

Н.М.Можаренко, А.А.Параносенков, Н.М. Загоровская

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ НА ПРОЦЕССЫ РАСТВОРИМОСТИ УГЛЕРОДА В ЧУГУНЕ

Проанализирована и уточнена регрессионная модель определения содержания углерода в чугуне в зависимости от параметров доменной плавки. Теоретически обосновано влияние ряда параметров доменной плавки на науглероживание чугуна.

Постановка задачи.

Процессы растворения углерода в чугуне доменной плавки долгое время не подвергались глубокому изучению специалистов металлургии чугуна. Хотя в литейном производстве еще в 50-х годах прошлого века были созданы технологии выплавки малоуглеродистого чугуна в вагранке [1], общепринятым мнением теории доменного процесса долгое время признавалась невозможность управления науглероживанием чугуна в доменной печи, высказанная Павловым М.А. [2] Рекомендовалось не обращать внимания на процессы растворения углерода в чугуне, и отмечались неудачные технологические попытки снижения его содержания с целью экономии топлива. Дальнейшее развитие изучение вопроса науглероживания чугуна в доменной печи получило в работе [3], показавшей, что содержание углерода в чугуне при современных условиях доменной плавки главным образом зависит от ее параметров. Из этого следовало, что, изучив механизм влияния параметров плавки на растворение углерода в чугуне, можно было бы им управлять или, по крайней мере, оперативно контролировать эффективность управляющих воздействий с помощью параметров на процессы тепло-массообмена в доменной печи, определяющие степень науглероживания чугуна. Управление же процессами растворения углерода в чугуне позволит совершенствовать приемы эффективного формирования карбидосодержащего гарнисажа на футеровке горна и снижения эрозии углеродистых блоков металлоприемника от воздействия продуктов плавки. Кроме того, в дальнейшем переделе от содержания углерода в чугуне во многом зависела как динамика рафинирования и нагрева сталеплавильной ванны, так и конечный состав и температура металла [4], что предопределяло необходимость управления процессами науглероживания чугуна в доменной печи.

Анализ состояния проблемы.

Специалисты «Азовстали» в 70-х годах прошлого века, исследуя связь показателей работы печи с содержанием углерода в чугуне, вывели эмпирическую зависимость, в которой главное влияние на уровень науглероживания оказывали параметры плавки [5]:

$$[C] = -0,00329 \cdot f + 0,000545 \cdot t_d - 0,0745 \cdot n + 3,908, \quad (1)$$

где f – влажность дутья, г/м³,
 t_d – температура дутья, °С,
 n – число выпусков в сутки.

Несколько позднее установлено, что основное влияние на содержание углерода в литейном доменном чугуне оказывают температура дутья и содержание в нем кремния [6]. Хотя это относится к выплавке особой марки чугуна, термодинамический уровень растворения углерода в расплавах Fe–C–Si существенно зависит от температуры системы и содержания в ней кремния, на которую в доменной плавке оказывает прямое влияние температура дутья [7].

Фирмой Bechtel Group, Inc. (США) запатентован способ, обеспечивающий выплавку чугуна с содержанием серы менее 0,1% на сернистом топливе с сернистым восстановительным газом без использования извести или известняка [8]. По одному из пунктов изобретения чугун насыщается углеродом до содержания 4,5 – 5,0 мас.% в зоне плавления плавильной системы, что усиливает десульфурацию чугуна. Данный способ плавки показывает то, что насыщение углеродом чугуна позволяет снизить содержание в нем вредных примесей благодаря вытеснению серы углеродом.

Однако в этих работах остались невыясненными теоретическое обоснование влияния параметров доменной плавки на содержание углерода в чугуне и пути управления процессами его науглероживания. Поэтому, учитывая то, что выяснилось важное влияние параметров доменной плавки на содержание углерода в чугуне, было проведено изучение ряда параметров: температуры дутья, влажности дутья и режима выдачи жидких продуктов плавки.

Изложение основных материалов исследования.

