УДК 519.713; 519.711:53

Н.В.ДАНИЛОВА, *аспирантка, asutp@spmi.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

N.V.DANILOVA, *post-graduate student, asutp@spmi.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

РАСЧЕТ МАТЕРИАЛЬНЫХ ПОТОКОВ ПИРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЦИКЛА ПЕРЕРАБОТКИ МЕДНОГО СУЛЬФИДНОГО СЫРЬЯ

Рассмотрена технология пирометаллургического цикла переработки медных сульфидных материалов, включающая автогенную плавку в печах Ванюкова, конвертирование медного штейна и огневое рафинирование черновой меди с получением анодной меди. Описаны основные задачи составления модели и принятые допущения. Уравнениями системы модели являются балансовые выражения для каждого из материальных потоков. Найдены выражения для расчета материальных потоков пирометаллургического цикла переработки медного сульфидного сырья.

***Ключевые слова*:** математическое моделирование, материальные потоки, производство меди.

CALCULATION OF MATERIAL STREAMS OF THE PIROMETALLURGICAL CYCLE OF PROCESSING OF COPPER SULPHIDIC RAW MATERIALS

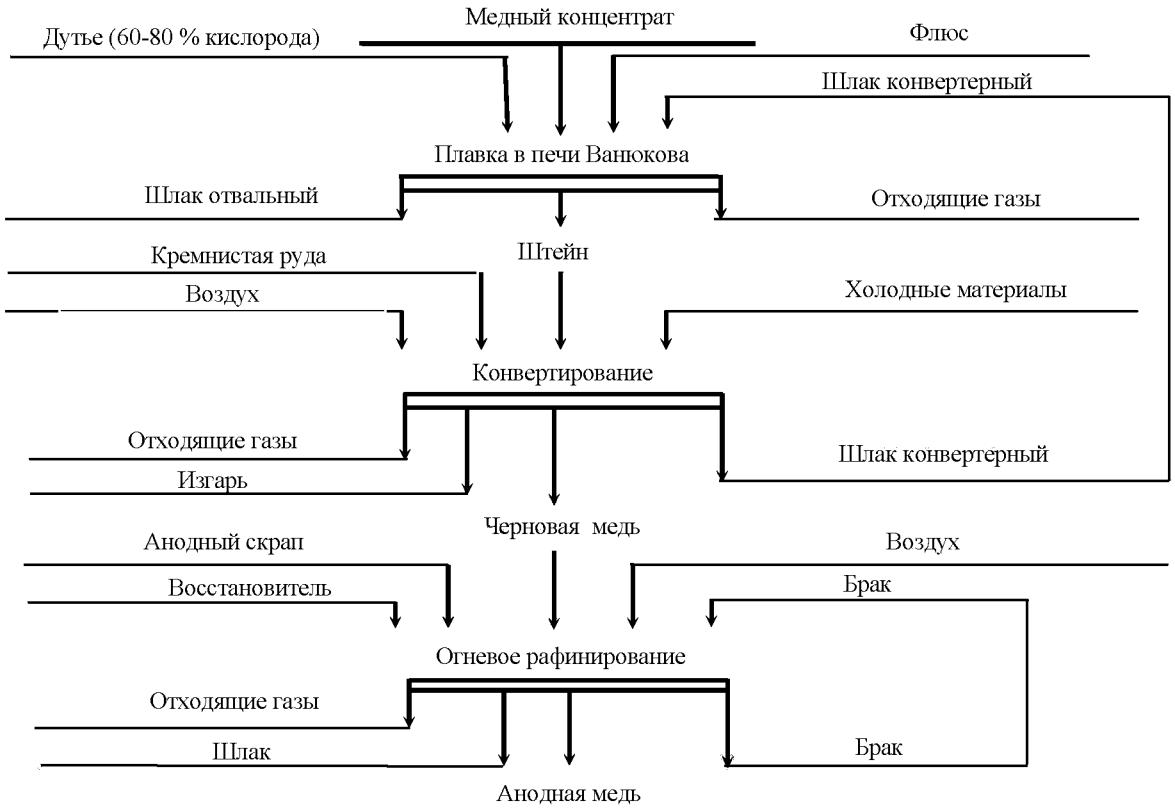
The technology pirometallurgical a cycle of processing of copper sulphidic materials is considered. The technology includes autogenous fusion in furnaces Vanjukova, converting copper steins and copper refinement. The primary goals of drawing up of model and the accepted assumptions are described. The equations of system of model are balance expressions for each of material streams. Expressions for calculation of material streams pirometallurgical a cycle of processing of copper sulphidic raw materials are found.

