

**А.И.Белькова, Н.А.Гладков, К.А.Дмитренко, С.В. Нынь,
В.С.Евглевский**

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ДУТЬЕВЫХ ФАКТОРОВ НА ТЕХНИКО– ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ В УСЛОВИЯХ КОМБИНАТА «КРИВОРОЖСТАЛЬ»

Представлены результаты исследования влияния ряда показателей дутьевого режима на качество чугуна, производительность и расход кокса в условиях ОАО «Криворожсталь» с целью их практического использования при решении задач оптимизации и управления шлаковым режимом доменной плавки.

Анализ состояния проблемы.

Для повышения технико–экономических показателей выплавки в доменных печах высококачественных продуктов плавки необходима реализация ряда мероприятий, обуславливающих совершенствование технологического режима, в частности:

- установление рационального состава шихты, определяющего оптимальный шлаковый режим получения чугуна заданного состава;
- обеспечение рационального теплового состояния плавки, позволяющего получать качественный чугун с минимальными затратами тепла на его выплавку;
- разработку газодинамического и дутьевого режимов плавки и поддержание на оптимальном уровне технологических параметров, обеспечивающих стабильное состояние процесса, нормальный нагрев и плавность схода шихты;
- выбор программ загрузки, соответствующих согласованной работе низа и верха печи и др.

Ввиду сложности и многовариантности доменного процесса при выборе подходов его моделирования и математического описания, а также установления эффективных способов управления изначально осуществляется анализ работы доменных печей, в результате которого определяются факторы, наиболее существенно сказывающиеся на производительности печи, расходе кокса и качестве выплавляемого металла. При этом многочисленными исследованиями и практикой доменного производства установлено неоднозначное влияние технологических параметров плавки на ее основные ТЭП и показатели качества чугуна [1–3]. Выявленные количественные оценки относятся обычно к конкретным условиям работы печи в период наблюдения, и при изменении условий они могут оказаться недостоверными. Кроме значительных количественных, наблюдаются и качественные отличия сопоставляемых величин [4–5].

В практике доменного производства сложилось достаточно информативным мнение, что показателем теплового состояния доменной печи является содержание кремния в чугуна. В связи с этим в ряде существующих алгоритмов управления тепловым состоянием доменной печи используют содержание кремния (как показатель нагрева горна) в чугуна в качестве критерия для принятия управляющих решений по оптимизации качества чугуна. Тем более что, на процесс восстановления кремния оказывают существенное, а иногда и определяющее влияние физические и химические свойства шлака, его удельный выход, восстановимость железорудных материалов, газодинамика фурменной зоны и ряд других факторов [6–8].

Постановка задачи. Влияние технологических условий процесса выплавки чугуна на состав и свойства конечных продуктов плавки проявляется многочисленными взаимосвязями параметров технологического процесса, к которым относятся, в частности, интенсивность плавки по коксу, рудная нагрузка, расход дутья и природного газа, давление дутья и под колошником, температура и влажность дутья, содержание кислорода в дутье, состав колошникового газа, степень использования газа и др. Одним из наиболее важных комплексных показателей дутьевого режима доменной плавки, определяющим качество продуктов плавки, является теоретическая температура горения топлива в фурменном очаге T_T , определяющаяся тепловым балансом зоны горения и влияющая на газодинамические и температурные условия в фурменной зоне и в целом в доменной печи [9]. Теоретическая температура горения обусловлена расходом и теплосодержанием (энтальпией) дутья, влияющим на состав, выход и теплосодержание фурменных газов и, следовательно, тепловое состояние фурменных очагов, от которых зависит развитие реакций формирования состава и свойств продуктов плавки. Большая чувствительность T_T к изменениям дутьевых параметров и возможность ее непрерывного расчета позволяет использовать этот показатель для оперативной оценки, регулирования и стабилизации теплового состояния горна и, следовательно, качества чугуна.

Наряду с теоретической температурой горения при моделировании доменного процесса в качестве критерия, комплексно отражающего температурно–тепловое состояние нижней части печи, целесообразно учитывать глубину проникновения фурменных газов в коксовую насадку по оси печи, т.е. длину фурменной зоны. Эта величина изменяется в довольно заметных пределах, связана с параметрами дутья, теоретической температурой горения, кинетической энергией дутья, с геометрическими размерами фурменной зоны. Размеры зоны горения оказывают существенное влияние на работу печи, не только за счет соответствующего подбора диаметра фурм, но и за счет влияния их на структуру очага горения, что позволяет достигать необходимого

распределения газов по сечению печи и соответствующего температурного режима в центре горна и, следовательно, управлять его нагревом.

