

УДК 669.14.294.014:004.9

А.В. Жаданос, О.Н. Кукушкин, М.И. Гасик

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ АГРЕГАТА КОВШ-ПЕЧЬ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ ЛЕГИРУЮЩИХ ЭЛЕМЕНТОВ В КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ

Аннотация. В результате промышленных экспериментов и последующей обработки экспериментальных данных для конструкционной стали получены регрессионные модели динамики содержания кремния, марганца и углерода в металле в зависимости от количества введенных углеродсодержащих материалов, ферросиликомарганца МнС17, ферросилиция ФС65, что позволяет прогнозировать химический состав стали по этим элементам. По результатам исследований разработана структурная схема автоматизированной информационной системы агрегата ковш-печь.

Ключевые слова. Установка ковш-печь, конструкционная сталь, прогнозирование химического состава, регрессионная модель, адекватность модели, автоматизированная информационная система (АИС).

Введение

Постоянное увеличение требований к качеству выплавляемых сталей обуславливает широкое внедрение внепечной обработки. Одним из основных агрегатов внепечной обработки является установка ковш-печь, которая предназначена для десульфурации, легирования, раскисления металла и подогрева его перед последующими технологическими операциями.

Обеспечение стабильного, регламентированного химического состава металла - важнейшая задача обработки стали на установке ковш-печь. При этом необходимо обеспечить рациональный расход легирующих материалов. Химический состав стали по ходу обработки на печи-ковше контролируется лишь путем периодических отборов проб и последующего из анализа в лаборатории (отбор проб перед обработкой и контрольный отбор проб после обработки). Поэтому важно иметь представление о динамике содержания элементов в металле. Решить указанную задачу можно путем прогнозирования конечного содержания элементов при помощи математических

© Жаданос А.В., Кукушкин О.Н., Гасик М.И., 2010

моделей.

Существуют два типа моделей, характеризующих динамику содержания химических элементов в металле по ходу внепечной обработки стали: физико-химические модели, базирующиеся на законах термодинамики и кинетики, и регрессионные модели. Достоинством первых является высокая точность прогноза [1,2], но построение таких моделей требует весьма сложных вычислений. К тому же реальные значения термодинамических констант отличаются от теоретических, что требует их последующей коррекции на основании полученных экспериментальных данных. В отличие от физико-химических моделей регрессионные модели менее точны, однако и при их применении, возможно получить результаты, удовлетворяющие требованиям к точности прогнозирования [3].

С учетом того, что требования к содержанию легирующих элементов в конструкционных сталях находятся в довольно широком диапазоне, например, сталь для железнодорожных колес по ГОСТ 10791-2004 содержит (0,55-0,65% С; 0,5-0,9% Mn; $S \leq 0,02\%$; 0,22-0,45% Si; $P \leq 0,02\%$; $Ni \leq 0,03\%$; $Cu \leq 0,03\%$; $H \leq 2$ ppm [4]), целесообразно для прогнозирования содержания Si, Mn, С разработать статические регрессионные модели.

Построение регрессионных моделей

Для раскисления и легирования колесной стали применяются следующие материалы: ферросилиций марки ФС65 (63-68% Si) ДСТУ 4127-2002 [5], ферросиликомарганец МнС17 ($Mn \geq 65\%$, 15-20% Si) ДСТУ 3548-97 [5] и углерод в виде электродного боя.

С целью построения регрессионных моделей на установке ковш-печь нами были проведены промышленные эксперименты, в ходе которых контролировались следующие параметры:

Масса металла в ковше - $M_{расп} = 105-115$ т.

Начальное содержание кремния, марганца, углерода в металле перед обработкой в агрегате ковш-печь - $[Si]_{нач}$, $[Mn]_{нач}$, $[C]_{нач}$.

Массы вводимых по ходу обработки в расплав ферросилиция, ферросиликомарганца, углерода - $m_{Ф С65}$, $m_{Мн С17}$, $m_{С}$.