***Key words*:** mathematical modeling, material streams, copper production.

Введение. Переработка медного сульфидного сырья – задача достаточно трудная, так как медные руды являются сравнительно бедным по составу сырьем (содержание меди в руде до 5 %). Производство меди характеризуется высокотемпературными процессами и сложными схемами переработки [1-6]. Современная пирометаллургия меди характеризуется многостадийностью. В каждой из последовательно проводимых технологических операций постепенно повышают концентрацию меди в основном металлсодержащем продукте за счет отделения пустой породы и сопутствующих элементов, главным образом железа и серы.

Наиболее распространенная технология предусматривает обязательное использование следующих металлургических процессов, связанных между собой оборотом продуктов: плавка на штейн, конвертирование медного штейна и огневое рафинирование черновой меди.

Задачи моделирования. Зная качественные и количественные свойства материальных потоков основных и вспомогательных материалов необходимо разработать мате-



Технологическая схема переработки медного сырья

матическую модель пирометаллургического производства меди (см. рисунок) для создания информационно-управляющей системы с целью получения достоверной и своевременной информации об управлении материальными потоками.

Наибольшую трудность для моделирования вызывает тот факт, что, с одной стороны, производство меди является непрерывным процессом, с другой стороны, в технологии получения меди имеются как непрерывные процессы (процесс Ванюкова), так и дискретные (конвертирование).

Составление и решение модели для такой сложной технологической схемы (см. рисунок) достаточно трудоемко, поэтому целесообразно по возможности облегчить задачу путем принятия некоторых упрощений, не имеющих принципиального характера. Для приводимого примера в качестве таких упрощений примем следующие:

1) не будем учитывать безвозвратные потери и пылевынос на переделах, поскольку они очень незначительны и мало влияют на результат расчета основных материальных потоков;

2) примем, что весь конвертерный шлак возвращается в голову процесса на плавку в печи Ванюкова;

3) считаем пирометаллургический цикл производства меди непрерывным единым процессом, т.е. весь штейн, полученный из печи Ванюкова (ПВ), целиком поступает на конвертирование, и далее черновая медь – на рафинирование в анодные печи.

Задачей моделирования является определение ожидаемых результирующих показателей основных материальных потоков технологического процесса. Нахождение этих показателей требует составления развернутого (полного) материального баланса. Имея развернутый баланс, простым пересчетом можно определить ожидаемые извлечения продуктов.

Задача составления модели сводится к получению системы уравнений материального баланса процесса, которая будет обладать следующими свойствами:

1) система должна быть замкнутой и определенной, т.е. давать однозначное решение относительно всех показателей и параметров технологии, подлежащих определению;

2) уравнения баланса должны быть сформированы таким образом, чтобы закладываемые в них постоянные коэффициенты при неизвестных и свободных членах, могли быть с наибольшей достоверностью выбраны на основании данных исследовательских работ и (или) заводской практики.

При моделировании пирометаллургического цикла переработки медного сульфидного сырья главным этапом является расчет количества и составов всех материальных потоков. Нахождение количеств и составов материальных потоков в расчете в значительной степени формализовано в том смысле, что не требует учета в модели технологии химических реакций процесса.

