

Б.М. Бойченко, К.Г. Низяев, А.Н. Стоянов,
Л.С. Молчанов, Е.В. Синегин

ПАРАМЕТРИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВЫПЛАВКИ СТАЛИ В КИСЛОРОДНОМ КОНВЕРТОРЕ

Аннотация. Статья посвящена актуальной проблеме анализу особенностей математического описания процесса выплавки стали в кислородных конвертерах. В ней представлена концепция двухуровневого алгоритма процесса выплавки стали в кислородном конвертере. Проведена параметризация основных технологических операций по выплавке стали в соответствии с предложенной моделью алгоритма.

Ключевые слова: кислородный конвертер, сталь, двухуровневый алгоритм, статическая модель, динамическая модель.

Постановка проблемы

На современном этапе развития металлургического производства особое место уделяется процессам автоматизации технологических процессов. Данная задача успешно решается в сфере машиностроения и обработки материалов, но в технологических процессах производства чугуна и стали еще полностью не решена на уровне, который бы удовлетворял требования производства. Это связано, в первую очередь, с системным характером указанных выше технологических операций, а также с высокими скоростями протекания физико-химических превращений.

Анализ публикаций по теме исследования

Первоначально управление ходом протекания процесса выплавки стали в кислородных конвертерах осуществлялось непосредственно дистрибьюторщиком конвертера. При этом процесс выплавки зависел от квалификации технического персонала, а само производство отличался значительным количеством плавов с додувками по углероду и температуре [1, 2]. В процессе расширения теоретических представлений о закономерностях рафинирования металла в кислородных конвертерах был создан ряд статических моделей. Они позволяли с высокой степенью точности прогнозировать расход материалов

© Бойченко Б.М., Низяев К.Г., Стоянов А.Н., Молчанов Л.С., Синегин Е.В., 2017

на плавку в целом [3]. Базой для создания статической модели кислородно-конвертерной плавки является материальный и тепловой балансы, а точность прогнозирования определяется верным определением дополнительных параметров (тепловые потери конвертера, загрязнение лома и т.д.) [4]. При этом существенным недостатком такого прогнозирования является невозможность определения динамики основных технологических показателей плавки. По мере усовершенствования методов контроля и измерения основных параметров кислородно-конвертерной плавки появились динамические модели прогнозирования. Их внедрение позволяет определять основные технологические параметры плавки в любой момент времени. При этом необходимо внедрение значительного количества дополнительного дорогостоящего оборудования для осуществления контроля технологических параметров [5-7].

Цель и задачи исследований

Для современных условий металлургического производства характерен дефицит качественных шихтовых материалов. Что приводит к необходимости применять материалы со значительным колебанием химического и фракционного состава, использовать в процессе конвертерной плавки нетрадиционные материалы. Такое развитие событий приводит к значительному усложнению процесса выплавки стали в кислородных конвертерах, снижению его эффективности и повышению себестоимости жидкой стали. При этом единственным действенным способом преодоления сложившейся ситуации является разработка усовершенствованных методов прогнозирования результатов кислородно-конвертерной плавки, которые учитывали бы как статические, так и динамические модели.

Основная часть

Для эффективного прогнозирования процесса и результатов выплавки стали в кислородных конвертерах необходимо учитывать как статические, так и динамические алгоритмы при этом предлагаемая модель будет иметь двухуровневый характер (рисунок 1).

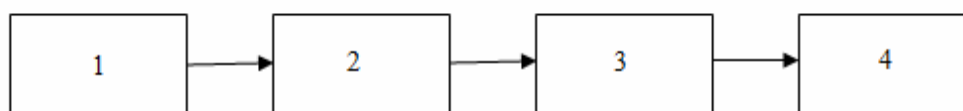


Рисунок 1 – Схема двухуровневого алгоритма моделирования выплавки стали в кислородных конвертерах: 1 – входные параметры; 2 – прогнозирование с учетом статических моделей; 3 – уточнение технологических операций с применением динамических моделей; 4 – результаты плавки

На первом уровне осуществляется предварительная оценка процессов выплавки стали в кислородных конвертерах, позволяющая определить необходимые расходы кислорода, шлакообразующих материалов, металлического лома и других охладителей, а также жидкого чугуна на плавку. Следующим этапом расчета является уточнение определенных расходов материалов и порядка их присадки в процессе плавки. Это решается за счет применения динамических моделей.

Для успешной реализации запланированного двухступенчатого алгоритма необходимо провести адекватную параметризацию процесса выплавки стали в кислородных конвертерах. Особенностью данной операции является выделение наиболее значимых факторов для каждого из уровней алгоритма. Дифференцирование технологических факторов в соответствии с основными блоками, разработанного алгоритма представлено в таблице 1.

В ходе выполнения исследований были проанализированы нормативные документы [8, 9], регламентирующие технологические особенности по выплавке стали в кислородных конвертерах, определено, что к основным факторам, определяющим особенности ведения плавки, можно отнести: разновидность применяемой технологии по выплавке стали в кислородных конвертерах; химический состав, конечную температуру и массу готовой стали.

Применяемые в алгоритме статистические модели базируются на выполнении закона сохранения энергии и массы, который реализован в основных уравнениях теплового и материального балансов кислородно-конвертерной плавки [10]. Поэтому при осуществлении расчетов на их базе необходимо задаться следующими уточняющими параметрами: количество, химический и фракционный состав приме-

няемых материалов; тепловые потери конвертера. В результате расчета по статическим моделям формируется решение о необходимом количестве материалов затраченных на плавку в целом.

