

ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

i pyleugol'nogo topliva [Determination of the theoretical combustion temperature by blowing into the hearth of the blast furnace of natural gas and pulverized coal]. *Metallurgicheskaja i gornorudnaja promyshlennost'*, 2016, no. 2, pp. 38-43.

Purpose. More efficient use of pulverized coal injection in blast furnace based on the assessment and management of the size of the burning zone before the furnace tuyeres and distribution of the gas flow along the radius of the hearth.

Methodology. The methods of calculating the total power of hearth gas flow with pulverized coal injection (PCI) are developed, which allow to control how the average value of this complex index, and its meaning to the tuyeres of a blast furnace.

Findings. Operational calculated control of values of the total energy of the hearth gas flow by the blast furnace tuyeres with pulverized coal injection will improve

gas-dynamic conditions blast furnace smelting, and consequently its effectiveness.

Originality. The methods of calculating the total flow energy of the hearth gas with used together of PCI and natural gas are proposed.

Practical value. Developed methodical approaches can be used in blast-furnace smelting ACS for controlling gas flow distribution along the radius of the blast furnace.

Key words: blast-furnace smelting, injection of pulverized coal, flow of furnace hearth gas, theoretical combustion temperature, total gas flow power.

Рекомендована к публикации
д. т. н. А. К. Таракановым

Поступила 29.12.2016



УДК 669.162.266 Наука

В. В. Бочка /д. т. н./, А. В. Двоглазова,
А. В. Сова, Р. С. Бочка, К. В. Шмат

Национальная металлургическая академия
Украины, г. Днепро, Украина
e-mail: alicejust53@gmail.com

Выбор рациональных параметров процесса спекания комплексного флюса

V. V. Bochka /Dr. Sci. (Tech.)/,
A. V. Dvoiehlazova, A. V. Sova, R. S. Bochka,
K. V. Shmat

National Metallurgical Academy of Ukraine,
Dnipro, Ukraine,
e-mail: alicejust53@gmail.com

Elaboration of the reasonable technological parameters of the complex flux production

Цель. Для разработки технологии получения комплексного флюса высокого качества необходимо определить основные технологические показатели данной технологии.

Методика. Эксперименты по определению основных параметров спекания комплексного флюса проводили с использованием метода центрально-композиционного ротационного планирования второго порядка.

Результаты. При проведении исследований параметров технологии получения комплексного флюса было получено уравнение регрессии, из которого расчётным путём определили значения факторов, обеспечивающих наибольшую величину удельной производительности установки. Эти значения соответствуют следующим цифрам: содержание концентрата в смеси – 100 %; содержание смеси в шихте – 15–25,0 %; содержание углерода в шихте – 8,0–9,0 %; влажность шихты – 5,0 %. Показатель расчётной удельной производительности при использовании этих факторов составляет 0,63 т/м²·час.

Научная новизна. Разработана модель, описывающая взаимосвязь производительности с основными технологическими факторами.

Практическая значимость. Результаты данной статьи можно использовать при разработке технологических параметров получения комплексного флюса. (Ил. 1. Табл. 2. Библиогр.: 3 назв.).

Ключевые слова: комплексный флюс, параметры, процессы, спекание.

Постановка задачи. Эффективность получения комплексного флюса в значительной степени определяется составом шихты и способом её приготовления, а также особенностью технологического режима его спекания в агрегатах различного типа. В НметАУ [1] разработан способ получения комплексного флюса на машинах конвейерного типа. Это стало возможным благодаря тому, что комплексный флюс спекается из шихты [2], состоящей в основном из гранулированных материалов и топлива заданной крупности.

Следует подчеркнуть, что процесс спекания флюса на конвейерной машине имеет много общего с процессом спекания агломерата. Однако специфические особенности производства комплексного флюса обуславливают необходимость уточнения многих технологических параметров, определяющих его качественные характеристики. В связи с этим были проведены исследования особенностей процесса получения комплексного флюса и определения рациональных параметров его спекания.

Методика проведения исследования. Определение рациональных параметров спекания комплексного флюса производили с использованием уравнения множественной регрессии взаимосвязи параметров процесса с производительностью установки, построенного на основе результатов проведенных спеканий. Шихта для спеканий, согласно матрице планирования эксперимента, включала влажные гранулы, полученные путём накатывания на кусочки известняка крупностью 3–10 мм тонкодисперсного концентрата и известьсодержащих материалов (смесь), а также топливо крупностью 0–5 мм. Подготовленную шихту спекали в агломерационной чаше площадью спекания 0,075 м².