Методика исследования. Известные методы оптимизации работы доменной печи зачастую сводятся к варьированию химического состава загружаемой шихты при сложившихся технологических параметрах плавки. При этом определенное использование коэффициентов межфазного распределения элементов между продуктами плавки является одним из возможных подходов к управлению качеством металла. Возникает возможность при этом учитывать различные изменения показателей, характеризующих шихтовые материалы, дутьевой режим и как следствие в достаточной степени тепловое состояние горна печи, физические и химические свойства шлака, его удельный выход, восстановимость железорудных материалов, газодинамику фурменной зоны и ряд других факторов [10–11].

В Институте черной металлургии НАНУ для решения задач оптимизации и управления выплавки чугуна заданного состава используется методология описания межфазного распределения элементов в системе «металл–шлак» на основе «свертки» физико–химической и технологической информации через комплексные параметры, характеризующие структуру и свойства шихтовых материалов, а также температурные условия процесса [12].

Разработанная методика прошла апробацию в системах АСУП и АСУТП в сырьевых и технологических условиях работы различных доменных печей [13–15]. В частности, в условиях работы доменных печей №5 и №9 ОАО «Криворожсталь» [16] исследовано влияние показателей свойств шихты и технологических условий на процессы межфазного распределения элементов составляющих проплавленных материалов между продуктами плавки, качество чугуна, производительность печей и расход кокса. При этом к условиям комбината адаптированы прогнозные модели для коэффициентов распределения серы, кремния, марганца, железа, задаваемые как переменные величины, зависящие от показателей качества (состава) шихты ($F_{Ш}$) и технологии (F_T) в виде зависимостей $L_{\ominus} = f(F_{Ш}; F_T)$. Последние используются в системе контроля и управления шлаковым режимом «Шлак» для прогнозных расчетов содержания состава и свойств чугуна и шлака. В качестве критериев, характеризующих свойства шихтовых материалов, использованы величины ρ и $\Delta\epsilon$ шлаковой связки железорудных материалов, содержание Fe_2O_3 или $Fe_{общ}$ [17–18], а в качестве технологических показателей – основные параметры работы печи, ее профиля. К наиболее распространенным из них относятся расход природного газа, температура дутья, интенсивность плавки по коксу ($I_{кок}$), температура и давление колошникового газа ($P_{кт}$), рудная нагрузка, степень использования газа

(η_{CO}), а также упоминавшаяся ранее теоретическая температура горения и длина фурменной зоны ($L_{фз}$).

Изложение основных материалов исследования.

Конкретное значение доли влияние шихтовых и технологических условий ДП№9 на показатели качества чугуна, определенные по разработанным в ИЧМ приемам, в частности, с использованием факторного анализа [16], демонстрирует рис.1. Видно, что влияние вышеприведенных факторов на качество чугуна по сере и кремнию заметно отличаются. На содержание и условия перехода в чугун серы оказывают главное влияние исходное состояние и состав шихты, а также физико-химическое состояние системы «металл-шлак». Доля же кремния в чугуне определяется большим количеством факторов, важнейшие из которых обусловлены технологическим режимом.