Для решения этой задачи был проведен расчетно–аналитический эксперимент с применением зависимости (1). Данные для расчетов брались из показателей работы доменной печи полезным объемом 2000 м³ одного из зарубежных заводов в период с 15 по 27 января 1990 г.

На доменной печи среднее значение температуры дутья составляло 896°С. Увлажнение дутья применялось для быстрого и эффективного регулирования теплового состояния печи. Топливные добавки не применялись. Средний расход горячего дутья – 2952 м³/мин. Среднее давление горячего дутья – 2,62 атм.

На основе результатов расчетного анализа зависимость (1) была уточнена для условий работы исследуемой доменной печи:

$$[C] = 0,000535 \cdot f + 0,000368 \cdot t_d - 0,01932 \cdot n + 4,0017. \quad (2)$$

Анализ результатов эксперимента показал, что наиболее действенным фактором, влияющим на содержание углерода в чугуне, является количество выпусков чугуна. Увеличением количества выпусков чугуна из доменной печи уменьшает содержание в нем углерода (рис.1).

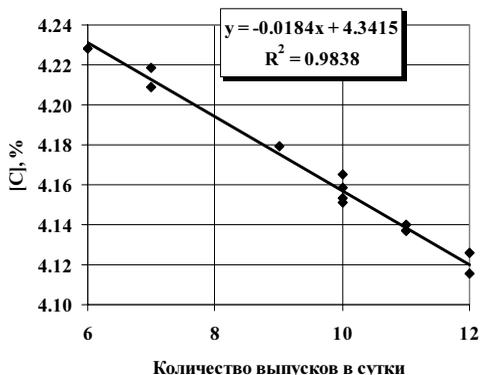


Рис.1. Зависимость содержания углерода в чугуна от количества его выпусков по данным работы доменной печи с 15 по 27 января 1990 г.

Полученная зависимость имеет линейный характер, величина достоверности аппроксимации равна 0,9838. Кроме того, аналитическая оценка показала, что каждому определенно-

му суточному количеству выпусков чугуна соответствует свой диапазон концентрации углерода.

Так как суточное количество выпусков чугуна соответствует времени его контакта с коксовой насадкой в горне, то лимитирующей зоной уровня науглероживания чугуна в изучаемой доменной печи следует признать металлоприемник.

Увеличение влажности дутья увеличивало содержание углерода в чугуне (рис.2), причем влияние влажности повышается при одинаковом количестве выпусков чугуна.

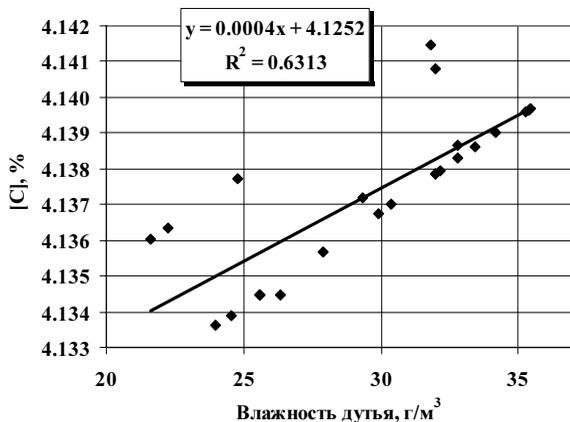
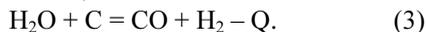


Рис.2. Зависимость содержания углерода в чугуна от влажности дутья по данным работы доменной печи 20 января 1990 г.

В условиях избытка углерода разложение водяных паров в горне происходит с образованием водорода и

оксида углерода, и поглощением теплоты:



При этом следует понимать, что увлажнение дутья сопровождается:

- снижением температуры фурменных очагов (из-за отрицательного теплового эффекта реакции взаимодействия водяного пара и углерода кокса);
- обогащением дутья кислородом влаги;
- обогащением горнового газа активным восстановителем – водородом.

