

Л.Г.Тубольцев, В.П.Корченко, Н.И.Падун, А.М.Шевченко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К ОПТИМИЗАЦИИ СКВОЗНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОИЗВОДСТВА СТАЛИ

Целью работы является совершенствование теоретических положений по разработке сквозных технологий производства металлопродукции, определяющим признаком которых является использование цепочки следующих друг за другом различных сталеплавильных агрегатов и целевая установка получения конечной металлопродукции с заданным химическим составом, соответствующего качества и с минимальными энергетическими и материальными затратами. Использовано системное решение задачи на основе рассмотрения сквозной технологии как динамически изменяющейся производственной системы. Исследование предназначено для разработки предложений по усовершенствованию процессов производства стали.

сталеплавильные агрегаты, сквозная технология, сталь, химический состав, системная задача, оптимизация

Современное состояние и постановка задачи. При сложившейся на практике последовательности работающих металлургических агрегатов часто используется термин «сквозная» технология производства металлопродукции. Единого определения этого термина пока нет и можно отметить несколько возможных вариантов его использования:

- технология производства металлопродукции с использованием цепочки следующих друг за другом различных металлургических агрегатов для получения металлопродукции с заданным химическим составом и соответствующего качества;
- технология производства металлопродукции с многовариантной возможностью использования различных технологических схем производства металлопродукции;
- технология производства металлопродукции, обеспечивающая минимальные энергетические и материальные затраты.

По нашему мнению, определяющим признаком «сквозной технологии производства металлопродукции» с использованием цепочки следующих друг за другом различных металлургических агрегатов должна являться целевая установка получения конечной металлопродукции с заданным химическим составом, соответствующего качества и с минимальными энергетическими и материальными затратами.

Помимо доменной печи в состав агрегатов для реализации сквозной технологии входят установки внепечной обработки (десульфурации) чугуна, различные сталеплавильные агрегаты (мартен, конвертер, электропечь), установки внепечной обработки стали и подготовки стали к разливке (рис.1).



Рис. 1. Современная схема производства качественной стали.

На современном уровне формирования качества жидкого металла сталеплавильное производство занимает центральное место, а сквозная технология сталеплавильного передела включает все стадии получения металла от выпуска чугуна из доменной печи до разливки стали. Для сталеплавильного передела имеется достаточно много схем использования агрегатов, которые позволяют достигать требуемого качества стали. В современных условиях возрастает потребность производства стали с суммарным содержанием водорода, азота, кислорода, фосфора и серы не более 0,005%. Имеются предпосылки для разработки промышленной технологии производства стали, содержащей 0,006% углерода, 0,0001% серы, 0,0008% фосфора, 0,0005% кислорода, 0,00002% водорода, 0,0014% азота. Такие результаты могут быть получены только при комплексном использовании возможностей сквозной технологии сталеплавильного передела, включающей технологии внепечной обработки чугуна и стали, технологии кислородно-конвертерного и электропечного способа получения жидкого металла. Результатом оптимизации сквозной технологии следует считать достижение максимально возможных положительных результатов в условиях многовариантного решения задачи.

Целью настоящей работы является совершенствование теоретических положений по разработке сквозных технологий производства металлопродукции, определяющим признаком которых является использование цепочки следующих друг за другом различных сталеплавильных агрегатов и целевая установка получения конечной металлопродукции с заданным химическим составом, соответствующего качества и с минимальными энергетическими и материальными затратами. Таким образом, возникает проблема поиска оптимальных вариантов производства стали заданного состава.

Методика исследования. Существует много подходов к моделированию технологических процессов, составляющих основу сквозной техно-

логии. В данной работе использовали один из перспективных подходов, который предусматривает системное решение задачи на основе рассмотрения сквозной технологии как динамически изменяющейся гиперкомплексной производственной системы (ГДС) [1].