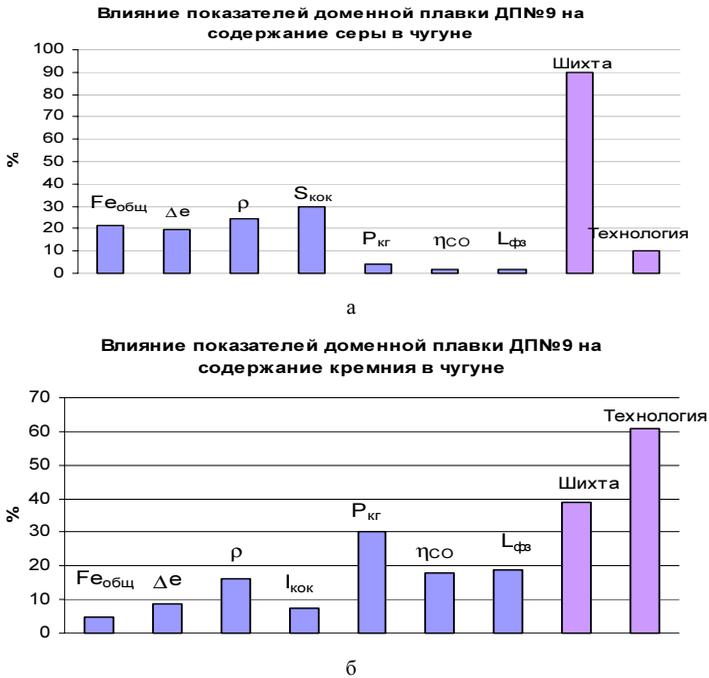


Рис.1. Влияние показателей доменной плавки на показатели качества чугуна

На рис.2–4 представлены графики влияния отдельных показателей шихты и дутьевого режима на показатели качества чугуна по сере и кремнию, производительность и расход кокса, выполненные по среднесуточным данным за 2004г. На рис.2 наблюдается тенденция линейного (прямо пропорционального) снижения сернистости чугуна в зависимости от показателя стехиометрии шихты ρ (рис.2а), который в отличие от основности учитывает влияние не только CaO , но и других

(MgO, Al₂O₃, FeO и т.д.) оксидов. По этой зависимости предпочтительным диапазоном изменения величины ρ , в котором реализуется выплавка наиболее устойчиво по сере чугуна, является 0,743 – 0,753, достигнуть которого можно, в частности, оптимизацией содержания FeO и магнезии в шихте по отношению к глинозему, что было показано в предыдущих исследованиях [19].

Сернистость чугуна изменяется по зависимости с минимумом при длине фурменной зоны 1,75 – 1,85 м (рис.2б). Характер зависимости обусловлен особенностями развития процессов в фурменной области, связанными с изменениями по оси фурм соотношения количества газифицированной серы из кокса и распределения жидких фаз и их активности. Следовательно, одним из действенных подходов достижения соответствующего качества металла по сере является оптимизация показателей дутьевого режима и геометрии фурменной зоны, и их стабилизация.

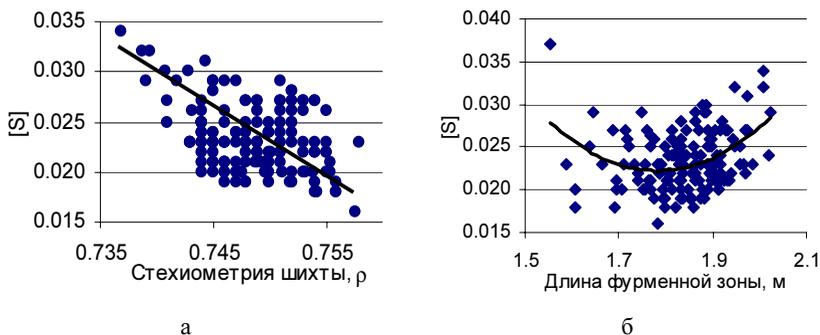


Рис.2. Влияние показателей шихты и дутьевого режима на содержание серы в чугуне в условиях ДП№9 ОАО «Криворожсталь»

Из рис.3г следует, что характер зависимости содержания кремния в чугуне от длины фурменной зоны отличается от приведенного выше для серы, причем разброс $L_{фз}$ сокращается по мере удлинения зоны горения от минимальной длины фурменной зоны (1,6 м) до 2 м и более. При этом, наблюдается менее значимая роль технологических показателей (расход дутья, температуры дутья и горения), обуславливающих длину фурменной зоны, на содержание кремния в чугуне.

Давление газа на колошнике опосредовано обуславливает рост парциального давления летучих компонентов и концентрации их в высокотемпературной зоне печи и, в частности, в фурменной зоне при малой ее длине (рис.3а) и, соответственно, стимулирует восстановление кремния. Связь содержания кремния в чугуне и степени использования газа отражает известный факт, что с уменьшением затрат тепла на процессы восстановления элементов, переходящих в чугун (в частности,

кремния) улучшает степень использования тепловой и химической энергии газового потока.