Содержание в стали кремния, марганца, углерода по окончании обработки на ковше-печи - $[Si]_{кон}$, $[Mn]_{кон}$, $[C]_{кон}$.

Изменение содержания в металле кремния, марганца, углерода - $\Delta[\text{Si}]$, $\Delta[\text{Mn}]$, $\Delta[\text{C}]$.

Полученные данные аппроксимированы линейными регрессионными уравнениями с использованием ПЭВМ по методике, приведенной в [6]. Для оценки изменения содержания кремния предложена модель вида

$$\Delta[\text{Si}] = a_1 \cdot m_{\Phi} \text{ C65} + a_2 \cdot m_{\text{Mn}} \text{ C17} + a_3, \quad (1)$$

где a_1 , a_2 , a_3 – коэффициенты уравнения.

Выполнена оценка степени влияния (значимости) коэффициентов регрессионного уравнения на величину изменения содержания кремния $\Delta[\text{Si}]$ по критерию Стьюдента. Значение t -статистики для каждого коэффициента уравнения определяли из выражения [7]

$$t_{a_j} = \left| \frac{a_j}{s_{a_j}} \right|, \quad (2)$$

где a_j – оценка j -го коэффициента регрессии, s_{a_j} – оценка среднего квадратического отклонения коэффициента регрессии.

Оценки среднего квадратического отклонения коэффициентов регрессии оценивали по формулам [6].

$$s_{a_j} = \frac{s_{\text{ост}}}{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{ji} - \bar{x}_j)^2}{n} \cdot \sqrt{n - m - 1}}}, \quad s_{a_0} = \frac{s_{\text{ост}}}{\sqrt{n - m - 1}}, \quad (3)$$

где n – объем выборки, m – количество входных переменных в уравнении, $s_{\text{ост}}^2$ – оценка остаточной дисперсии

$$s_{\text{ост}}^2 = \frac{1}{n - m - 1} \sum_{i=1}^n [y_i - f_i]^2. \quad (4)$$

Полученные значения t -статистики коэффициентов сравнивали с критическим значением $t_{\text{кр}}$, которое определяется в зависимости от числа степеней свободы $k = n - m - 1$ и уровня значимости $\alpha = 0,95$ по специальным таблицам [8]. Если $|t_{a_j}| \geq t_{\text{кр}}$, то коэффициент считают значимым.

В результате вычислений получены значения t -статистики

коэффициентов уравнения (1): $t_{a_1} = 18,7$; $t_{a_2} = 5,3$; $t_{a_0} = 5,5$. Так как значение t -статистики коэффициентов больше критического $t_{кр} = 1,98$, то все коэффициенты уравнения значимы.

Также выполнена оценка адекватности регрессионной модели по критерию Фишера, суть проверки заключается в том, что для полученной регрессионной модели вычисляется значение F – статистики из выражения [9]:

$$F_{расч} = \left(\frac{S_{регр}}{S_{ост}} \right) \cdot \left(\frac{k_2}{k_1} \right), \quad (5)$$

где $k_1 = m$, $k_2 = n - 2$ степенями свободы.

Если вычисленное по формуле (5) значение F – статистики превышает критическое значение распределения Фишера $F_{кр}$, то уравнение считают значимым. $F_{кр}$ для заданного уровня значимости $\alpha = 0,05$ и степеней свободы k_1 , k_2 определяется по специальным таблицам распределения, например, [8].

В результате вычислений получены следующие значения $F_{расч} = 195$, а $F_{кр} = 3,1$ т.е. уравнение (1) значимо, а численные значения коэффициентов $a_1 = 3,2 \cdot 10^{-4}$ и $a_2 = 12,6 \cdot 10^{-5}$, $a_3 = -0,039$ (рис. 1). Коэффициент детерминированности r^2 полученной модели составил 0,82, а абсолютная погрешность прогноза – 0,06%.