Схему описания металлургического производства как ГДС, можно представить следующим образом: «Входные элементы» – «Металлургическое производство» – «Выходные элементы». Для примера рассмотрим кислородно–конвертерную плавку как ГДС систему S с конкретным набором системных составляющих S_n и набором операторов P_n . Операторы P_n определяют последовательность операций для качественного или количественного определения свойств системных составляющих S_n на основе задаваемых исходных данных, которые обозначим символом S_0 . Формализовано процедуру описания системы можно представить в виде:

$$S = S_1 S_2 \dots S_n = \{S_n\}, \quad (1)$$

$$\text{где } S_1 = P_1 S_0; \text{ и соответственно } S_n = P_n S_0 \dots \quad (2)$$

Построение ГДС состоит из нескольких последовательных шагов, первым из которых является формирование элементов модели:

$$S_1 = P_1 S_0 = \{\varphi_1, \varphi_2, \dots, \varphi_n\}, \quad (3)$$

где φ_n – n -ный элемент системы. Например, в упрощенном варианте кислородно–конвертерную плавку можно представить как ГДС, состоящую из 6 элементов: из трех входных – жидкий чугун (φ_1), металлолом (φ_2), и кислород дутья (φ_3), и трех выходных – сталь (φ_4), шлак (φ_5), конвертерный газ (φ_6).

Следующим шагом построения ГДС является определение взаимосвязей Y_{ij} между элементами φ_n системы. В результате получим:

$$S_2 = P_2 S_0 = \{y_{ij}\}_{i,j=1 \dots 6} \quad (4)$$

где S_2 – динамичность, реализуемая за счет взаимосвязи между элементами системы; P_2 – определение каналов взаимосвязи и их характеристика, рассматриваемая с позиций взаимосвязи; y_{ij} – показатель взаимосвязи между конкретными элементами.

В матричном виде реализация свойства динамичности ГДС на примере кислородно–конвертерной плавки представлена в таблице.

Таблица. Матричное представление упрощенной взаимосвязи элементов кислородно–конвертерной плавки

	Элементы системы	1	2	3	4	5	6
1	Жидкий чугун (φ_1)	1	y_{12}	y_{13}	y_{14}	y_{15}	y_{16}
2	Металлолом (φ_2)	y_{21}	1	y_{23}	y_{24}	y_{25}	y_{26}
3	Кислород дутья (φ_3)	y_{31}	y_{32}	1	y_{34}	y_{35}	y_{36}
4	Сталь (φ_4)	y_{41}	y_{42}	y_{43}	1	y_{45}	y_{46}
5	Шлак (φ_5)	y_{51}	y_{52}	y_{53}	y_{54}	1	y_{56}
6	Конвертерный газ φ_6)	y_{61}	y_{62}	y_{63}	y_{64}	y_{65}	1

По главной диагонали $\varphi_i / \varphi_i = 1$ (коэффициент расхода элемента на взаимодействие с самим собой);

y_{ij} , при $i < j$ – коэффициенты взаимосвязи элементов системы между собой (над главной диагональю – для решения прямой задачи расчета выходных параметров по входным элементам);

y_{ij} , при $i > j$ – коэффициенты взаимосвязи элементов системы между собой (под главной диагональю – для решения обратной задачи расчета входных параметров по выходным элементам).

Взаимосвязи между элементами являются важнейшим показателем ГДС и происходят за счет расхода одних элементов и перехода их энергии в другие. Реально в течение определенного времени расходуется не весь элемент φ , а его часть $d\varphi$, которая идет на системное строительство с определенной скоростью. Показатель взаимосвязи y_{ij} , определяет, с каким расходом один элемент системы переходит в другой, индексы i и j указывают на элементы системы. Полная система уравнений, описывающих открытую (правая часть уравнения равна нулю) или закрытую (правая часть уравнения равна I_n) ГДС записывается в следующем виде [2].

$$\begin{aligned} d\varphi_1 + d\varphi_2 \cdot y_{12} + d\varphi_3 \cdot y_{13} + \dots + d\varphi_n \cdot y_{1n} &= 0 \quad (\text{или} = I_n) \\ d\varphi_1 \cdot y_{21} + d\varphi_2 + d\varphi_3 \cdot y_{23} + \dots + d\varphi_n \cdot y_{2n} &= 0 \quad (\text{или} = I_n) \\ d\varphi_1 \cdot y_{n1} + d\varphi_2 \cdot y_{n2} + d\varphi_3 \cdot y_{n3} + \dots + d\varphi_n &= 0 \quad (\text{или} = I_n) \end{aligned} \quad (5)$$

Следующим системным свойством исследуемого объекта является свойство структурности:

$$S_3 = P_3 S_0 \quad (6)$$

где S_3 – постановка задачи определения свойства структурности, которая отображается в виде графа информационных контактов; P_3 – оператор определения элементов графа; S_0 – исследуемая группа объектов системы, которая рассматривается с позиций структурообразования информационной модели. В результате выполнения свойства структурности (3) получим графоаналитическую интерпретацию представления кислородно-конвертерной плавки как ГДС (рис.2).