Не смотря на то, что снижение энтальпии дутья при его увлажнении тормозит протекание эндотермической реакции растворения углерода в чугуне, обогащение горнового газа водородом способствует развитию процессов образования сажистого углерода в доменной печи, ведущей к повышению степени науглероживания чугуна из газовой фазы [9,3].

Существенное влияние суточного количества выпусков чугуна и влажности дутья на содержание углерода в чугуне можно объяснить снижением степени развития процессов выгорания углерода чугуна в фурменных очагах доменной печи при снижении теплового потенциала горнового газа, так как вторичное науглероживание железоуглеродистого расплава происходит в металлоприемнике и зависит от времени его контакта с углеродом коксовой насадки [3].

Третьим по степени воздействия на процесс науглероживания чугуна была определена температура дутья. Установлено, что с увеличением температуры дутья содержание углерода в чугуне повышается (рис.3).

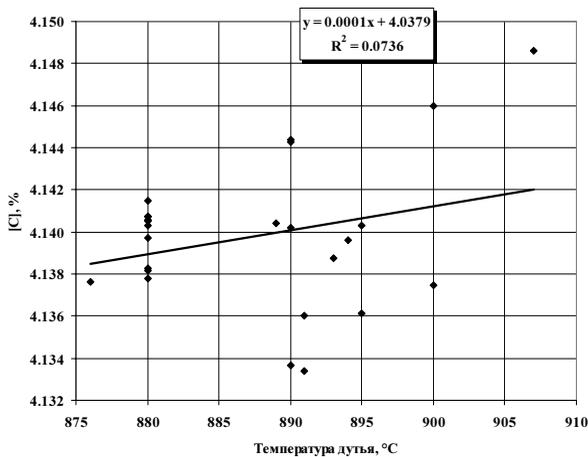


Рис.3. Зависимость содержания углерода в чугуне от температуры дутья по данным работы доменной печи за 15 января 1990 г.

При повышении нагрева дутья температуры в горне возрастают, а т.к. реакция растворения углерода в чугуне – эндотермическая, то повышение теплового состояния

металлоприемника способствует ее развитию.

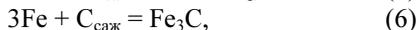
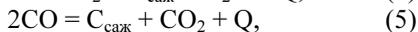
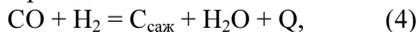
По мере возрастания температуры чугуна, повышается его жидкотекучесть, способствующая снижению степени его науглероживания при стекании через слой кокса. С другой стороны, повышение температуры железоуглеродистого расплава увеличивает растворимость в нем углеро-

да. Кроме того, повышение температуры дутья, как правило, увеличивает интенсивность плавки, что способствует уменьшению содержания углерода в чугуна вследствие меньшего времени его контакта с раскаленным коксом, что происходит, например, при плавке чугуна в вагранках [1]. Однако в доменной печи существенное влияние на науглероживание чугуна оказывают процессы восстановления закиси железа, протекающие в коксовой насадке доменной печи и претерпевающие значительное развитие при повышении теплосодержания потока газа в нижней ступени теплообмена [10].

Появившееся восстановленное железо в области коксовой насадки сразу же науглероживается в зоне наибольшего тепло и массообмена доменной плавки [11]. Это согласуется с экспериментальными исследованиями работы [12], показавшей, что науглероживание чугуна происходит по мере восстановления FeO шлака.

При этом следует учитывать и то, что увеличение содержания углерода в чугуна с повышением температуры дутья зависит в значительной мере от гидрогазодинамических процессов в коксовой насадке, расположенной ниже зоны вязкопластичного состояния материалов, изучение закономерностей которой требует дополнительных исследований.

Следует отметить, что на науглероживание чугуна оказывает влияние избыточное давление газов на колошнике доменной печи. Увеличение давления газов в печи согласно принципу Ле-Шателье способствует протеканию следующих реакций:



которые вызывают увеличение содержания углерода в чугуна благодаря повышению степени науглероживания железа из газовой фазы. Следовательно, согласно вышеприведенному принципу можно управлять направленностью этих реакций.