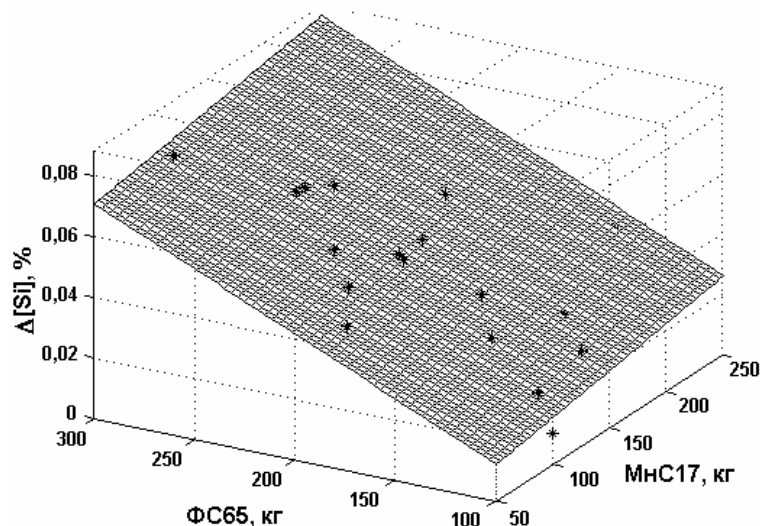


Рисунок 1 - Изменение содержания Si в стали в зависимости от количества введенного ферросилиция - ФС65 и ферросиликомарганца - МnC17

Аналогично получены регрессионные модели изменения

содержания марганца и углерода (рис. 2, 3) с коэффициентами детерминированности $r^2 = 0,81$ и $0,73$ соответственно. Абсолютная погрешность прогноза по $[Mn]$ составляет $0,05\%$, а по $[C]$ - $0,03\%$, что удовлетворяет требованиям к модели.

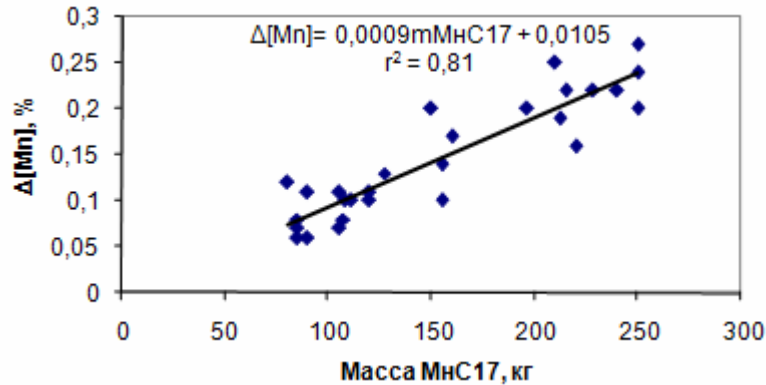


Рисунок 2 - Изменение содержания Mn в стали в зависимости от количества введенного ферросиликомарганца - MnC17

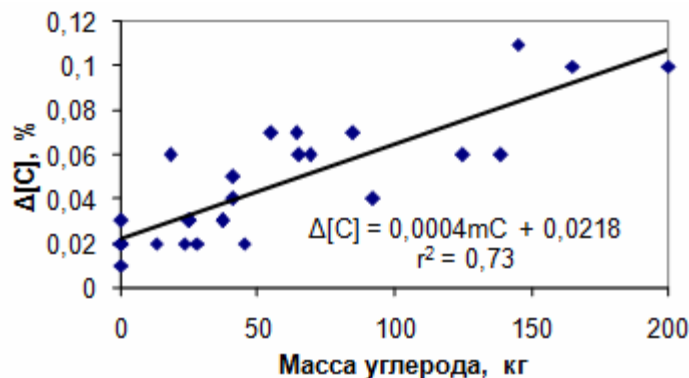


Рисунок 3 - Изменение содержания C в стали

Структурная схема автоматизированной информационной системы

Для реализации полученных моделей в составе действующей АСУ установки ковш-печь предлагается автоматизированная информационная система (АИС) (рис. 1).