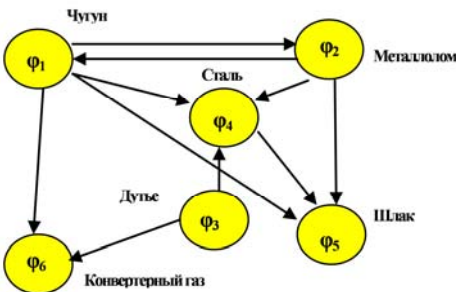


Рис 2. Графоаналитическая интерпретация упрощенного представления кислородно-конвертерной плавки для прямого расчета.

Изложение основных материалов исследования. В конкретном случае реализации матричного представления

взаимосвязи между элементами плавки отражают численные значения количества элемента, перешедших из одного в другой к данному кон-

кретному моменту времени. В каждый иной момент времени уровень реализации системы будет другим. Это является существенным в теории ГДС и отражается так называемым *R*-принципом: каждый объект, процесс или явление всегда находятся в состоянии системной реализации. Матричное представление ГДС – это дискретное представление состояния системы в конкретный момент времени. Для целостного описания процесса кислородно-конвертерной плавки необходимо иметь временные функциональные зависимости перехода одних элементов плавки в другие.

На основе рассмотренного выше подхода можно системно представить дискретное состояние объекта исследования в каждый конкретный момент времени, т.е. составить статическую модель поведения рассматриваемой системы (в данном случае кислородно-конвертерной плавки) как «черного ящика». Однако, основным недостатком дискретного способа представления системных моделей является потеря энергентности, т.е. целостности свойств и абсолютной замкнутости системы. Дополнением к дискретному способу описания является интегральный подход к представлению процессов системного развития, который является еще одной процедурой определения системы и отражает ее состояние по радиусу-вектору развития (*R* – принцип). В связи с тем, что изменение радиуса-вектора напрямую связано с течением времени, *R* – принцип дает возможность определить степень реализации системы во времени.

Один из способов отображения системного развития кислородно-конвертерной плавки через изменение химического состава ванны конвертера во времени представлен на рис.3.

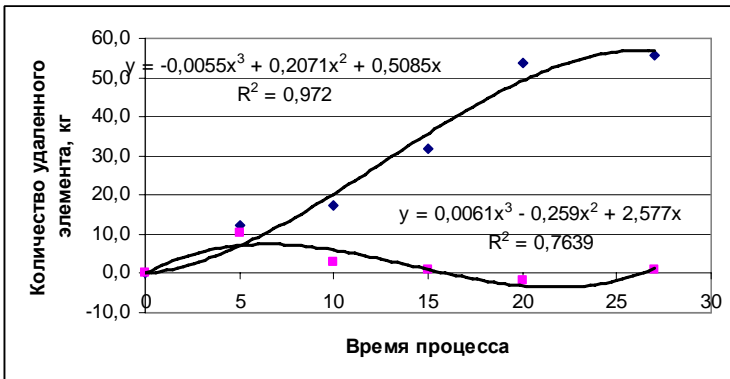


Рис.3. Процесс системной реализации по удалению элементов из кислородно-конвертерной ванны. Верхняя кривая – поведение углерода в металлической ванне по ходу продувки. Нижняя кривая – поведение марганца в металлической ванне по ходу продувки.

Построенные по экспериментальным данным зависимости, представленные на рис.3, свидетельствуют, что системная реализация процесса удаления элементов из ванны конвертера состоит из нескольких фаз и

имеет различный характер для углерода и для марганца, что необходимо учитывать при разработке соответствующих моделей управления процессом плавки. В частности, волнообразный характер удаления и поступления марганца в металлическую часть ванны конвертера свидетельствует о необходимости учета влияния шлаковой части ванны на содержание марганца в металле.