Учитывая, что процесс выплавки стали отличается высокими скоростями рафинировочных процессов, то обязательной операцией в алгоритме его описания является уточнение основных технологических параметров в соответствии с динамическими моделями. Данные модели базируются на основных кинетических уравнениях физико-химических реакций, характерных для условий выплавки стали в кислородных конвертерах [11, 12]. Таким образом, в соответствии с разработанным алгоритмом, определено, что в качестве исходных параметров применяются результаты расчетов по статическим моделям. Кроме того, расчет динамических параметров предполагает использование следующих параметров: особенности дутьевого режима плавки (динамика изменения положения фурмы и расхода кислорода по ходу плавки); шлаковый режим (динамика присадки шлакообразующих и наведения шлака); необходимость проведения дополнительных технологических операций в ходе выполнения плавки (скачивание вспененного шлака, проведение додувок). Для эффективного расчета по динамическим моделям необходимо предусмотреть размещение дополнительного оборудования по фиксации динамики изменения химического состава отходящих газов, температуры ванны и положения фурмы. Причем указанное выше оборудование должно быть включено в состав систем АСУ ТП кислородного конвертера.

Прогнозирование плавки стали в кислородном конвертере должно обеспечить достижение наиболее значимых параметров выплавки стали в кислородных конвертерах: необходимую длительность плавки, заданный химический состав, температуру и массу стали.

Применение в составе алгоритма двух уровней расчета позволяет предварительно, до проведения плавки, определить необходимые расходы шихтовых материалов и уточнить их количество и режим введения в металлическую ванну непосредственно во время проведения плавки. Таким образом, реализация предложенной схемы алгоритма по прогнозированию результатов плавки в кислородном конвертере должна существенно упростить данный процесс и значительно снизить долю плавков осуществленных с додувками.

**Параметризация технологической операции по выплавки стали в
кислородных конвертерах**

№	Вид параметров	Виды параметров
1.	Входные параметры	- вариант применяемой технологии; - температура и заданный химический состав стали; - заданная масса стали.
2.	Уточняющие параметры для расчета по статическим моделям (1 уровень алгоритма)	- количество, габариты и химический состав металлического лома; - тепловые потери конвертера; - химический состав и температура чугуна; - степень чистоты кислорода.
3.	Входные параметры для расчетов по динамическим моделям (определены по результатам статического расчета)	- количество чугуна на плавку; - количество шлакообразующих материалов на плавку; - количество добавочных материалов на плавку; - расход кислорода.
4.	Уточняющие параметры для расчета по динамическим моделям (2 уровень алгоритма)	- дутьевой режим (расход кислорода, положение фурмы); - шлаковый режим (применение дополнительных шлакообразующих материалов, режим присадки); - дополнительные технологические операции (скачивание шлака, додувки).
5.	Результаты плавки	- заданная длительность продувки; - заданная температура стали; - заданный химический состав стали; - заданную массу стали.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

1. На основании выполненных исследований установлены наиболее характерные особенности прогнозирования результатов кислородно-конвертерной стали как с применением статических, так и динамических моделей.

2. Предложена схема двухстадийного алгоритма прогнозирования кислородно-конвертерной плавки с объединением как статических, так и динамических моделей.

3. Проведена параметризация процесса выплавки стали с учётом особенностей разработанного двухстадийного алгоритма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баптизманский В. И. Теория кислородно-конвертерного процесса.— М.: Металлургия, 1975.—375с.
2. Якушев А.М. Справочник конверторщика / А.М. Якушев. – Челябинск: Металлургия, 1990. – 448 с.
3. Разработка технических решений по комплексному совершенствованию дутьевого, шихтового и шлакового режимов конвертерной плавки / Отчёт по НИР. – Инв.№ Х060030002. –Днепропетровск: НМетАУ. – 2014. – 73 с.
4. Колпаков С.В. Технология производства стали в современных конвертерных цехах / Колпаков С.В., Старов Р.В., Смоктий В.В. - М.: Машиностроение, 1991. – 464с.
5. Celso Dias. Blow end manganese control with manganese ore addition / Celso Dias. – Proceedings of The 6th European Oxygen Steelmaking Conference – Stockholm 2011. – P. 1-07.
6. Yu Miyamoto. Reduction of specific consumption of auxiliary materials by improvement of calculation models for BOF blowing / Yu Miyamoto, Takashi Fujita. – Proceedings of The 6th European Oxygen Steelmaking Conference – Stockholm 2011. – P. 1-10.
7. Замкнутая система управления кислородно-конвертерной плавкой / В.С. Богушевский, С.В. Жук, С.Г. Мельник, Е.Н. Зубова // Литье и металлургия. – 2013. – №3 (72). – С. 207 – 211.
8. ТИ 230-С320-12. Выплавка конвертерной стали [Технологическая инструкция]. Утв. 31.07.2012. Днепродзержинск: ПАО «Днепроровский металлургический комбинат им. Ф.Э. Дзержинского», 2012. – 53 с.
9. ТИ–233-СТ.КК-02-2014. Производство конвертерной стали [Технологическая инструкция]. Утв. 01.02.2014. Днепропетровск: ПАО «Евраз-ДМЗ им. Петровского», 2014. – 95 с.
10. Бойченко Б.М. Конвертерне виробництво сталі: теорія, технологія, якість сталі, конструкції агрегатів, рециркуляція матеріалів і екологія: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.] / Бойченко Б.М., Охотський В.Б., Харлашин П.С. – Дніпропетровськ: РВА“Дніпро-ВАЛ”, 2006. – 456с.
11. Бигеев А.М. Математическое описание и расчёты сталеплавильных процессов [Учеб. пособие для ВУЗов] / А.М. Бигеев. – М.: Металлургия, 1982. – 160 с.
12. Рожков И.М. Математические модели конвертерного процесса / И.М. Рожков, О.В. Травин, Д.И. Туркенич. – М.: Металлургия, 1978. – 184 с.