УДК 669.2:518:669.053.2

Е.В.КАЛЮКИНА
Металлургический факультет,
группа ЭП-97, ассистент профессора

ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЭЛЕКТРОПЛАВКИ МЕДНО-НИКЕЛЕВОГО СЫРЬЯ ПРИ ПЕРЕХОДЕ НА НОВЫЙ ВИД ИСХОДНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В связи с предстоящим изменением состава сырья, перерабатываемого в рудно-термических печах плавцеха комбината «Печенганикель» (ОАО «Кольская ГМК»), т.е. переходом на плавку необожженного брикетированного флотоконцентрата, проведена оценка удельного расхода электроэнергии на плавку. Для этого методом корреляционно-регрессионного анализа были обработаны показатели электропечей плавцеха за 20 лет при различных составах шихты. Установлено, что основными факторами, определяющими удельный расход электроэнергии, являются содержание железа в шлаках и штейнах и электрическая нагрузка печей. Получено регрессионное уравнение, позволяющее рассчитать расход электроэнергии на плавку для новых составов шихты. Для брикетов ожидаемый удельный расход составляет около 800 кВт на 1 т металлосодержащей твердой шихты.

In linkage with forthcoming change of makeup of raw materials manufactured in ore-thermal ovens fuse department of combine «Pechenganikel» (The open joint-stock company Kola mountain metallurgical company), – the transferring on fuse unburnt bricketed floatation a concentrate, – leads an estimation of magnitude of a specific consumption of the electric power on fuse. For this purpose the indexs of electric furnaces of fusion cake – department for 20 years were treated by a method correlative – regression of the assaying at different charge makeups. Is fixed, that the base factors defining a specific consumption of the electric power, are the contents of iron in scorias and reguluses and electrical load of ovens. The equation allowing to calculate expenditure the electric power on fuse for new charge makeups is received(obtained) regression. For briquettes the expected specific consumption makes about 800 kW on 1 т metal to contain of solid mix material.

В связи с неблагоприятной экологической ситуацией в регионе комбинату «Печенганикель» необходимо сократить выбросы в атмосферу сернистого газа, образующегося на стадии обжига окатышей. В настоящее время на комбинате «Печенганикель» главным видом исходного сырья электроплавки является необогащенная, относительно «богатая» сульфидная медно-никелевая руда и обожженные окатыши, полученные из медно-никелевого концентрата обогатительной фабрики. Перед плавкой сырье подвергают предварительной подготовке. «Богатые» руды (содержание никеля более 1,5 %) направляют на электроплавку без флотационного обогащения. На обогащение направляют руды, содержащие менее 1,5 % никеля.

Флотационный концентрат окатывают в чашевых грануляторах. Термическое упрочнение окатышей путем окислительного обжига выполняют на ленточных конвейерных машинах. Десульфуризация при обжиге окатышей составляет 35-45 %. Содержание SO_2 в отходящих газах примерно 1-1,5 %, поэтому использовать эти газы для получения серной кислоты нерентабельно. Газы из зоны обжига направляются на пылеочистку в батарейные циклоны, а затем удаляются в атмосферу, нанося тем самым экологический ущерб окружающей среде*. Снизить его можно, заменив плавку руды и обожженных окатышей на плавку брикетов.

---

* *Серебряный Я.Л.* Электроплавка медно-никелевых руд и концентратов. М.: Металлургия, 1974.

Основные технико-производственные показатели

Год	Средневзвешенный расход электроэнергии *Y*, кВт·ч/т	Содержание в шлаке, %			Содержание в штейне $Fe_{шт}$, %	Средняя нагрузка печей, МВт
		SiO_2	MgO	$Fe_ш$		
1974	681,95	42,63	9,15	24,51	52,28	34,265
1975	697,6	41,91	8,42	24,84	50,96	35,155
1976	705,5	42,57	9,11	24,83	50,47	35,91
1977	719,7	39,31	7,07	27,07	50,65	36,12
1978	717,95	39,94	7,47	27,72	49,94	34,02
1979	707,85	40,27	8,7	26,65	52,39	34,44
1980	673,8	39,3	8,78	27,74	53,62	34,595
1981	706,9	38,48	8,04	28,39	52,63	35,29
1982	699	39,48	7,79	28,41	50,54	37,97
1984	742,7	40,18	8,27	27,06	52,08	38,495
1985	742,4	39,64	11,3	25,53	48,12	38,955
1986	750,3	41,1	11,21	25,32	48,97	39,51
1987	743	40,18	11,65	27,62	49,84	39,415
1988	708,93	39,6	10,96	26,38	50,13	39,68
1989	733,7	39,8	9,22	26,80	49,85	39,765
1990	726,85	39,83	9,89	26,67	50,33	37,21
1991	722,95	40,71	13,01	24,48	49,08	37,645
1998	790,45	38,09	14,98	27,60	42,43	40,69
1999	817,2	38,28	11,36	29,90	39,68	38,3
2001	791,8	37,2	13,59	28,08	40,21	35,18

По новой технологии в качестве исходного сырья электроплавки будут использовать только брикеты. Полученный флотационный концентрат будут подвергать предварительной сушке (до 2-4 % влажности), смешивать со связующей добавкой (лигносульфанолом – отходом целлюлозно-бумажной промышленности) и брикетировать на валковых прессах. Фильтрация и брикетирование будет осуществляться на импортном оборудовании, частично уже доставленном на предприятие. Полученные брикеты будут сушить на ленточных конвейерных машинах.