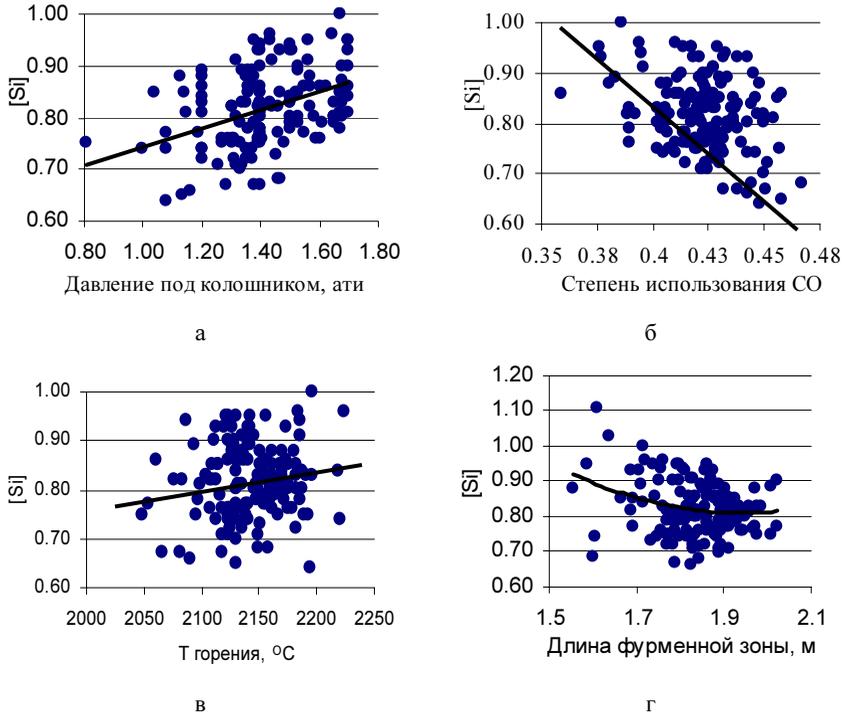
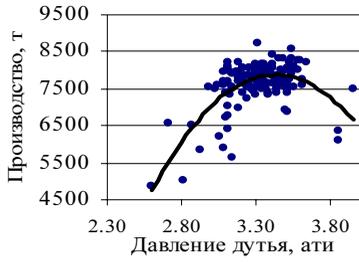
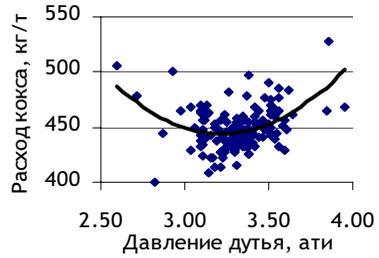


Рис.3. Влияние показателей шихты и дутьевого режима на содержание кремния в чугуне в условиях ДП№9 ОАО «Криворожсталь»

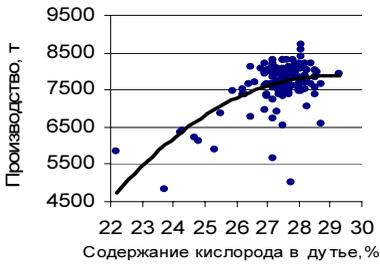
Графические сведения, приведенные на рис.4, отражают сложившиеся представления о влиянии технологических параметров на производство чугуна и расход кокса, взаимосвязь между которыми в большинстве случаев имеет экстремальный характер, что позволяет установить рациональные для сложившихся шихтовых, технологических и организационных условий величины, обеспечивающие устойчивое функционирование доменной плавки, пределы по длине фурменной зоны рационально изменять по соответствующим зависимостям для серы и кремния.



а



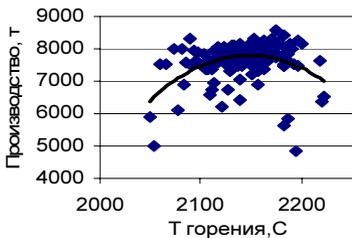
б



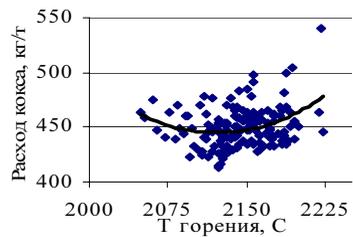
в



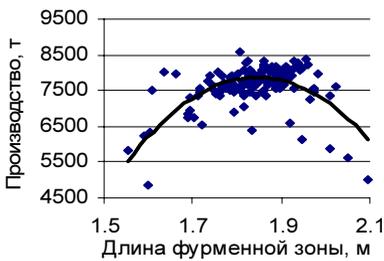
г



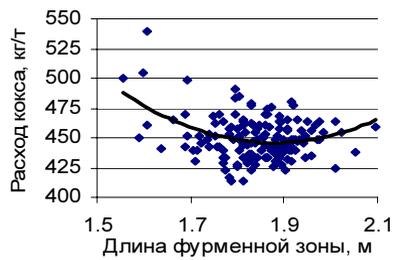
д



е



ж



з

Рис.3. Влияние показателей шихты и дутьевого режима на производство и расход кокса в условиях ДП№9 ОАО «Криворожсталь»

Выводы.