Выводы.

Из приведенного анализа следует:

1. Основным фактором, определяющим содержание углерода в чугуна для рассмотренных условий плавки, является количество выпусков чугуна в сутки. С увеличением числа выпусков чугуна уменьшается степень его науглероживания вследствие уменьшения времени пребывания чугуна в горне доменной печи, что приводит к сокращению времени его контакта с углеродом коксовой насадки.

2. При равном количестве выпусков чугуна содержание углерода в нем определяется влажностью дутья. Повышение влажности дутья снижает содержание углерода в чугуна ввиду развития реакции науглероживания железа из газовой фазы и торможения процессов выгорания углерода в фурменных очагах доменной печи.

3. Повышение температуры дутья увеличивает растворимость углерода в чугуна благодаря развитию реакции восстановления закиси железа и повышения интенсивности тепло–массообменных процессов в коксовой насадке, возрастания запаса тепла в горне и повышения из–за этого температуры чугуна, увеличения науглероживания железа из газовой фазы печи.

4. При дальнейших исследованиях процессов растворимости углерода в чугуна в зависимости от параметров доменной плавки необходимо брать во внимание гидро–газомеханику коксовой насадки, процессы окисления углерода чугуна в фурменных очагах, время пребывания шихтовых материалов в доменной печи, дренажную способность горна, науглероживание железа из газовой фазы, свойства угольных шихт, реакционную способность, горячую прочность и химическую активность кокса и другие факторы.

1. *Фуклев В.А.* Малоуглеродистый чугун из вагранки. – Л.: Машгиз, 1950. – 152 с.
2. *Павлов М.А.* Металлургия чугуна. – М.: Metallurgizdat, 1949. – 628 с.
3. *Металлургия чугуна: Учебник / Е. Ф. Вегман, Б. Н. Жеребин, А. Н. Похвиснев и др.* – М.: Metallургия, 1989. – 512 с.
4. *Охотский В.Б.* Формирование содержания углерода в чугуна для сталеплавильных процессов // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 1994. – №4. – С.13–15.
5. *Металлургия чугуна: Учебник / Е.Ф.Вегман, Б.Н.Жеребин, А. Н. Похвиснев и др.* – М.: Metallургия, 1978. – 480 с.
6. *Boras I., Markotic A., Simunovic I.* Utjecaj sirovinsko–tehnoslokih uvjeta na sadrzaj ugljika u uproizvodnjisivog zeljeza viso kopecnim postupkom // *Metalurgija.* – 1995. – 34, №3. – P. 107 – 111, РЖМет, 1996, №1, реф. 1В72.
7. *Куликов И. С.* Десульфурация чугуна. – М.: Metallurgizdat, 1962. – 306 с.
8. *Пат. 6197088 США, МПК с 21В 11/00.* Producing liquid iron having a low sulfur content / *Bechtel Group, Inc., Greenwalt Richard V.* – № 09/270122; Заявл. 15.03.99; Опубл. 06.03.01, НПК 75/492, РЖМет, 2002, №8, реф. 15 В. 75 П.
9. *Влияние водорода и водяного пара на скорость взаимодействия окиси углерода с железным катализатором.* / *Н.Ф.Колесник, А.М.Сентицев, Л.Б.Мальченко* // *Металлы.* – 1978. – № 3. – С. 219–223 с.
10. *Товаровский И.Г.* Доменная плавка – Днепропетровск: Пороги, 2003. – 596 с.
11. *Массопередача на участке стекания расплавов в коксовой насадке доменной печи / В.И.Шатоха, Ю.Н.Яковлев, Л.В.Камкина* // *Производство чугуна на рубеже столетий. Труды V Международного конгресса доменщиков.* – Днепропетровск: Пороги, 1999. – 486 с.
12. *Балон И.Д., Буклан И.З., Муравьев В.Н., Никулин Ю.Ф.* Фазовые превращения материалов при доменной плавке – М.: Metallургия, 1984. – 152 с.

Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. Тогобицкой Д.Н.