

РОЗДІЛ «МЕТАЛУРГІЯ»

УДК 669.162

ЛЕБЕДЬ Ю.К., инженер-технолог
КРЯЧКО Г.Ю.* , к.т.н., доцентПАО «Днепропетровский металлургический комбинат»
*Днепропетровский государственный технический университет, г. Камянское**ВЛИЯНИЕ ВЫХОДА ШЛАКА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ
И РЕЗУЛЬТАТИВНОСТЬ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ**

Введение. Количеству (выходу) шлака как параметру шлакового режима, в известной мере, определяющему расход кокса и производительность доменной печи, уделялось существенное внимание и в прошлом [1, 2], и в настоящем [3, 4] времени, причем количественные оценки влияния выхода шлака на удельный расход кокса, принятые на протяжении активного развития теории и технологии доменного процесса, различались весьма существенно.

Так Банзен [1], опираясь на опыт доменной плавки 20 годов XX века, оценивал влияние изменения удельного выхода шлака (± 100 кг/т чугуна) на такой же расход кокса в ± 13 кг.

А.Н.Рамм в фундаментальном справочнике [1] указал бóльшую величину воздействия изменения количества шлака на удельный расход кокса $\pm 18 \div 27$ кг на ± 100 кг шлака с оговоркой, что меньшее значение относится к выплавке передельных чугунов на высоконагретом дутье. Эти цифры получены А.Н.Раммом, исходя из определения расхода кокса на плавление шлака:

$$\frac{\Delta k}{\Delta U} = \frac{Q_{ш}}{\bar{q}_{кф}}, \text{ кг кокса / кг шлака,}$$

где Δk , ΔU – изменения расхода кокса и выхода шлака;

$Q_{ш}$ – теплосодержание шлака, кДж/кг;

$\bar{q}_{кф}$ – тепловой эквивалент кокса, кДж/кг.

Влияние относительной массы шлака оценено при изменении $Q_{ш}$ в пределах $1760 \div 2000$ кДж/кг и $\bar{q}_{кф}$ в пределах $7500 \div 10000$ кДж/кг.

Было также отмечено, что указанная выше величина ($+18 \div 27$ кг кокса / 100 кг шлака) не включала повышение расхода кокса, связанного с увеличением расхода сырого флюса. Иными словами допускалось более существенное влияние количества шлака на эффективность плавки.

В справочнике 1969 г. издания [2] влияние выхода шлака на расход кокса оценивалось уже в ± 46 кг кокса/т чугуна при изменении удельного выхода шлака ± 100 кг. Кстати в этом справочнике оценено и влияние выхода шлака на производительность печи: рост производительности на 5% при уменьшении выхода шлака на 100 кг/т чугуна.

В справочном издании 1986 г. [5] оценка влияния выхода шлака на показатели плавки отсутствует. Как альтернатива этому отсутствию приводятся нормативные данные влияния содержания железа в рудной сыпи на расход кокса и производительность печей.

И.Г.Товаровский в монографии [6] приводит данные об относительной зависимости показателей плавки от снижения количества шлака. Согласно этим данным снижение выхода шлака (обусловленное повышением содержания железа в шихте) на каждые 10 кг/т приводит к уменьшению расхода кокса на 0,35% и повышению производи-

тельности на 0,6%. В соответствии с приведенными данными абсолютная величина экономии кокса от уменьшения выхода шлака будет зависеть от расхода кокса. Так при расходе кокса 500 кг/т чугуна снижение выхода шлака на 10 кг/т чугуна обеспечит снижение расхода кокса на 1,75 кг/т чугуна, что почти совпадает с коэффициентом А.Н.Рамма на передельный чугун (1,8 кг/т). Если же будет достигнут расход кокса 200 кг/т чугуна, то коэффициент влияния выхода шлака снизится до 0,7 кг/т при изменении выхода шлака на 10 кг/т чугуна.

Особое значение вопрос о влиянии выхода шлака на показатели плавки и работу печи в целом приобрел при повсеместном переходе доменных печей от вдувания природного газа на пылеугольное топливо.

В работе [3] в качестве определяющего компонента, превышение определенного уровня которого невозможно в реальных сложившихся условиях, принят удельный выход шлака, приходящийся на единицу массы израсходованной в доменной плавке кокса. На основе статистической оценки показателей работы доменных печей разных регионов мира сделан вывод о том, что при достигнутых уровне качества кокса, железорудного сырья, параметрах температурно-дутьевого режима в диапазоне расхода кокса от 250 до 600 кг/т чугуна маловероятна возможность выхода шлака более 1000 кг/т кокса. Необходимо отметить, что продолжительность единичных периодов в исследовании [3] составила один календарный год. Сглаживающее влияние такой продолжительности не позволяет оценить действительные величины размаха колебаний показателей, наблюдаемых при сокращении периодов усреднения.