Особенностью производства жидкого металла является то, что изменение технологии на каком-то отдельном переделе неизбежно влечет за собой изменение показателей других переделов. Причем не всегда ухудшение показателей какого-либо отдельного передела означает ухудшение показателей всего комплекса. Например, снижение содержания марганца в чугуне, ухудшает показатели работы кислородного конвертера, но в целом улучшает показатели комплекса доменный цех (ДЦ) – конвертерный цех (КЦ). При разработке модели сквозной технологии сталеплавильного передела, включающей технологии доменной и конвертерной плавки, внепечной обработки чугуна и стали, исходили из того, что на практике реально фиксируется ограниченное количество технологических и качественных параметров, таких, например, как химический состав металлопродукции, температура и количество продукции. Поэтому использован системный подход, предусматривающий прямое использование имеющихся данных, расчетно-аналитическое определение параметров на основе косвенных сведений, а также теоретическое определение недостающих параметров. Все эти данные в качестве входных и выходных параметров системы используются для определения взаимосвязей между ними и составления балансовой модели для расчета и прогнозирования конечных результатов работы сквозной технологии.

Для разработки концептуальной математической модели металлургического производства представлено в виде ГДС системы с внешними связями. Постепенно наращивая количество элементов в исходном определении системы, можно переходить к следующему этапу ее развития, что позволяет расширять возможности системы как математической модели до уровня минимального отклонения от реального состояния исследуемого объекта. В качестве входных и выходных параметров сквозной технологии приняты показатели химического состава, количественные и качественные показатели сырьевых материалов и конечной продукции, технологические параметры производства, которые оказывают определяющие влияние на свойства получаемой металлопродукции.

В общем случае модель сквозной технологии производства стали можно представить в следующем виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_1^1 = f_1^1(\varphi^0, z^1) \\ \varphi_2^1 = f_2^1(\varphi^0, z^1) \\ \dots \\ \varphi_k^1 = f_k^1(\varphi^0, z^1) \\ K_1 = K_1(\varphi^0, \varphi^1, z^1) \end{array} \right. \quad (7) \quad \left\{ \begin{array}{l} \varphi_1^2 = f_1^2(\varphi^1, z^2) \\ \varphi_2^2 = f_2^2(\varphi^1, z^2) \\ \dots \\ \varphi_i^2 = f_i^2(\varphi^1, z^2) \\ K_2 = K_2(\varphi^1, \varphi^2, z^2) \end{array} \right. \quad (8)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_1^3 = f_1^3(\varphi^2, z^3) \\ \varphi_2^3 = f_2^3(\varphi^2, z^3) \\ \dots \\ \varphi_m^3 = f_m^3(\varphi^2, z^3) \\ K_3 = K_3(\varphi^2, \varphi^3, z^3) \end{array} \right. \quad (9) \quad \left\{ \begin{array}{l} \varphi_1^4 = f_1^4(\varphi^3, z^4) \\ \varphi_2^4 = f_2^4(\varphi^3, z^4) \\ \dots \\ \varphi_n^4 = f_n^4(\varphi^3, z^4) \\ K_4 = K_4(\varphi^3, \varphi^4, z^4) \end{array} \right. \quad (10)$$

где каждая из систем (7)–(10) представляет собой набор зависимостей выходных параметров соответствующих переделов от входных параметров, а также от параметров, характеризующих режим управления. K_i – критерии оптимизации по рассматриваемым переделам, z^i – векторы параметров, характеризующих режим управления, φ^{i-1} – векторы входных параметров, φ^i – векторы выходных параметров, $i=1, 2, 3, 4$. Каждому номеру i соответствует определенный технологический передел: 1 – доменная печь, 2 – внепечная обработка чугуна, 3 – кислородный конвертер, 4 – внепечная обработка стали.

Общий вид критерия оптимизации сквозной технологии K будет иметь вид:

$$K = K(K_1, K_2, K_3, K_4, \varphi^0, \varphi^1, \varphi^2, \varphi^3, \varphi^4, z^1, z^2, z^3, z^4) \quad (11)$$

Каждая из функциональных зависимостей f_i^j выходных параметров от входных может быть определена на основе физико–химических закономерностей, эмпирических закономерностей, а также на основе их комбинаций. Безусловно, физико–химические закономерности более точно раскрывают суть процессов, но в некоторых случаях оказывается довольно сложно описать процесс с теоретической точки зрения, поэтому в таких ситуациях используются эмпирические закономерности.