Основное назначение АИС заключается в выдаче оператору на пульт управления информации о текущем содержании углерода ($[C]_t$), кремния ($[Si]_t$), марганца ($[Mn]_t$) в металле по ходу его обработки в агрегате ковш-печь и рекомендаций по количеству вводимых в расплав С ($mC_{рек}$), ФС65 ($m\Phi C65_{рек}$), MnC17 ($m Mn C17_{рек}$). АИС состоит из следующих подсистем: «прогноз по $\Delta[C]$ »; «прогноз по $\Delta[Si]$ »; «прогноз по $\Delta[Mn]$ »; «расчет

$[C]_t$ »; «расчет $[Si]_t$ »; «расчет $[Mn]_t$ »; «рекомендации по mC »; «рекомендации по $mMnC17$ »; «рекомендации по $m\Phi C65$ ». Входными параметрами системы являются: $[Si]_{нач}$, $[Mn]_{нач}$, $[C]_{нач}$ (результаты замеров поступают в систему математических моделей через ПМК); количество, время и вид вводимых в расплав химических добавок mC_t , $m\Phi C65_t$, $mMn C17_t$, целевые значения изменения содержания Si, Mn, C - $[Si]_{кон.цель}$, $[Mn]_{кон.цель}$, $[C]_{кон.цель}$ (задаются оператором УКП). Выше перечисленные входные и конечные выходные параметры подсистем совместно с результатами выполняемых промежуточных замеров дополнительно передаются в подсистему «архивации данных». В случае изменения технологии внепечной обработки наличие подсистемы «архивации данных» позволяет выполнить автоматическую коррекцию коэффициентов моделей, заложенных в подсистемы автоматизированной информационной системы.