Постановка задачи. Задачей настоящей работы является современная оценка влияния удельного выхода шлака на расход кокса, определяющего эффективность доменной плавки и производительность, являющуюся мерой результативности процесса.

Результаты работы. Исследовали работу доменной печи ПАО «ДМК» с диаметром горна 8,4 м, оснащенной двухконусным засыпным аппаратом. В период исследований с 20.04.2015 по 18.12.2015 года печь работала на местном агломерате с содержанием железа в среднем 55,8% и коксе различной поставки с содержанием золы 10,8% и серы 0,75%. В качестве топливной добавки использовали пылеугольное топливо со средним за период расходом 149 кг/т чугуна. Показатели работы печи в опытном периоде приведены в табл.1.

Таблица 1 – Показатели работы печи в период с 20.04.15 г. по 18.12.2015 г.*

Показатель	Значения показателей		
	среднее	минимум	максимум
Дутье:			
давление избыточное, кПа	270	227	288
температура, °С	955	866	1056
влажность, г/м ³	15,1	6,9	25,8
содержание кислорода, %	24,18	22,53	25,21
Газовый режим, кПа:			
давление на колошнике избыточное	131	98	140
перепад давлений общий	139	120	153
Содержание кремния в чугуне, %	0,49	0,15	0,86
Шлак:			
Основность CaO/SiO ₂	1,07	1,05	1,10
выход, кг/т чугуна	421	366	512

* – за вычетом суток с простоями.

На рис.1 приведены данные статистической обработки исследованного массива. В качественном аспекте график (рис.1, а) вполне отвечает известному постулату о прямом влиянии выхода шлака на удельный расход кокса. Однако в количественном выражении это влияние превышает известные значения [1, 2].

Анализ показал, что расход кокса и топлива (кокс + ПУТ) при изменении выхода шлака на 100 кг/т чугуна изменялся примерно на одинаковую величину – 53 кг для кокса (рис.1, а) и 54 кг для топлива (рис.1, б). На такую же величину относительного количества шлака (100 кг/т чугуна) интенсивность плавки по суммарному углероду изменялась примерно на 10% (рис.1, в).

