

В. В. Бочка, д-р техн. наук, проф.

А. В. Двоглазова, асп. каф. мет. чугуна, e-mail: alicejust53@gmail.com

А. В. Сова, асп. каф. мет. чугуна

Р. С. Бочка, студент

А. В. Бабенко, канд. техн. наук, доц.

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр

Разработка технологических показателей процесса спекания комплексного флюса из комбинированных гранул

Для разработки технологии производства комплексного флюса из комбинированных гранул необходимо определить основные технологические параметры, такие как содержание концентрата в смеси, количество смеси, что идет в накат, содержание топлива, влажность шихты и высота спекаемого слоя. Исследования для определения этих параметров проводили в соответствии с методом центрально-композиционного ротательного планирования второго порядка. Полученное в результате экспериментов уравнение множественной регрессии позволило установить рациональные параметры процесса спекания комплексного флюса.

Ключевые слова: комплексный флюс, уравнение регрессии, технологические показатели, спекание.

Постановка задачи. Для эффективного производства комплексного флюса необходимо определить рациональный состав шихты и способ ее приготовления, а также особенности технологического режима его спекания в агрегатах различного типа. В НметАУ [1] был 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.

Стоит отметить, что процесс спекания данного комплексного флюса подобный процессу спекания агломерата на конвейерной машине. Несмотря на это, спекание комплексного флюса имеет специфические особенности производства, которые обуславливают необходимость уточнения многих технологических параметров, что определяет качество получаемого продукта. Поэтому возникает необходимость исследования особенностей процесса получения комплексного флюса и определения рациональных параметров его спекания.

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

В качестве критерия рациональности параметров процесса спекания комплексного флюса был принят

показатель удельной производительности установки, который определяется по формуле:

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

где Π – вес спека, кг; $\text{CaO}_{\text{акт}}$ – содержание активного оксида CaO, %; $\text{CaO}_{\text{карб}}$ – 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 таблице.

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:

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

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

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

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

После этого было проведено исследование функций y_k , y_c , y_T и y_B на экстремум. В работе принято, что значение аргументов, при которых функция отклика приобретает экстремальное значение, соответствует рациональным параметрам процесса спекания комплексного флюса.

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

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

На рисунке (б) приведена зависимость удельной производительности установки от количества накачиваемой 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 количестве смеси создаются наилучшие условия для ее накачивания на поверхность кусочков известняка.

На рисунке (в) 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 протекания реакций ферритообразования и обжига известняка.

На рисунке (г) 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.

Анализируя результаты исследования и уравнение 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:

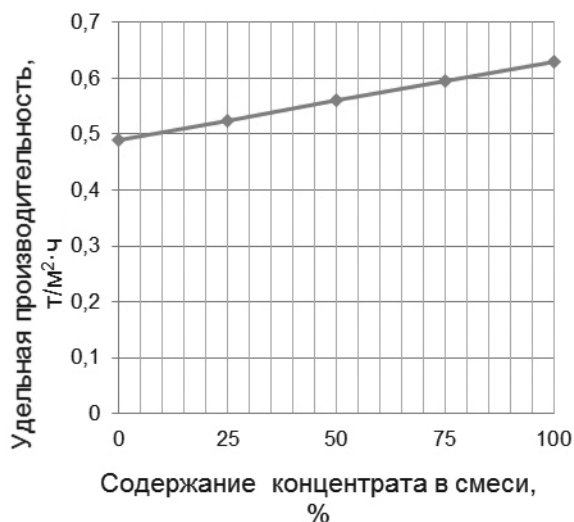
- содержание концентрата в смеси – 100 %;
- содержание смеси в шихте – 15-25 %;
- содержание топлива в шихте – 8-9 %;
- влажность шихты – 5 %.

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·ч.

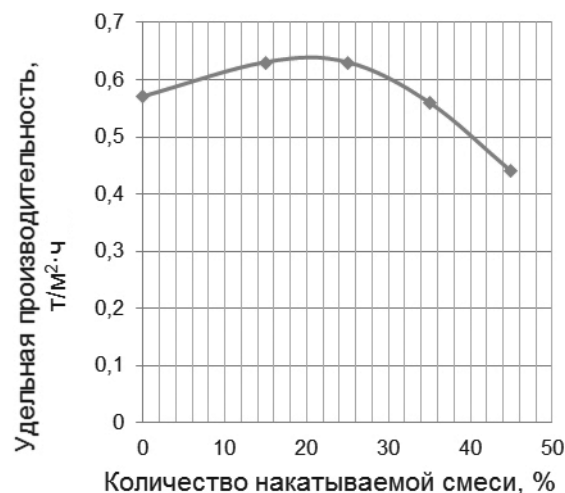
Основность полученного продукта составляет 10,5 ед. Комплексный флюс, полученный по данной технологии, содержит 23,0 % железа, 16,5 % закиси железа и до 42 % СаО активного.

