

Моделирование кислородно-конвертерной плавки с использованием методов математической статистики

Рассмотрены результаты эксперимента, проведённого на 160-тонных конвертерах. Показано влияние параметров режима дутья на процесс обезуглероживания ванны и изменение её температуры с использованием методов классического регрессионного и корреляционного анализов.

Ключевые слова: модель, конвертер, управление, статистика

Введение. Использование математической статистики особенно оправдано при создании моделей малоизученных сторон конвертерной плавки. Но и в тех случаях, когда форма уравнений, связывающих между собой переменные процесса, известна достаточно давно, статистические методы также используются при нахождении численных коэффициентов модели. При этом нужно учитывать, что конвертерный процесс – многомерный объект, потому использование парных связей приводит к неправильным результатам. Множественный корреляционный анализ позволяет с удовлетворительной точностью описать многоканальную систему.

Сбор исходного материала может быть осуществлён двумя путями: пассивным наблюдением или активным экспериментом. В первом случае регистрируются технологические параметры процесса при обычном его протекании без внесения в процесс каких-либо специальных возмущений. Метод активного эксперимента основан на внесении в процесс возмущений (количество и величина которых заранее определены), использовании упорядоченного плана размещения точек в факторном пространстве и переходе к новой системе координат [1].

Постановка задачи. Целью исследований является повышение эффективности управления кислородно-конвертерной плавкой путём усовершенствования принципов создания модели.

Результаты исследований. Положительные свойства активного эксперимента в значительной степени обесцениваются трудностями его постановки в условиях функционирования технологического процесса. Дело в том, что значения возмущений должны быть существенными. Чтобы эффекты, которые с ними связаны, были четко выделены. А это может привести к опасности утраты стойкости объекта, то есть переходу конвертера в аварийный режим, получению брака в продукции.

Проиллюстрируем это на примере проведённого нами полного факторного эксперимента для трёх переменных по определению коэффициентов влияния на массу выгорающего углерода и температуру металла общей массы железной руды и извести, а также объёма продутого кислорода.

В период исследовательских плавов в конвертере перерабатывали от 27 до 30 т лома, от 108 до 110 т

чугуна химического состава, %: 4,0...4,4 С, 0,5...0,6 Si и 1,0...1,1 Mn. Температура чугуна колебалась в пределах 1250...1300 °С. Продувку проводили через четырёхсопловый фурменный наконечник с углом наклона сопел 15° при расстоянии от конца наконечника до уровня спокойной ванны 16,5 калибров, расходе кислорода 2,2 м³/(т·мин) и заданных значениях статических управляющих воздействий, после чего отбиралась проба металла на химический анализ и измерялась его температура.

Исходные данные активного эксперимента сведены в табл. 1. Линейные эффекты и эффекты взаимодействия, рассчитанные по методике [2], представлены в табл. 2.

Анализируя результаты активного эксперимента, можно отметить, что эффекты взаимодействия руды и кислорода находятся на уровне значений, которые определены опросом опытных операторов. Эффект взаимодействия извести не соответствует данным опроса. Хотя эксперимент проводился на плавках, одна за другой, идентичных начальных условий достичь не удалось.

В тех случаях, когда постановка активного эксперимента в производственных условиях затруднена, обрабатывали пассивно собранную информацию, которая характеризует режим нормального функционирования процесса. Обработка данных для получения математической модели проводилась, главным образом, методами классического регрессионного и корреляционного анализов [3].

Также проводился эксперимент по выявлению влияния параметров режима дутья на процесс обезуглероживания ванны и изменения её температуры. Расход дутья изменяли в пределах 1,6...2,2 м³/(т·мин), расстояние от фурменного наконечника до уровня спокойного металла 13,5...19,5 калибров. Из шести последовательных плавов, в соответствии с матрицей планирования, было проведено пять. Продувку при значениях расхода дутья 1,6 м³/(т·мин) и расстояния от фурменного наконечника до уровня спокойного металла 19,5 калибра довести до конца не удалось (из-за сильного переокисления ванны начались интенсивные выбросы). Повторные попытки провести продувку при таких режимах тоже закончились неудачно.