В связи с переходом на новое сырье возникает вопрос, как изменятся энергетические показатели электроплавки, в частности один из основных энергетических показателей электроплавки – удельный расход электроэнергии, который зависит от ряда факторов.

Определить его расчетным путем невозможно, так как ряд влияющих факторов может быть оценен лишь приблизительно, например потери тепла в окружающую среду. Поэтому для установления зависимости удельного расхода электроэнергии от средней нагрузки печи, содержания в шлаке диоксида кремния, оксида магния и железа, а также содержания железа в штейне были использованы статистические данные.

Обработка данных за последние месяцы не могла дать результатов, так как в этот период значительных изменений факторов, влияющих на удельный расход электроэнергии, не наблюдалось.

Статистическая обработка основных технико-производственных показателей рудной электроплавки за 20 лет, в течение которых изменялось исходное сырье, его состав и соотношение шихтовых материалов (см. таблицу), позволила по известной методике выполнить многофакторный корреляционно-регрессионный анализ, в результате которого была выявлена взаимосвязь факторов, влияющих на удельный расход элек-

троэнергии; определена степень влияния каждого фактора на результативный признак путем построения уравнения множественной регрессии, которое позволяет установить динамику показателя при изменении каждого фактора, входящего в модель; количественно оценена теснота связи между результативным признаком и факторами.

Используя известные формулы для расчета математических ожиданий, дисперсий величин, а также парных коэффициентов корреляции были вычислены показатели, необходимые для отыскания коэффициентов уравнения регрессии*.

Расчет математических ожиданий величин производили по формуле

$$M_X = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} X_i ,$$

где X_i – значение фактора, влияющего на результат; N – число индивидуальных значений фактора.

Дисперсия величины

$$\sigma_X = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N}\left(X_i - M_X\right)^2 ,$$

нормировка значений величин

$$X^{\text{н}} = \frac{X - M_X}{\sqrt{\sigma_X}} ;$$

парные коэффициентов корреляции

$$r_{Y-X} = \frac{1}{N-1}\sum_{i=1}^{N} Y_i^{\text{н}} X_i^{\text{н}} ,$$

где Y_i – результат.

Для определения значимости парных коэффициентов корреляции оценивали разность $|r| - 1{,}96(1-r^2)/\sqrt{N}$. Если эта разность положительна, то с доверительной вероятностью 95 % можно утверждать, что существует зависимость между исследуемыми величинами.

Полученные данные подтвердили, что существует зависимость между удельным расходом электроэнергии и средней нагрузкой печи; содержанием диоксида кремния, оксида магния и железа в шлаке, содержанием железа в штейне. Было установлено, что для оценочных расчетов удельного расхода электроэнергии можно использовать регрессионную зависимость вида

$$Y = 880{,}62 + 0{,}36[SiO_2] - 0{,}85[MgO] + \\ + 2{,}59[Fe_{ш}] - 7{,}82[Fe_{шт}] + 4{,}25CRN,$$

где $[SiO_2]$ – содержание диоксида кремния в шлаке, %; $[MgO]$ – содержание оксида магния в шлаке, %; $[Fe_{ш}]$ – содержание железа в шлаке, %; $[Fe_{шт}]$ – содержание железа в штейне, %; CRN – средняя нагрузка печи, МВт.

Анализ нормированных коэффициентов регрессии, характеризующих изменение удельного расхода электроэнергии в зависимости от изменения одного фактора при постоянных значениях остальных выявил, что на удельный расход электроэнергии сильнее всего влияет содержание железа в штейне и в меньшей степени средняя нагрузка печи.

По значению совокупного коэффициента множественной корреляции $R = 0{,}87$ можно сказать, что установленная линейная форма зависимости отражает реальную взаимосвязь признаков. Иначе говоря, среди отобранных факторов присутствуют те, что решающим образом влияют на удельный расход электроэнергии.

Полученное уравнение прошло проверку на адекватность на заводских данных. Полученные результаты дают возможность утверждать, что данное уравнение можно использовать для ориентировочного расчета удельного расхода электроэнергии при плавке брикетов. Было установлено, что удельный расход электроэнергии равен 799 кВт·ч/т, т.е. что существенных изменений удельного расхода электроэнергии при переходе на плавку брикетов не предвидится.

* *Громыко Г.Л.* Теория статистики: Учебник / Г.Л.Громыко, А.Н.Воробьев, С.Е.Казаринова. М.: Инфра-М, 2000.

Научный руководитель д.т.н. проф. *А.А.Гальнбек*