В качестве критерия оптимальности параметров процесса спекания комплексного флюса был принят показатель удельной производительности установки, который определяется по формуле:

$$Q_{акт} = \frac{0,06 \cdot \Pi (CaO_{акт} + CaO_{карб})}{S \cdot \tau}, \text{ т/м}^2 \cdot \text{час}, \quad (1)$$

где Π – вес спёка, кг; $CaO_{акт}$ – содержание активного оксида CaO, %; $CaO_{карб}$ – содержание оксида кальция в составе $CaCO_3$, %; S – площадь спекания, м²; S – 0,075 м²; τ – время спекания, мин.

Исследования по определению рациональных параметров процесса получения комплексного флюса проводили с использованием метода центрально-композиционного ротательного планирования второго порядка [3]. В качестве переменных приняли:

x_1 – содержание концентрата в смеси с известняком, крупностью 0,1 мм, накатываемой на известняк крупностью 3–10 мм, %;

x_2 – количество накатываемой смеси в % от массы известняка крупностью 3–10 мм;

x_3 – содержание топлива в шихте, %;

x_4 – влажность шихты, %;

x_5 – высота слоя шихты, мм.

Матрица центрально-композиционного ротательного планирования второго порядка для пятифакторного эксперимента приведена в табл. 1.

Таблица 1

Матрица центрально-композиционного ротательного планирования

Фактор	-2x	-x	x_0	+x	+2x
x_1	0,0	25,0	50,0	75,0	100,0
x_2	5,0	15,0	25,0	35,0	45,0
x_3	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
x_4	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0
x_5	200,0	300,0	400,0	500,0	600,0

Результаты исследования. На основе результатов проведенных спеканий было получено уравнение множественной регрессии в критериальной форме, описывающее зависимость удельной производительности установки y (функция отклика) от исследуемых факторов:

$$y = 0,53 + 0,05 x_1 - 0,03 x_2 + 0,06 x_3 - 0,03 x_2^2 - 0,03 x_3^2 - 0,07 x_4^2 - 0,03 x_1 \cdot x_3 - 0,03 x_2 \cdot x_3 + 0,02 x_2 \cdot x_4 \quad (2)$$

$$R^2 = 0,76$$

Для поиска экстремального значения функции отклика использовали метод последовательной оптимизации факторов варьирования, для чего сначала уравнение регрессии из кодированного вида превращали в натуральный.

$$y = -4,6025 + 0,011K + 0,026C - 0,0003C^2 + 0,675T - 0,03T^2 + 0,65B - 0,07B^2 - 0,0012K \cdot T - 0,003C \cdot T + 0,002C \cdot B, \quad (3)$$

где K – количество концентрата в смеси, %; C – количество смеси в шихте, %; T – расход топлива, %; B – влажность шихты, %.

Затем уравнение (3) было преобразовано в четыре уравнения чистой регрессии (4–7), которые позволяют оценить влияние каждого из исследуемых параметров на удельную производительность установки.

$$y_k = 0,49 + 0,0014K; \quad (4)$$

$$y_c = 0,4475 + 0,012C - 0,0005C^2; \quad (5)$$

$$y_T = -1,80 + 0,54T - 0,03T^2; \quad (6)$$

$$y_B = -1,19 + 0,07B - 0,07B^2. \quad (7)$$

ДОМЕННОЕ ПРОИЗВОДСТВО

После этого было проведено исследование функций u_k , u_c , u_t , и u_v на экстремум. В работе принято, что значение аргументов, при которых функция отклика приобретает экстремальное значение, соответствуют рациональным параметрам процесса спекания комплексного флюса. Результаты исследований приведены в табл. 2

По результатам исследования были построены графики зависимости удельной производительности от различных факторов.

На рис. 1а представлена зависимость удельной производительности от содержания концентрата в накате. Из графика видно, что указанная зависимость имеет линейный характер, и максимальная производительность установки $0,63 \text{ т/м}^2 \cdot \text{час}$ достигается при накате на кусочки известняка 100-% концентрата.