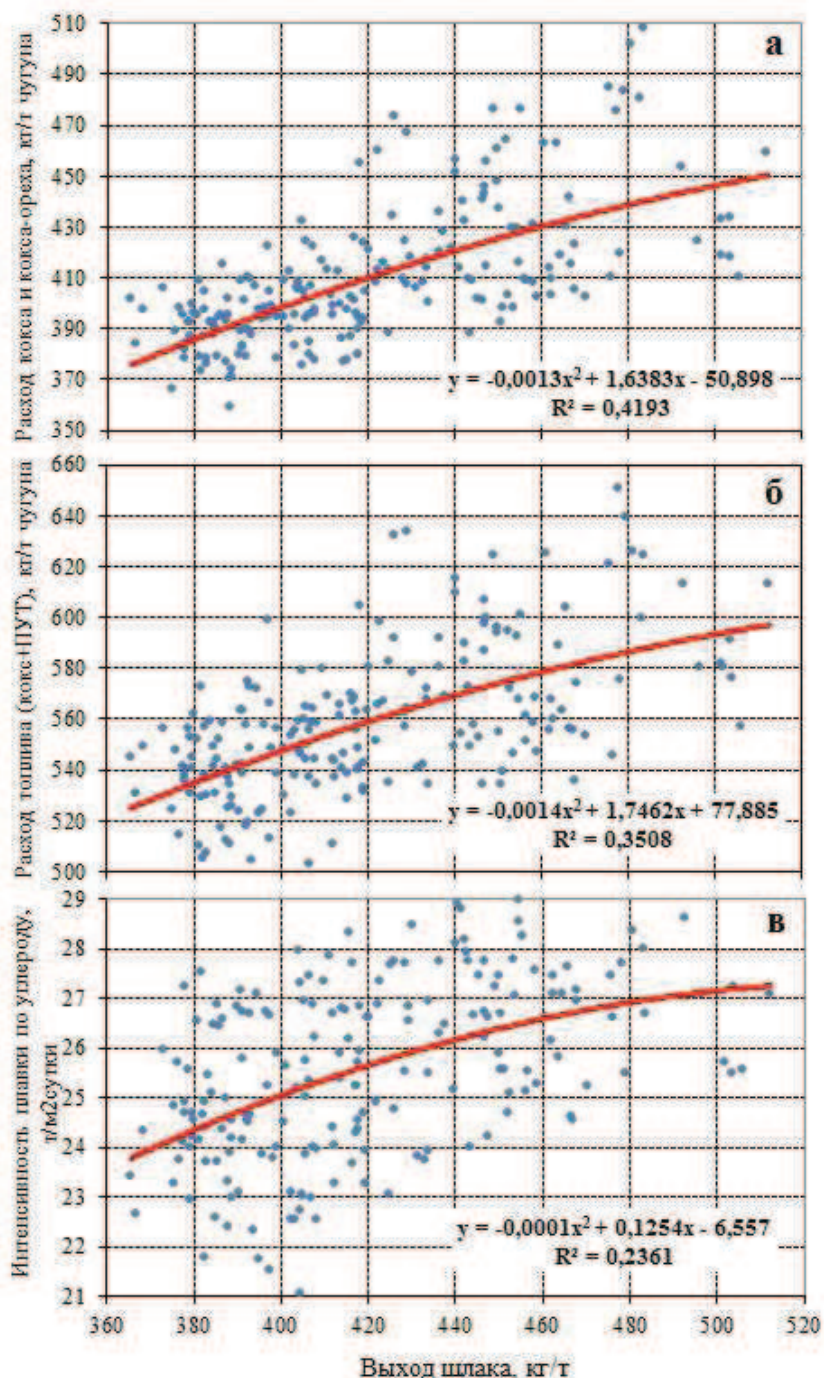


Рисунок 1 – Влияние выхода шлака на удельные расходы кокса (а), топлива (б) и интенсивность плавки по суммарному углероду (в)

С увеличением выхода шлака интенсивность плавки возрастала (рис.1, в) и наоборот снижалась с уменьшением. Обнаруженную закономерность можно объяснить значительными структурными изменениями в столбе шихты, вызванными изменениями богатства железорудного сырья и, соответственно, выхода шлака. Известно [7], что изменение интенсивности плавки вызывает определенные изменения в удельном расходе кокса и производительности печи.

Принимая во внимание количественное влияние интенсивности плавки на удельный расход кокса (+1% интенсивности → +3,5 кг/т чугуна), установленное в работе [6], нетрудно оценить непосредственное влияние выхода шлака на эффективность плавки. Если учесть количественное влияние интенсивности плавки на расход кокса 35 кг/т чугуна на 10% ее изменения, то разница, приходящаяся на влияние выхода шлака, составит 53 (54) – 35 = 18 (19) кг/т чугуна. Этот результат, основанный на практических данных о работе промышленной печи, совпал с теоретической оценкой А.Н.Рамма [1].

Необходимо отметить также и то, что величина значения корреляционного отношения взаимосвязи рассмотренных факторов монотонно снижалась от рис.1, а до рис.1, в. Это явление можно объяснить последовательным наложением воздействия различных неучтенных факторов, таких как газификация ПУТ, влажность дутья, содержание кислорода в дутье и другие.

Следует отметить, что связи между относительным выходом шлака и производительностью не обнаружено ($R^2 = 0,009$). При этом имеется тенденция к снижению интенсивности плавки по железорудной сыпи I_p при уменьшении выхода шлака $Q_{ш}$: ($I_p = -0,0002 \cdot Q_{ш}^2 + 0,2547 \cdot Q_{ш} + 29,305$, т/м² · сутки; $R^2 = 0,1018$).

Рассмотрение зависимости между удельным расходом кокса и удельным выходом шлака, отнесенным к единице массы использованного в доменной плавке кокса (рис.2), дает возможность заключить следующее.

