты	Всего	Штейн	Шлак	Всего
Ni	556,8	2419,3	1315,1	710,6	5001,8	4851,2	142,4	5001,8
Cu	253,1	1173,9	1057,9	707,3	3192,2	2974,7	212,3	3192,2
Co	14,4	81,3	138,3	35,5	269,6	208,4	60,8	269,6
S	2632,3	4650,1	1524,2	1247,7	10054,3	8566,9	707,6	10054,3

Таблица 2

Материальный баланс электроплавки при переработке брикетов

Вещество	Приход				Расход		
	Брикеты	Конвертерный шлак	Другие составляющие шихты	Всего	Штейн	Шлак	Всего
Ni	2975,8	1175,5	710,6	4861,9	4767,4	86,5	4861,9
Cu	2623,9	936,9	707,3	4268,1	4140,8	120,3	4268,1
Co	98,8	127,7	35,5	262,0	223,4	38,2	262,0
S	7408,8	1279,67	1238,13	9926,6	7888,6	401,0	9926,6

Количество получаемого электропечного штейна в случае брикетов несколько меньше, чем при существующей шихте, и этот штейн более богатый, содержит заметно меньше железа, откуда следует, что, вопреки ожиданиям, переход на плавку брикетов не только не повысит тепловые резервы конвертеров, но и приведет к их заметному уменьшению (табл.1-4).

Таблица 3

Извлечения при переработке руды и окатышей

Вещество	Продукты		
	электроплавки	конвертирования	общие
Ni	96,99	74,26	96,08
Cu	93,19	70,63	92,03
Co	77,28	38,50	58,53

Таблица 4

Извлечения при переработке брикетов

Вещество	Продукты		
	электроплавки	конвертирования	общие
Ni	98,06	76,60	97,49
Cu	97,02	80,30	96,68
Co	85,28	46,79	74,35

В остальном на переделе изменение состава сырья скажется незначительно. Состав и выход конвертерного шлака при изменении сырья останется практически неизменным. На выходе файнштейна переход на плавку брикетов почти не скажется. В составе файнштейна больший удельный вес будет иметь сульфид меди, а металлической меди, напротив, станет меньше. Снизится и содержание сульфида никеля.

Установлено, что на сквозное извлечение никеля наибольшее влияние оказывает содержание в брикетах Ni, S, SiO_2 (особенно при бесфлюсовой плавке); на сквозное извлечение меди – Ni, Cu; на сквозное извлечение кобальта – Ni, Cu, Co, S, SiO_2, MgO. Извлечения меди, никеля и кобальта для брикетированного концентрата рассмотренных в работе составов весьма высоки (сквозные извлечения по никелю составляют 96,6-97,5 %, по меди – 93,8-96,7 %). Обращает на себя внимание уровень сквозного извлечения кобальта – 71,7-75,0 %, что далеко выходит за привычные рамки.

Суммарный тепловой эффект реакций при переработке руды и окатышей составил $0{,}66 \cdot 10^6$ МДж, при переработке брикетов

$1{,}13 \cdot 10^6$ МДж. При заметном (на 14 %) снижении массы образующегося шлака (а при плавке брикетов с большим содержанием серы выход шлака еще уменьшится) это свидетельствует о некотором увеличении расхода электроэнергии при переходе на плавку брикетов, но в целом этот рост, как ожидается, не будет чрезмерно большим.

Сравнение выполненных по модели расчетов с исходным сырьем, отвечающим существующей практике плавцеха, с отчетными данными плавцеха показывает в целом вполне удовлетворительное совпадение рассчитанных и фактических данных.

Сопоставительный анализ результатов расчета по моделям технологии плавцеха на существующем сырье (по состоянию на 2001 г.) и планируемом брикетированном концентрате (при одинаковой в обоих случаях массах никеля в сырье) показал следующее:

1. Массы получаемого при плавке штейна и в том, и в другом случаях отличаются незначительно (при брикетах масса немного меньше); штейн при плавке брикетов несколько богаче общей массой цветных металлов и, соответственно, содержит меньше железа; разница эта, однако, незначительна (около 4 %).

2. Содержание в отвальном шлаке РТП всех трех цветных металлов при плавке брикетов практически не отличается от плавки существующего сырья; однако в случае брикетов масса шлака весьма значительно (почти в 1,8 раза) уменьшается; в соответствии с этим потери всех цветных металлов со шлаком оказываются значительно ниже.

3. При резкой разнице в количествах состав шлака РТП в обоих случаях отличается незначительно: при плавке брикетов шлак содержит несколько больше железа (на 4 %); разница в остальных шлакообразующих несущественна (до 2,5 %).

4. Масса получаемого при плавке брикетов файнштейна больше, чем при существующем сырье, и, соответственно, он содержит больше цветных металлов (потери которых в отвальном шлаке ниже); в обоих файнштейнах особенно велика разница в количестве меди (примерно в 1,5 раза), что, однако, возможно, объясняется неточностью регрессионного уравнения для меди, вызванной отсутствием на заводе сменных анализов на медь.

5. Масса получаемого при плавке брикетов конвертерного шлака заметно (примерно на 15 %) меньше, чем при существующем сырье; состав их в обоих случаях практически одинаков.

6. Извлечения всех цветных металлов, как передельных, так и сквозных по цеху при плавке брикетов значительно выше, чем при существующей технологии. Существенным моментом, отличающим плавку брикетов от плавки существующего сырья, является получение непосредственно из твердой шихты, составляющей материал шихтовых откосов печи, первичного шлака с весьма высоким (почти до 50 %) содержанием MgO. Окончательный шлак образуется в результате взаимодействия первичного шлака с заливаемым в печь конвертерным шлаком. Без участия в шлаке последнего указанный первичный шлак имеет состав, практически исключающий плавку брикетов в печи, поэтому работа печи недопустима без регулярной заливки конвертерного шлака.

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