На рис. 1б приведена зависимость удельной производительности установки от количества накатываемой смеси (которая состоит из 100% концентрата). При содержании в шихте 8-9 % топлива и 5 % влаги максимальная удельная производительность установки соответствует содержанию в шихте 15-25,0 % смеси (от веса известняка фракции 3-10 мм). При данном коли-

Таблица 2

Расчётные значения параметров оптимизации функции отклика

Факторы варьирования				Функция отклика
$x_1, \%$	$x_2, \%$	$x_3, \%$	$x_4, \%$	Удельная производительность, $\text{т/м}^2 \cdot \text{час}$
0,0	25,0	8,0	5,0	0,55
25,0	25,0	8,0	5,0	0,57
50,0	25,0	8,0	5,0	0,59
75,0	25,0	8,0	5,0	0,60
100,0	25,0	8,0	5,0	0,63
100,0	5,0	8,0	5,0	0,57
100,0	15,0	8,0	5,0	0,60
100,0	25,0	8,0	5,0	0,63
100,0	35,0	8,0	5,0	0,62
100,0	45,0	8,0	5,0	0,54
100,0	15,0	6,0	5,0	0,51
100,0	15,0	7,0	5,0	0,57
100,0	15,0	8,0	5,0	0,63
100,0	15,0	9,0	5,0	0,63
100,0	15,0	10,0	5,0	0,50
100,0	15,0	8,0	3,0	0,45
100,0	15,0	8,0	4,0	0,54
100,0	15,0	8,0	5,0	0,63
100,0	15,0	8,0	6,0	0,54
100,0	15,0	8,0	7,0	0,45

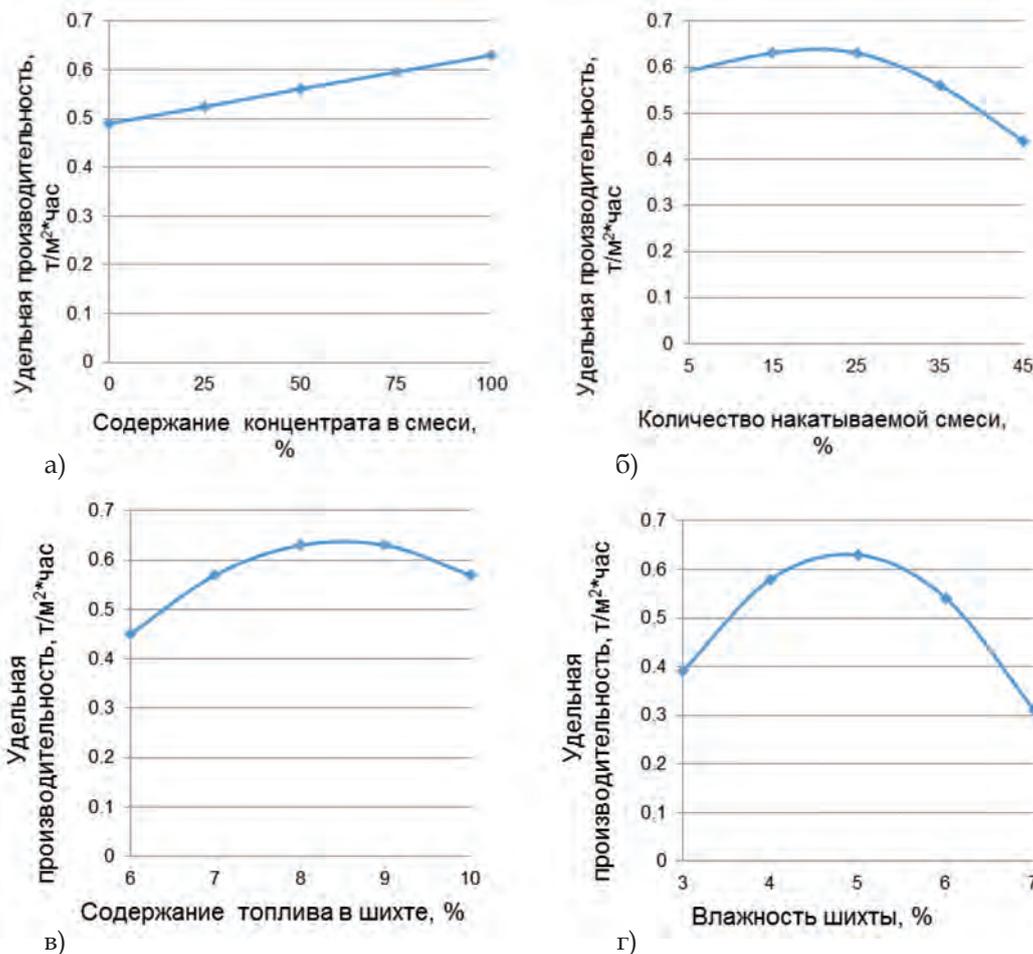


Рис. 1. Зависимость удельной производительности установки от технологических параметров

честве смеси создаются наилучшие условия для её накатывания на поверхность кусочков известняка.