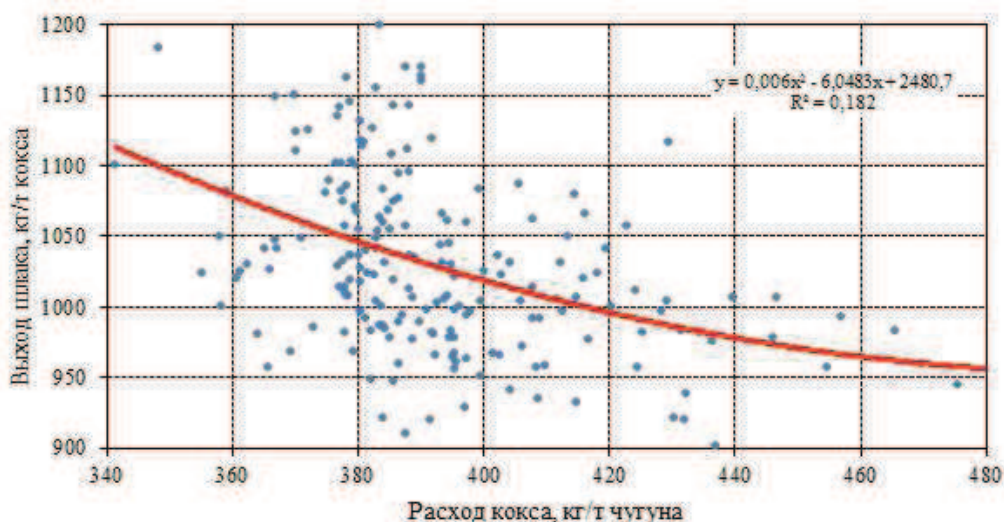


Рисунок 2 – Данные о взаимосвязи удельных расходов кокса и выхода шлака

Во-первых, наблюдается значительный размах колеблемости выхода шлака при одинаковом расходе кокса, о чем свидетельствует график и низкое корреляционное отношение. Величина этого размаха наибольшая при пониженных для данной выборки значениях расхода кокса 360-390 кг/т чугуна, что составляет ~ 200 кг/т кокса. Такую же величину размаха колебаний выхода шлака при одинаковом расходе шлака обнаружили в работе [3], анализируя показатели работы доменных печей США в 2007 г. В той же

работе размах изменения выхода шлака на печах бывшего СССР (1989 г.) составил примерно 300 кг/т кокса, а на печах Европы (2002-2004 г.г.) – 400 кг/т кокса.

Во-вторых, в исследованном диапазоне изменения расхода кокса, а он находится в пределах исследованного в работе [3], установлено, что примерно половина единичных периодов выборки отвечает шлаковому соотношению > 1000 кг/т кокса. Поэтому с утверждением о том, что достижение выхода шлака больше 1000 кг/т кокса является маловероятным, согласиться нельзя. Основываясь на результатах настоящего исследования, можно отодвинуть границу маловероятного выхода шлака до 1150-1200 кг/т кокса, хотя работа коксовой насадки в режиме орошения шлаком более 1000 кг/т кокса может быть проблематичной.

Выводы. Установлено, что в исследованных условиях плавки и диапазоне выхода шлака расход кокса и суммарного топлива (кокс + ПУТ) возрастали в среднем на 5,3-5,4 кг/т чугуна при увеличении выхода шлака на 10 кг/т чугуна. Показано также, что в этой относительной величине перерасхода кокса и топлива кроме затрат на расплавление и перегрев дополнительной массы шлака имеется составляющая, обусловленная изменением интенсивности плавки. Учет влияния этой составляющей позволил оценить влияние выхода шлака на расход кокса в размере $+ 1,8 \div 1,9$ кг/т чугуна на каждые дополнительные 10 кг/т шлака на тонну чугуна, что соответствует теоретической оценке А.Н.Рамма.

Связи между относительным выходом шлака и производительностью не установлено. Отмечена тенденция к снижению эффективности плавки по железорудной сыпи при уменьшении выхода шлака.

При рассмотрении зависимости удельных выхода шлака и расхода кокса установлено, что в сложившихся реальных технологических условиях возможно достижение выхода шлака до 1150-1200 кг/т кокса. Разумеется, при таком напряженном шлаковом режиме требования к организации зоны когезии, коксовой зоны и качеству кокса в частности должны быть существенно выше.

ЛИТЕРАТУРА

1. Доменное производство: справочник. Том 1 / под ред. акад. И.П.Бардина. – М.: Металлургиздат, 1963. – 648с.
2. Федоровский Н.В. Спутник металлурга / Федоровский Н.В., Рутковский Г.Я., Астахов А.Г. – К.: Техніка, 1969. – 222с.
3. Ресурсы и эффективность полной и комплексной компенсации при использовании пылеугольного топлива в доменной плавке / С.Л.Ярошевский, А.В.Емченко, В.Е.Попов [и др.] // Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация». – 2010. – № 7. – С.40-49.
4. О плотности орошения продуктами плавки коксовой насадки доменной печи / В.П.Пузанов, Г.А.Нечкин, О.П.Онорин [и др.] // Сталь. – 2012. – № 4. – С.6-15.
5. Технолог-доменщик / Ю.П.Волков, Л.Я.Шпарбер, А.К.Гусаров // М.: Металлургия, 1986. – 263с.
6. Товаровський Й.Г. Доменна плавка. Еволюція, хід процесів, проблеми та перспективи / Товаровський Й.Г. – Дніпропетровськ: Пороги, 2003. – 596с.
7. Влияние интенсивности доменной плавки на удельный расход кокса и производительность печи / А.Л.Берин, А.И.Парфенов, Е.А.Вербенко [и др.] / Интенсификация процессов доменной плавки и освоение печей большого объема: тематический отраслевой сборник. – М.: Металлургия. – 1979. – № 5. – С.40-45.

Поступила в редколлегию 06.03.2017.