Хорошо известны двухмерные представления при построении функциональных зависимостей между элементами системы, например изменение содержания углерода по ходу плавки в зависимости от времени, количества подаваемого кислорода или другого параметра. В настоящее время математический аппарат обладает достаточно широким кругом методик определения эмпирических закономерностей (например, метод Ти-

хонова или метод наименьших квадратов), а также методов оптимизации задач, в которых используются функции зависимости элемента от нескольких параметров [4]. Для рассмотрения комплексного влияния нескольких параметров и вида применяемой для описания зависимости функции, нами была составлена программа, которая путем перебора всех возможных вариантов линейных моделей устанавливает существенно влияющие параметры и вид их комплексного взаимодействия, т.е. определяет вид математической модели. Для этого был выбран один из наиболее распространенных методов статистической обработки данных – метод наименьших квадратов, а критерием отбора моделей – коэффициент корреляции.

В качестве примера полученных при использовании этой методики результатов приводим расчет изменения содержания углерода по ходу плавки $C_{\text{кон}}$ в зависимости от нескольких переменных, в частности от времени продувки t , интенсивности подачи кислорода Q , исходного содержания в чугуна углерода $C_{\text{нач}}$, кремния $Si_{\text{нач}}$ и марганца $Mn_{\text{нач}}$. При представлении зависимостей в виде линейных функций получена следующая аналитическая зависимость:

$$C_{\text{кон}} = 1,557 + 0,393t + 1,039Q - 0,168C_{\text{нач}} + 0,021Mn_{\text{нач}} + 0,004Si_{\text{нач}} \quad (11)$$

$$(R^2 = 0,8637)$$

В зависимости от времени продувки, интенсивности подачи кислорода, исходного содержания в чугуна углерода, кремния и марганца проведено сравнение экспериментальными данными с результатами расчета содержания углерода в металлической ванне по ходу кислородно-конвертерной плавки по уравнению (11) и при использовании функций более сложного вида, дающих коэффициент корреляции $R^2 = 0,9469$ (рис.4).

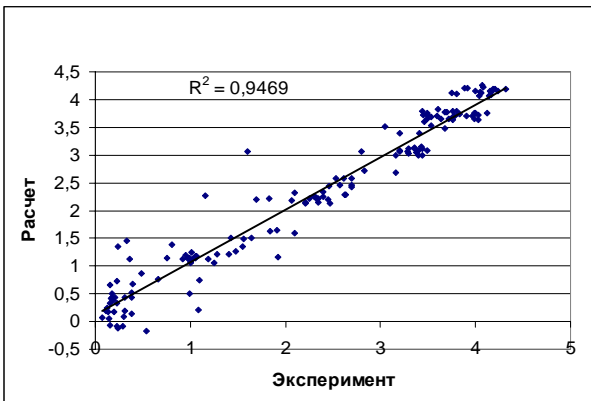


Рис.4. Сравнение расчетных и экспериментальных данных содержания углерода в металлической ванне по ходу кислородно-конвертерной плавки.

Показано, что вид используемой для расчетов функции имеет существенное значение для получения достоверных результатов. Полученные таким образом взаимосвязи между комплексом параметров можно использовать для

управления процессом кислородно–конвертерной плавки, для модельного исследования различных теоретических положений, для разработки динамических моделей кислородно–конвертерной плавки и сквозных технологий сталеплавильного передела.

При использовании модели для оценки роли составляющих сквозных технологий сталеплавильного передела возникает вопрос о критериях оптимальности. Представляется, что нельзя ориентироваться только на один самый представительный критерий. В зависимости от конкретных условий такими критериями могут быть: себестоимость, приведенные затраты, экологические факторы, производительность и т.д. – т.е. структура модели должна обеспечивать возможность использования самых разнообразных критериев.

Рассмотрим возможные критерии оценки каждой составляющей сквозной технологии сталеплавильного передела и используемые взаимосвязи между входными и выходными элементами системы.

Доменное производство.

Оптимизация входных и выходных параметров при производстве чугуна является важным элементом сквозной технологии. Такие задачи успешно решались многими исследователями [3].