Использование множественного корреляционного анализа для обработки информации даёт

Операционные условия исследовательских плавов

Номер операции	Меняющийся параметр			Параметры выхода	
	масса, т		расход кислорода на плавку (V), м ³	масса выгоревшего углерода, т	температура металла, °С
	известни	руды			
0	5,5	1,5	4900	4,350	1610
1	5,0	1,0	4700	4,291	1590
2	6,0			4,093	1600
3	5,0	2,0		4,172	1560
4	6,0		4,128	1595	
5	5,0	1,0	5100	4,571	1630
6	6,0			4,021	1645
7	5,0	2,0		4,710	1610
8	6,0		4,670	1595	
9	5,5	1,5	4900	4,380	1615

Таблица 2

Линейные эффекты и эффекты взаимодействия параметров в диапазоне их изменения

Изменяемый параметр	Эффект влияния	
	на массу выгорающего углерода	на температуру
m_p	0,174	- 28,8
m_b	- 0,206	11,2
V	0,320	30,0
$m_p m_b$	0,169	- 1,2
$m_p V$	0,215	- 11,2
$m_b V$	- 0,085	-11,2

достоверные результаты, если выполняются такие условия, как нормальное распределение значений исследованных параметров и отсутствие корреляционной связи между коэффициентами в уравнении регрессии. Целесообразность использования в том или ином случае статистического описания конвертерного процесса определялось анализом соотношения:

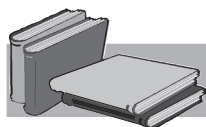
$$\gamma = \sigma^*/\sigma,$$

где σ^* – среднеквадратическое отклонение исходной переменной от среднего значения; σ – остаточное среднеквадратическое отклонение при прогнозировании исходной переменной от уравнения регрессии. Отметим, что при $\gamma = 2$ (погрешность прогноза по среднему значению в 2 раза больше погрешности прогноза по уравнению регрессии) коэффициент множественной корреляции $R \approx 0,86$. Любые действия, которые обеспечивают даже незначительное увеличение R свыше этого предела, будут практически оправданы, так как при этом эффективность прогноза существенно возрастает.

Выводы

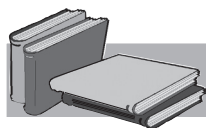
Модель включена как составная часть в математическую модель управления температурным режимом конвертерной плавки для 160-тонных конвертеров.

Приведённые методы были проверены нами при разработке модели статического расчёта металлической части шихты кислородно-конвертерной плавки для ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог».



ЛИТЕРАТУРА

1. Ордынцев В. М. Автоматизация математического описания объектов управления / В. М. Ордынцев. – М.: Машиностроение, 1969. – 208 с.
2. Сергеева К. О. Статичний розрахунок металевої частини шихти киснево-конвертерної плавки / К. О. Сергеева // Спеціальна металургія: вчора, сьогодні, завтра. – К.: ІВЦ Політехніка. – 2009. – С. 222-227.
3. Линник Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы математической теории обработки наблюдений / Ю. В. Линник. – М.: Физматгиз – 1962. – 350 с.



REFERENCES

1. Ordynstsev, V. M. (1969). Avtomatizatsiia matematicheskoho opisaniia ob'ektov upravleniia [Automatization of control object describe]. Moscow: Mechanical engineering. [in Russian].
2. Sergeieva K. O. (2009). Statychnyi rozrakhunok metalevoi chastyny shykhty kysnevo-konverternoii plavky [Static calculation for metal part of BOF mixture]. Special metallurgy: yesterday, today, tomorrow. Kyiv: Polytechnika, pp. 222-227 [in Ukrainian].
3. Linnik Y. V. (1962) Metod naimenshykh kvadratov i osnovy matematicheskoi teorii obrabotki nabludenii [Least squares method and foundations of mathematical processing of observations theory]. Moscow: FizMath. [in Russian].

Анотація

Сергеева К. О., Золотухін С. С., Гришко С. В.

Моделювання киснево-конвертерної плавки з використанням методів математичної статистики

Розглянуто результати експерименту, проведеного на 160-тонних конвертерах. Показано вплив параметрів режиму дуття на процес зневуглюювання ванни і зміни її температури з використанням методів класичного регресійного та кореляційного аналізів.

Ключові слова

модель, конвертер, управління, статистика

Summary

Sergeieva K. , Zolotukhin S., Hryshko S.

BOF modelling with mathematical statistics methods using

The results of experiments made on 160-ton BOF are considered. The Influence of parameters of the mode of blowing on the process of bath decarburization and its temperature change are shown using the methods of classic regression and correlation analysis.

Keywords

model, BOF, control, statistics

Поступила 03.03.2016

Ежемесячный научно-технологический журнал

«Металл и литьё Украины»

предлагает разместить на своих страницах рекламу:

новых технологий, оборудования и изделий, методик и материалов,

предлагаемых товаров и услуг,

информацию об обучении, выставках, конференциях

и другую полезную информацию.