Полученные теоретические проработки доведены до компьютерной реализации в системе «Шлак», функционирующей в составе базовых систем автоматизации процесса управления доменной плавкой на ОАО «Криворожсталь» [15]. Опыт использования рассмотренных выше параметров технологического процесса в системе «Шлак» показал, что наиболее информативным показателем в условиях ОАО «Криворожсталь» является длина фурменной зоны, который предполагается использовать в наших дальнейших разработках в качестве критерия «свертки» показателей дутьевого режима работы печи при решении задач оптимизации и управления процессом выплавки чугуна заданного состава в конкретных шихтовых и технологических условиях.

1. *Товаровский И.Г., Лялюк В.П.* Неравномерность хода процессов и выбор режимов доменной плавки // *Сталь*. –2004. –№3. –С.2–7.
2. *Ярошевский С.Л., Быков Л.В., Четыркин Е.И. и др.* Оптимизация технологии доменной плавки // *Металлург*. –2000. –№10. –С.35–40.
3. *Сабела В., Констанчак А.* Исследование процесса стекания продуктов плавки в доменной печи // *Металлург*. –2001. –№3. –С.33–35.
4. *Бардин И.П.* Доменное производство. Справочник. –1963.
5. *Бариков Е.М.* Краткий справочник доменщика. –1965.
6. *Бабич А.И., Ярошевский С.Л., Складоновский И.И.* // *Сталь*. –1983. –№12. –С.10–14.
7. *Воловик Г.А., Пашинский В.Ф.* Повышение качества передельного чугуна. К.: Техника. –1974. –76с.
8. *Готлиб А.Д.* Доменный процесс. М.: Металлургия. –1958. –510с.
9. *Юсфин Ю.С., Королева В.Л., Черноусов П.И.* Расчет теоретической температуры горения и ее взаимосвязь с параметрами доменной плавки // *Сталь*. –1988. – № 3. –С.6–11.
10. *Рамм А.Н.* Современный доменный процесс. –М.:Металлургия. –1980. –304с.
11. *Шенк Г.* Физико–химия металлургических процессов. Ч.П. Производство стали. – Киев: ГНТИУ. –1936. –306с.
12. *Тогобицкая Д.Н., Белькова А.И., Гладков Н.А.* Выбор критериев для оценки влияния шихтовых и технологических условий на межфазное распределение элементов при выплавке чугуна // Сб. научн. тр. “Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – Киев: Наукова думка. – 2001. – С.46–51.
13. *Тогобицкая Д.Н., Хамхотько А.Ф., Белькова А.И.* Информационное, алгоритмическое и программное обеспечение для решения задач оптимизации доменной шихты // *Металлург*. – Москва. –1999. –№6. – С.42–43.
14. *Тогобицкая Д.Н., Цымбал Г.Л., Лоза С.В., Белькова А.И.* Информационно–аналитическая система для оперативного анализа работы доменных печей в среде локальной вычислительной сети МК ”Днепропетровский” // Тр. V Международного конгресса доменщиков. “Производство чугуна на рубеже столетий. Днепропетровск – Кривой Рог”. –Днепропетровск:.. – 1999. – С.402–403.
15. *Тогобицкая Д.Н., Хамхотько А.Ф., Белькова А.И., Оторвин П.И.* Физико–химические основы создания системы контроля и управления шлаковым

- режимом доменной в изменяющихся шихтовых и технологических условиях // Тр. МНТК «Теория и практика производства чугуна», посвященной 70-летию КГГМК «Криворожсталь». – Кривой Рог. 24–27 мая 2004г. – С.504–508.
16. *Тогобицкая Д.Н., Белькова А.И., Гринько А.Ю., Евглевский В.С., Васюченко П.А.* Влияние шихтовых и технологических условий на межфазное распределение элементов при выплавке чугуна в условиях КГГМК «Криворожсталь» // Тр. МНТК «Теория и практика производства чугуна», посвященной 70-летию КГГМК «Криворожсталь». – Кривой Рог. 24–27 мая 2004г. – С.320–324.
 17. *Приходько Э.В., Хамхотько А.Ф., Тогобицкая Д.Н.* База данных и модели для прогнозирования плавкости железорудных материалов // Сталь.– 1998.– №9.– С.7–9.
 18. *Гладков Н.А., Тогобицкая Д.Н.* Физико–химическое состояние железорудных материалов в различных зонах доменной печи и их высокотемпературные свойства // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии.– Киев.–Наукова думка.–1999. –Стр.40–48.
 19. *Оторвин П.И., Тогобицкая Д.Н., Белькова А.И., Можаренко Н.М.* Совершенствование шлакового режима доменной плавки в сырьевых условиях КГГМК «Криворожсталь» // Сталь. – Москва. –№6. –2004г. – С.24–28.

Статья рекомендована к печати канд.техн.наук Н.М.Можаренко