Затраты на получение чугуна заданного качества определяются:

- составом и свойствами топлива (кокс, природный газ, мазут и др.);
- условиями доменной плавки, включающими заданный или выбранный шлаковый режим, дутьевые параметры (концентрация кислорода, температура, давление, расход), характер комбинированного дутья (природный газ, пылеугольное топливо, мазут и др.), режимом фурменной зоны (температура, энергия, геометрия), состоянием колошника (давление, температура, распределение материалов и газов и др.).

Суммарным критерием, определяющим затраты (технические и денежные) на получение чугуна заданного качества является расход тепла на процесс и, в частности, расход кокса, стоимость которого наиболее высока. Приведенные выше факторы обуславливают численные значения основных параметров, управляющих составом и физическим состоянием чугуна, выдаваемого из доменной печи.

В практике встречаются в основном две задачи, связанные с прогнозированием состава и управлением качеством чугуна, выплавляемого в доменных печах. В одном случае задан состав чугуна и известны ресурсы, т.е. возможный набор шихтовых материалов и их химический состав. Необходимо при этом определить рациональное соотношение их в доменной шихте и расходы, обеспечивающие выплавку чугуна заданного состава при сложившихся технологических возможностях на данном предприятии. В другом случае известны расходные компоненты шихты и состав материалов, а задача связана с установлением прогнозного состава чугуна, определяемого термодинамическими возможностями системы и техническими параметрами плавки. Важнейшим признаком чугуна является

наличие углерода, однако доменная плавка пока не позволяет в широких пределах регулировать его содержание. В определенных пределах в процессе доменной плавки можно изменять содержание таких элементов химического состава, как кремний, марганец, сера и некоторые другие, определяемые составом исходной шихты. В связи с тем, что возможности регулирования химического состава чугуна в доменной печи ограничены, при анализе сквозной технологии сталеплавильного передела доменный процесс учитывали только как обеспечивающий входные параметры для внепечной обработки чугуна.

Внепечная обработка чугуна. Обеспечение заданного химического состава стали начинается с внепечной обработки чугуна, главной задачей которой является снижение содержания серы или фосфора. В мировой практике отработано достаточно много вариантов внепечной обработки, различия которых, в основном, связаны с используемыми реагентами и конструктивными решениями их ввода в жидкий чугун.

Достаточно интересным и немаловажным представляется рассмотрение процесса внепечной обработки чугуна в системе сквозной технологии производства стали, и установление взаимосвязей между основными технологическими параметрами и качественными характеристиками обрабатываемого металла. Установлены параметры обработки, которые наиболее существенно влияют на экономичность производства жидкого металла [5], в частности:

- расход реагентов на внепечную обработку расплава, обеспечивающую требуемое для сталеплавильного передела содержание серы и фосфора в чугуне;

- выход обработанного чугуна из 1т чугуна, полученного в доменном цехе.

Однако, это не единственные существенно влияющие параметры. Различные заводские условия также вносят поправки в расчет удельного расхода магния, например, существенно влияющими параметрами являются глубина погружения фурмы, масса обрабатываемого чугуна и отношение массы чугуна к глубине погружения фурмы. Анализ экспериментальных данных показал, что рассматривать влияние этих трёх параметров в отдельности не представляется возможным. Поэтому вид искомого уравнения регрессии, учитывающего комплексное влияние нескольких параметров, представим следующим образом:

$$y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + a_3 x_3, \quad (13)$$

где x_1 – отношение массы чугуна к глубине погружения фурмы,

x_2 – процентное содержание серы в чугуне до обработки,

x_3 – задаваемое, желательное содержание серы после обработки,

a_i – искомые коэффициенты.

В качестве базы экспериментальных данных использованы результаты промышленных испытаний десульфурации чугуна гранулированным магнием на металлургических комбинатах. Для проверки адекватности

найденного уравнения рассмотрен коэффициент корреляции между расчетными и экспериментальными данными (рис.5).

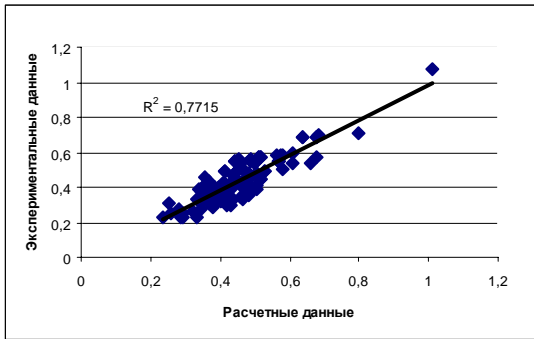


Рис.5. Проверка адекватности уравнения регрессии.