Описание технологии. Процесс Ванюкова [1, 2, 6], являющийся основным представителем автогенных процессов, протекающих в расплаве, в металлургии меди достаточно хорошо отработан технологически и аппаратно, позволяет перерабатывать как флотационные, так и крупнокусковые материалы с высокой производительностью, обладает широкими возможностями по управлению технологическим режимом плавки. Помимо медного сульфидного концентрата и флюса в печь загружают оборотный конвертерный шлак (см. рисунок). Подготовленная шихта подается в печь непрерывно. Продуктами плавки являются медный штейн, отвальный шлак и отходящие газы. Отходящие газы выводятся из печи через аптейк и поступают на дальнейшую переработку. Штейн и шлак выдаются из печи непрерывно через соответствующие сифоны.

Целью дальнейшей переработки медного штейна является получение черновой меди [1, 5, 6]. Эта задача решается путем окисления железа и серы продувкой воздуха или дутья, обогащенного кислородом (конвертирование), через слой расплавленного штейна. Для связывания образующихся оксидов железа и получения шлаковой фазы в процесс подают кремнистую руду. Процесс конвертирования медного штейна протекает в два периода. В первом периоде практически полностью окисляется сульфид железа и образуется «белый матт», во втором периоде получается черновая медь. Конвертирование идет при больших избытках тепла. Для ликвидации этого избытка, чтобы избежать перегрева продукта и самого конвертера, в агрегат загружают холодные материалы.

Состав штейна, поступивший на конвертирование, влияет на технико-экономические показатели процесса конвертирования: расход дутья, продолжительность продувки, количество использованных флюсов и образующегося конвертерного шлака, тепловой режим процесса и др.

Целью рафинирования черновой меди [1, 5, 6] является очистка ее от примесей; получение металла, пригодного для использования в промышленности, и извлечение благородных металлов и некоторых других примесей в самостоятельную продукцию. Процесс огневого рафинирования черновой меди периодический и требует подвода тепла извне. Для рафинирования черновую медь подают из конвертерного отделения в расплавленном виде и подвергают ее вместе с бракованными анодами и скрапом окислению путем продувки воздухом. Образующиеся при этом оксиды практически не растворимы в меди, поэтому они всплывают на поверхность, образуя рафинировочный шлак. В качестве восстановителя используют мазут.

Разработка модели. Базовыми неизвестными, относительно которых составляется и решается система уравнений, являются массы материальных потоков, приведенные на рисунке [3, 4].

Для удобства составления математической модели расчета материальных потоков пирометаллургического цикла переработки медного сульфидного сырья обозначим потоки следующими буквами латинского алфавита: x, z и u – количество штейна, шлака ПВ и флюса соответственно; f, y, v, t и k – количество кремнистой руды, конвертерного шлака, «белого матта», холодных мате-

риалов и черновой меди соответственно; m, n, q, s и p – количество анодного скрапа, бракованных анодов, восстановителя, рафинировочного шлака и анодной меди соответственно. Теперь можно записать:

$$\begin{cases} u = -F2 - F4f + F1z - F3t; \\ v = \dfrac{-H2 - H3t + H4z - H1f}{H5}; \\ f = C1y - C3t - C2x; \\ z = \dfrac{-A1 - A2y - A4x}{-A3}; \\ x = \dfrac{L4 - L3t - L2y}{L1}; \\ y = \dfrac{(L4L5 - L1L8) - (L3L5 - L1L7)t}{(L2L5 - L1L6)}; \\ k = Mv; \\ p = Nk; \\ m = 0{,}01\alpha k; \\ n = 0{,}01\beta k; \\ q = 0{,}01\delta k; \\ s = 0{,}01\gamma k, \end{cases}$$

где прописными буквами латинского алфавита с индексом обозначены коэффициенты модели, зависящие от состава материальных потоков.

Через указанные неизвестные выражаются количества всех компонентов этих материалов и продуктов. Уравнениями системы являются балансовые выражения для каждого из материальных потоков. Именно это и позволяет получить замкнутую систему уравнений, не учитывая реакции процесса. Решая полученную систему уравнений методом Гаусса, получим систему уравнений для расчета материальных потоков пирометаллургического цикла переработки медного сульфидного сырья.