Выводы

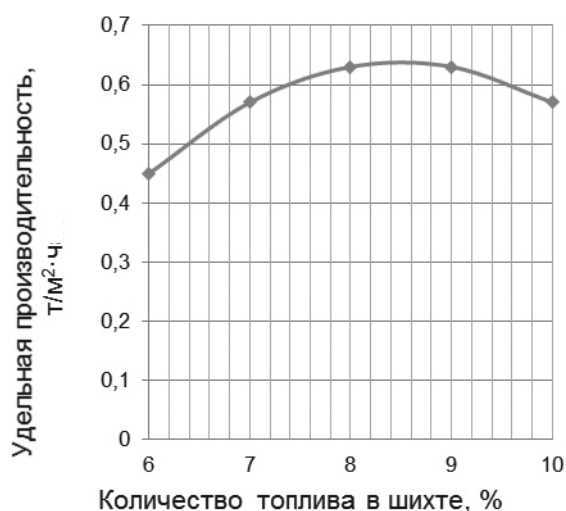
При проведении исследований параметров технологии получения комплексного флюса было получено уравнение регрессии, из которого расчетным путем определили значения факторов, обеспечивающих наибольшее значение удельной производительности установки. Эти значения соответствуют: содержание концентрата в смеси – 100 %; содержание смеси в шихте – 15-25,0 %; содержание углерода в шихте – 8,0-9,0 %; влажность шихты – 5,0 %. Показатель расчетной удельной производительности при использовании этих факторов составляет $0,63 \text{ т/м}^2 \cdot \text{ч}$.



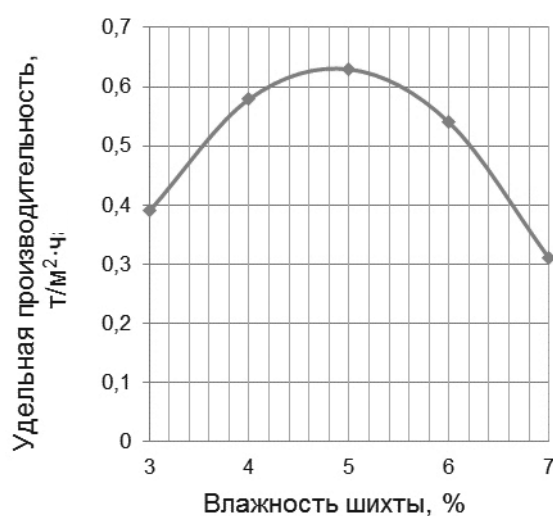
а



б

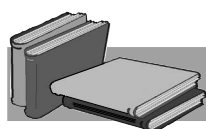


в



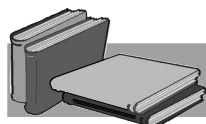
г

Зависимость удельной производительности от технологических параметров процесса получения комплексного флюса



ЛИТЕРАТУРА

1. А. с. № 7139196 СССР: МПК С22В 1/24. Шихта для производства железофлюса и способ его получения / Н. А. Гуров и др.; заявл. 20.05.1977, опубл. 05.02.1980.
2. Особенности поведения известняка в присутствии железосодержащего материала при совместном спекании / В. В. Бочка и др. // Металл и литье Украины. – 2016. – № 7. – С. 17–20.
3. Адлер Ю. П., Маркова Е. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – Наука, 1976. – 279 с.



REFERENCES

1. A. s. no. 7139196 USSR: MPK S22B 1/24. Shikhta dlia proizvodstva zhelezofliusa i sposob ego polucheniia [Charge for the production of iron flux and a way of its receiving]. N. A. Gurov et al.; zaiavl. 20.05.1977, publ. 05.02.1980 [in Russian].
2. Bochka V. V. et al. (2016). Osobennosti povedeniia izvestniaka v prisutstvii zhelezosoderzhashchego materiala pri sovmestnom spekanii [Peculiarities of the behavior of limestone in the presence of iron-containing material in their shared sintering]. Metall i lit'e Ukrainy, no. 7, pp. 17–20 [in Russian].
3. Adler Yu. P., Markova Ye. V. (1976). Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nykh uslovii [Planning an experiment when searching for optimal conditions]. Nauka, 279 p. [in Russian].

Анотація

Бочка В. В., Двоєглазова А. В., Сова А. В., Бочка Р. С., Бабенко О. В.

Розробка технологічних показників процесу спікання комплексного флюсу із комбінованих гранул

Для розробки технології виробництва комплексного флюсу із комбінованих гранул необхідно визначити основні технологічні параметри, такі як вміст концентрату в суміші, кількість суміші, що йде в накат, вміст палива, вологість шихти і висота шару, що спікається. Дослідження для визначення цих параметрів проводили згідно з методом центрально-композиційного ротабельного планування другого порядку. Отримане в результаті експериментів рівняння множинної регресії дозволило встановити раціональні параметри процесу спікання комплексного флюсу.

Ключові слова

Комплексний флюс, рівняння регресії, технологічні показники, спікання.

Summary

Bochka V., Dvoeglazova A., Sova A., Bochka R., Babenko A.

Development of the technological parameters of the complex flux sintering from combined pellets

For the development of the complex flux production from combined pellets there is a need to identify the main technological parameters, such as the content of concentrate in the mixture, the amount of mixture that comes in a reel, the contents of the fuel, the humidity of the charge and the height of the sintered layer. Studies to determine these parameters were carried out in accordance with the method of the central composite retailing planning of the second order. The equation of multiple regression obtained as a result of the experiments made it possible to establish rational parameters of the sintering process of a complex flux.

Keywords

Complex flux, equation of regression, technological parameters, sintering.

Поступила 04.07.17