Полученный коэффициент корреляции свидетельствует о комплексном влиянии рассмотренных параметров на расход металлического магния.

Модель «Внепечная обработка чугуна» кроме основных модельных параметров – расхода реагента и расходного коэффициента по чугуну должна обеспечивать расчёт входных параметров для модели «Сталеплавильное производство», в т.ч.таких:

- количество попадающего в конвертер шлага;
- химсостав шлага;
- температура чугуна, сливаемого в конвертер.
- вид внепечной обработки чугуна (десульфурация, комплексная обработка – десиликонизация и дефосфорация);
- вид реагента;
- тип ковша (чугуновозный или заливочный);
- схема организации процесса от доменной печи до конвертера.
- масса чугуна в ковше до обработки;
- температура чугуна;
- масса шлага в ковше;
- содержание S, P, Si в чугуне до обработки;
- состав шлага до обработки;
- требуемое содержание S, P после обработки.

Такая модель может быть использована для оптимизации организации внепечной обработки чугуна на существующих металлургических предприятиях и выбора оптимальной технологии для создаваемых мощностей, а также может найти самостоятельное применение на действующих объектах десульфурации чугуна для осуществления оперативного контроля экономичности процесса десульфурации. Реализация модели позволит гибко реагировать на конъюнктуру рынка реагентов и требования сталеплавильного производства.

Сталеплавильный передел. В соответствии с Государственной программой развития и реструктуризации ГМК Украины наиболее перспективной схемой металлургического завода являются интегрированные

предприятия полного металлургического цикла с выплавкой до 70% стали в конвертерах. Это позволяет рассматривать конвертер как основной металлургический агрегат для выплавки стали и обуславливает необходимость глубокого изучения возможностей использования кислородного конвертера в качестве основного агрегата для получения новых материалов и энергосберегающих видов производства металлопродукции.

Имеющиеся сегодня в распоряжении специалистов модели кислородно-конвертерного производства позволяют прогнозировать поведение выходных элементов плавки, однако остается нерешенным целый ряд теоретических вопросов. В частности, требует осознания механизм обезуглероживания металла по ходу кислородно-конвертерной плавки, не выявлена возможность управления структурообразованием жидкого металла в процессе плавки, что пока не позволяет создать динамическую модель плавки и надежно прогнозировать конечные ее результаты. Динамическая модель призвана решать следующие задачи:

- Расчет расходных коэффициентов, остаточных содержаний Mn, S, P и себестоимости стали при изменении состава и расхода: чугуна жидкого и твердого, металлолома, ферросплавов или их отходов, известняка, железорудных материалов, кислорода и требуемых конечных параметров: температуры стали, основности шлака, содержания углерода после остановки продувки. При этом необходимо учитывать способ разлива (на УНРС или в слитки) и варианты процесса (продувка сверху кислородом или комбинированная продувка кислород сверху, нейтральные газы снизу).

- Выбор способа достижения заданного содержания углерода.
- Выбор способа достижения заданной температуры металла при дефиците металлолома: охлаждение железорудными материалами, известью, известняком, конвертерным шлаком, либо повышение содержания углерода на выпуске.
- Выбор способа достижения заданного содержания серы в стали: повышение основности шлака, додувки, применение жидкого синтетического шлака или твердых шлаковых смесей.
- Выбор способа достижения заданного содержания фосфора в стали: повышение основности шлака, додувки, применение низкофосфористых ферросплавов.
- Выбор способа достижения заданной температуры металла при дефиците чугуна: применение твердого топлива (угли, ферросплавы или их отходы), увеличение содержания кремния в чугуне, увеличение степени дожигания CO до CO₂ в полости конвертера, предварительный нагрев лома, снижение содержания углерода после продувки («передув»).

Для разработки модели кислородно-конвертерной плавки авторами установлены взаимосвязи между входными и выходными элементами хи-

мического состава чугуна и стали, а также технологическими параметрами кислородно-конвертерной плавки [6,7].