На рис. 1в представлена зависимость удельной производительности от количества топлива в шихте. При использовании 8–9 % топлива в шихте достигается максимальная производительность. Такой расход топлива обеспечивает необходимое количество теплоты для протекающих реакций ферритообразования и обжига известняка.

На рис. 1г приведена зависимость удельной производительности от влажности шихты. Наилучшие результаты были получены при влажности шихты 5 %. При такой влажности на поверхности известняка образуется корочка из накатанного концентрата заданных размеров и прочности.

Из анализа результатов исследования и из уравнения множественной регрессии видно, что высота слоя шихты не влияет на исследуемый параметр. Это говорит о том, что шихта для получения комплексного флюса обладает высокой газопроницаемостью, что нивелирует влияние высоты спекаемого слоя на удельную производительность установки.

Таким образом, полученное уравнение множественной регрессии позволило установить рациональные параметры процесса спекания комплексного флюса:

- содержание концентрата в смеси – 100 %;
- содержание смеси в шихте – 15–25 %;
- содержание топлива в шихте – 8–9 %;
- влажность шихты – 5 %.

Кроме того, эксперименты позволили установить, что для получения 1 т комплексного флюса необходимо расходовать 1100–1200 м³ воздуха при разрежении в отсасывающем коллекторе 400–450 мм вод. ст. При этом расход шихты для получения 1 т комплексного флюса составляет 1600 кг по сухому, а производительность установки по массе спека – 1,7 т/м²·час.

Основность полученного продукта составляет 10,5 ед. Комплексный флюс, полученный по данной технологии, содержит 23,0 % железа, 16,5 % закиси железа и до 42 % СаО активного.

Выводы. Результаты проведенных исследований позволили определить рациональные параметры процесса спекания комплексного флюса, при которых обеспечивается наибольшее значение удельной производительности установки. Для получения комплексного флюса высокого качества необходимо поддерживать параметры процесса на таком уровне: содержание концентрата в смеси – 100 %; содержание смеси в шихте – 15,0–25,0 %; содержание топлива в шихте – 8,0–9,0 %; влажность шихты – 5,0 %. Показатель

расчётной удельной производительности при этих параметрах составляет 0,63 т/м²·час.

Библиографический список / References

1. Гуров Н. А. Шихта для производства железозфлюса и способ его получения / Н. А. Гуров. – А. с. СССР № 713919б.
Gurov N. A. *Shihhta dlja proizvodstva zhelezozfljusa i sposob ego poluchenija*. A. s. SSSR. No. 713919b.
2. Бочка В. В. Особенности поведения известняка в присутствии железосодержащего материала при совместном спекании / В. В. Бочка // *Металл и Литье Украины*. – 2016. – № 7. – С. 12–15.
Bochka V. V. *Osobennosti povedenija izvestnjaka v prisutstovii zhelezosoderzhashhego materiala pri sovmestnom spekanii*. Metall i Lit'e Ukrainy, 2016, no. 7, pp. 12–15.
3. Адлер Ю. П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю. П. Адлер, Е. В. Маркова. М.: Наука, 1976. – 279 с.
Adler Ju. P., Markova E. V. *Planirovanie jeksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij* Moscow, Nauka, 1976, 279 p.

Purpose. For the development of the technology for a complex flux high quality production to determine the main technological characteristics of this technology is necessary.

Methodology. The experiments for determining the main technological parameters of the technology of the complex flux production was performed using the method of the central composite retailing planning of the second order.

Findings. In research settings the technology for the complex flux production was derived regression equations from which to determine by calculation whether the value of the factors providing the greatest value of specific performance installation. These value correspond to: the content of concentrate in the mixture is 100 %; the content of the mixture in the charge – 15,0–25,0 %; the carbon content of the mixture is 8,0–9,0 %; moisture of the charge – 5,0 %. The figure is the calculated specific productivity when use of these factors of 0.63 t/m²·h.

Originality. A model, which describing the dependence of the productivity from the main technological factors, was developed.

Practical value. The results of this article can be used when establishing the technological parameters of the technology of obtaining the complex flux.

Key words: complex flux, options, technology, sintering.

**Рекомендована к публикации
д. т. н. А. К. Таракановым**

Поступила 01.02.2017