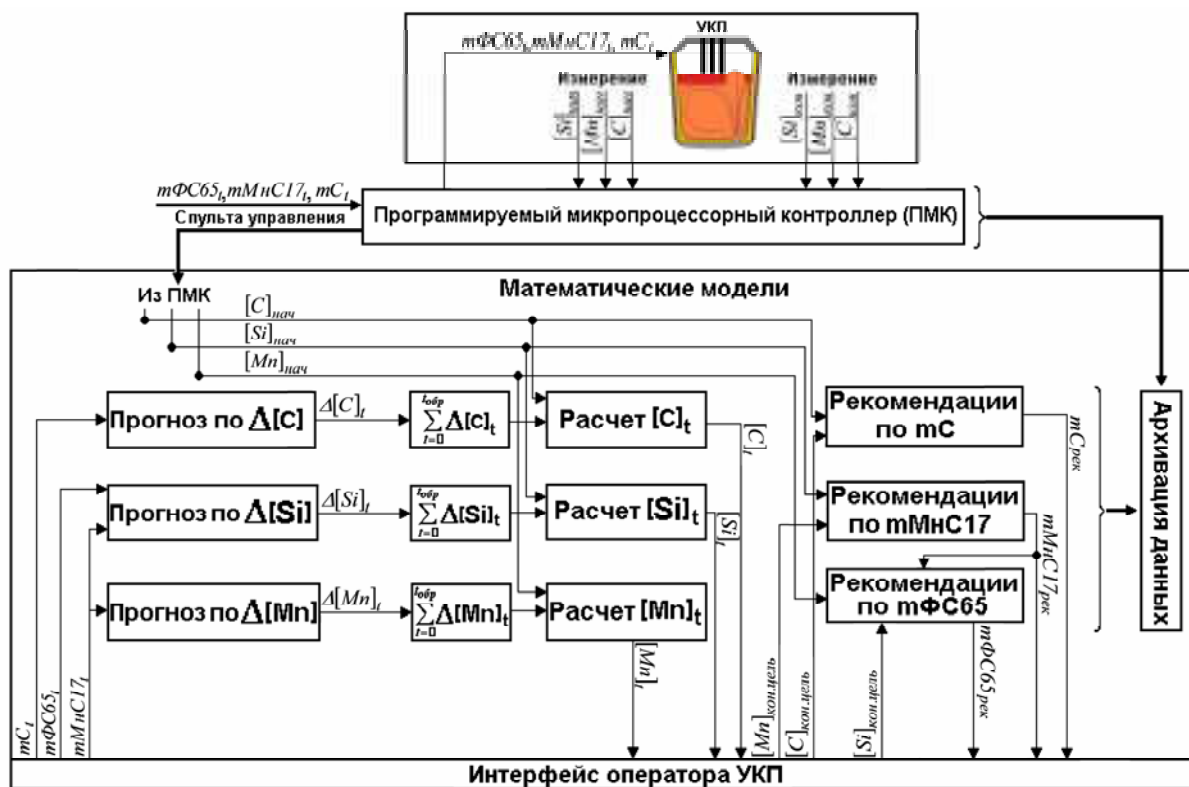


Рисунок 4 – Структурная схема АИС

Данная система реализуется путем интеграции в существующую АСУ ТП участка внепечной обработки стали промышленного компьютера с заложенными в него математическими

моделями.

Выводы

Полученные в работе регрессионные модели позволяют прогнозировать содержание кремния, марганца и углерода в стали по ходу обработки в агрегате ковш-печь.

Разработана структурная схема автоматизированной информационной системы установки ковш-печь для реализации в составе АСУ ТП внепечной обработки стали. Основное назначение автоматизированной информационной системы заключается в выдаче оператору на пульт управления информации о текущем содержании углерода, кремния, марганца в металле по ходу его обработки в агрегате ковш-печь и рекомендаций по количеству вводимых в расплав углерода, ферросиликомарганца, ферросилиция.

ЛИТЕРАТУРА

1. Промышленное освоение компьютерного управления выплавкой стали на БМЗ и ММЗ на основе физико-химической модели ОРАКУЛ / А.Г. Пономаренко, М.П. Гуляев, И.В. Деревянченко [и др.] // Труды пятого конгресса сталеплавателей, г. Рыбница, 14-17 октября 1998 г. – М.: Черметинформация, 1999 - С. 174-177.
2. Казаков С.В. Прогнозирование состава стальных расплавов во время выплавки и внепечной обработки / С.В. Казаков // Металл и литье Украины. – 2005. - №3-4. – С. 17-20.
3. Вихлевщук В.А. Ковшевая доводка стали / В.А. Вихлевщук, В.С. Харахулах, С.С. Бродский. – Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии», 2000 - 190 с.
4. Колеса цельнокатаные. Технические условия: ГОСТ 10791-2004. – М.: Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации 2004. – 10 с.
5. Гасик М.И. Физикохимия и технология электроферросплавов / М.И. Гасик, Н.П. Лякишев – Днепропетровск: ГНПП «Системные технологии», 2005. – 448 с.
6. Кукушкин О.Н. Статистика в Excel / О.Н. Кукушкин, С.В. Бейцун, А.В. Жаданос - Днепропетровск: НМетАУ, 2002. - 64 с.
7. Цымбал В.П. Математическое моделирование металлургических процессов / В.П. Цымбал - М.: Металлургия, 1986. - 240 с.
8. Большев Л.Н. Таблицы математической статистики / Л.Н. Большев, Н.В. Смирнов - М.: Наука, 1965. - 464 с.
9. Математическая статистика: / В.М. Иванова, В.М. Калинина, Л.А.Нешумова [и др.]. - 2-е изд, перераб. и доп. - М.: Высш. школа, 1981. - 371 с.

Получено 24.01.2010г.