Внепечная обработка стали. Это завершающий передел в сквозной технологии производства стали и здесь еще не решены как в теоретическом, так и в практическом плане многие вопросы эффективного использования агрегатов. В качестве исходных данных для построения модели «Внепечная обработка стали» могут быть использованы следующие параметры:

- технологический подход (обработка жидким синтетическим шлаком, покровная смесь, твёрдая шлаковая смесь, вдуваемая в ковш и т.д.);
- химический состав стали после сталеплавильного передела;
- требуемый химический состав стали после её обработки.

Исходя из главной задачи сквозной технологии (получение готовой продукции заданного качества с минимальными энергетическими и ценовыми затратами) оптимизация входных и выходных параметров на каждом этапе технологии металлургического передела включает решение задач:

1. Нахождение таких значений входных и выходных параметров (материального состава шихтовых материалов, расхода энергоресурсов, значения технологических параметров), которые в сумме давали бы оптимальное соотношение характеристик количества, качества и ценовых параметров продукции.

2. Установление состава и схемы производства продукции в последовательно расположенных металлургических агрегатах для получения оптимальных качественных, количественных и ценовых характеристик продукции.

Заключение. Решение задачи оптимизации сквозной технологии сталеплавильного передела включает комплекс теоретических и экспериментальных исследований по выявлению закономерностей и взаимосвязей между входными и выходными параметрами производства, по изучению влияния технологических и конструкционно–структурных параметров современных технологических линий на возможность производства новых видов металлопродукции с заданными служебными свойствами. Выявленные в настоящее время закономерности и взаимосвязи входных и выходных параметров процессов получения жидкой стали могут быть использованы для прогнозирования перспективы и разработки предложений по использованию в условиях сталеплавильного комплекса Украины новых технических решений при производстве новых видов металлопродукции.

1. *Малюта А.Н.* Закономерности системного развития.–Киев: Наукова думка. – 1990. –136 с.

2. Л.Г.Тубольцев. Теоретические принципы разработки программ развития промышленных систем //Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб.научн.тр. Вып.3. – Київ, «Наукова думка». – 1999, – С.24 – 32.
3. Сквозная модель производства жидкого металла, включающая технологию доменной и конвертерной плавки, внепечной обработки чугуна и стали / Р.В.Старов, Д.Н.Тогобицкая, В.С.Харахулах и др. //Металл и литье Украины. – 1995. – №1. – С. 14– 17.
4. Химмельблау Д. Анализ процессов статистическими методами. – М.: Мир, 1973.
5. Шевченко А.М., Шевченко С.А. Применение метода статистической обработки экспериментальных данных для технико-экономической оценки сквозной технологии сталеплавильного передела //Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб.научн.тр. Вып.17. – Київ, «Наукова думка». – 2008, – С.124 – 129.
6. Исследование различных вариантов кислородно-конвертерной плавки в условиях увеличенной доли лома в металлошихте / В.П.Корченко, Л.Г.Тубольцев, В.Ф.Поляков, Н.И.Падун, А.М.Шевченко //Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб.научн.тр. Вып.14. – Київ, «Наукова думка». – 2007, – С.154 – 162.
7. Закономерности дефосфорации и десульфурации на заключительных этапах кислородно-конвертерной плавки с комбинированной продувкой / В.П.Корченко, Л.Г.Тубольцев, В.Ф.Поляков, Н.И.Падун, А.М.Шевченко //Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. Сб.научн.тр. Вып.19. – Київ, «Наукова думка». – 2009, – С.144 – 151.

*Статья рекомендована к печати:
заместитель ответственного редактора
раздела «Сталеплавильное производство»
канд.техн.наук, проф. В.П.Пиптюк*

Л.Г.Тубольцев, В.П.Корченко, Н.И.Падун, А.М.Шевченко

Використання системного підходу до оптимізації наскрізних технологій виробництва сталі

Метою роботи є удосконалення теоретичних положень щодо розробки наскрізних технологій виробництва металопродукції, визначальною ознакою яких є використання ланцюжка різних сталеплавильних агрегатів і цільова установка отримання кінцевої металопродукції із заданим хімічним складом, відповідної якості та з мінімальними енергетичними і матеріальними витратами. Використано системне вирішення задачі на основі розгляду наскрізної технології як виробничої системи, що динамічно змінюється. Дослідження призначене для розробки пропозицій щодо удосконалення процесів виробництва сталі.