Система уравнений является аналитическим решением системы уравнений модели. При конкретных числовых расчетах значения коэффициентов подсчитываются заранее. При вариации заданных исходных или промежуточных численных значений некоторые из коэффициентов могут оставаться неизменными (если исходные величины для данного материала или продукта в этом конкретном случае не варьируются), что упрощает числовые расчеты.

Выводы. Полученная модель дает возможность составить аналитические выражения, в явном виде описывающие те или иные зависимости условий плавки, конвертирования и огневого рафинирования. Применение современных компьютерных технологий позволяет количественно проанализировать влияние на интересующие нас конечные результаты любых варьируемых величин, составляющих модель. Результаты моделирования дают правдоподобную информацию по сравнению с практическими данными, что позволяет произвести расчет пирометаллургического цикла производства меди на любой состав сульфидного материала.

Разработанная модель материальных потоков дает возможность произвести исследования в области автоматизации управления материальными потоками и создать информационно-управляющую систему управления производством меди, позволяющую:

– повысить производительность (общую и по переделам);

– повысить качество продуктов (медного штейна, черновой меди, анодной меди и др.);

– повысить степень извлечения полезных компонентов в продукты производства, обеспечив тем самым снижение потерь и себестоимости продуктов;

– уменьшить время простоя оборудования между переделами;

– повысить достоверность и качество информации о производстве.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Ванюков А.В.* Комплексная переработка медного и никелевого сырья: Учеб. для вузов / А.В.Ванюков, Н.И.Уткин. Челябинск: Металлургия, 1988. 431 с.

2. *Ванюков А.В.* Плавка в жидкой ванне / А.В.Ванюков, В.П.Быстров, А.Д.Васкевич и др. М.: Металлургия, 1988. 208 с.

3. *Гальнбек А.А.* Расчеты пирометаллургических процессов и аппаратуры цветной металлургии: Учеб. пособие для вузов / А.А.Гальнбек, Л.М.Шалыгин, Ю.Б.Шмонин. Челябинск: Металлургия, 1990. 447 с.

4. *Лоскутов Ф.М.* Расчеты по металлургии тяжелых цветных металлов: Учеб. пособие для вузов / Ф.М.Лоскутов, А.А.Цейдлер. М.: Металлургиздат, 1963. 591 с.

5. *Орлов А.К.* Конвертирование медных штейнов. Огневое и электролитическое рафинирование меди. Гидрометаллургия меди: Учеб. пособие; Ленингр. горный ин-т. Л., 1978. 109 с.

6. *Уткин Н.И.* Металлургия цветных металлов: Учеб. для техникумов. М.: Металлургия, 1985. 440 с.

REFERENCES

1. *Vanjukov A.V., Utkin N.I.* Complex processing of copper and nickel raw materials: The textbook for high schools. Chelyabinsk: Metallurgy, 1988. 431 p.

2. *Vanjukov A.V., Bystrov V.P., Vaskevich A.D.* Etc. Fusion in a liquid bath. Moscow: Metallurgy, 1988. 208 p.

3. *Galnbek A.A., Shalygin L.M., Shmonin Yu.B.* Calculations pirometallurgical processes and nonferrous metallurgy equipment: The textbook for high schools. Chelyabinsk: Metallurgy, 1990. 447 p.

4. *Loskutov F.M., Zeydler A.A.* Calculations on metallurgy of heavy nonferrous metals: The textbook for high schools. Moscow: Metallurgizdat, 1963. 591 p.

5. *Orlov A.K.* Converting copper stein. Fire and electrolitic copper refinement. Copper hydrometallurgy. The textbook for high schools; Leningrad mining institute. Leningrad, 1978. 109 p.

6. *Utkin N.I.* Metallurgy of nonferrous metals. The textbook for technical schools. Moscow: Metallurgy, 1985. 440 p.

Научный руководитель д-р техн. наук, профессор *И.Н.Белоглазов*