

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

МЕТАЛУРГІЯ

УДК 669.162.1

Томаш А.А.¹, Тарасов В.П.², Ковальчик Р.В.³, Семакова В.Б.⁴, Кривенко С.В.⁵

ВЛИЯНИЕ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ И «ГОРЯЧЕЙ» ПРОЧНОСТИ КОКСА НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ДОМЕННОЙ ПЛАВКИ В УСЛОВИЯХ ОАО «МК «АЗОВСТАЛЬ»

С помощью нового способа статистической обработки данных, сочетающего преимущества метода наименьших квадратов и симплекс-решётчатых планов Шеффе, установлено влияние состава угольной шихты на реакционную способность CRI и «горячую» прочность CSR кокса ОАО «МК «Азовсталь». Определены коэффициенты, характеризующие влияние показателя CSR на удельный расход кокса и производительность доменной печи. Предложен рациональный состав угольной шихты для производства кокса, обеспечивающий снижение себестоимости чугуна

Высокие требования к качеству кокса являются одним из основных условий достижения современных технико-экономических показателей доменной плавки. Для оценки механических свойств кокса в странах СНГ традиционно используют показатели M25 и M10. Они характеризуют выход фракций +25 мм и –10 мм после вращения в барабане в условиях окружающей среды [1]. Прочность кокса при низких температурах в большей степени характеризует его способность противостоять разрушению при транспортировке и перегрузках. В доменной печи кокс наряду с механическим воздействием испытывает разрушающее влияние высоких температур и химических реакций с печными газами. Metallургические свойства кокса в условиях доменной плавки лучше характеризуют показатели реакционной способности CRI и прочности после реакции («горячей» прочности) CSR, широко применяемые за рубежом [2]. Показатель CRI определяют по потере массы пробы кокса крупностью 19 – 22,4 мм после нагрева в муфельной печи в течение 2 ч до 1100 °С в атмосфере азота с последующим пропусканьем 5 л/мин CO₂ в течение следующих 2 ч и охлаждением до 100 °С. После реакции в муфельной печи кокс вращают 30 мин. со скоростью 20 об/мин. в барабане специальной конструкции. CSR находят путём отсева и взвешивания фракции более 9,5 мм.

За счёт применения различных технологических мер на коксохимических предприятиях Украины удалось повысить показатели «холодной» прочности кокса при одновременном увеличении содержания слабоспекающихся углей в шихте. Однако работа доменных печей при этом не улучшилась. Показатель «горячей» прочности кокса CSR на Украине остаётся низким 25 – 40 %. За рубежом требования к угольной шихте ужесточились, что обеспечило значения CSR более 60 %. Низкая прочность кокса после реакции может быть одной из существенных причин его перерасхода на отечественных металлургических предприятиях в сравнении с ино-

¹ ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

² ПГТУ, д-р техн. наук, проф.

³ ПГТУ, аспирант

⁴ ПГТУ, канд. техн. наук, доц.

⁵ ПГТУ, канд. техн. наук, доц.

странными компаниями. Показателен пример доменной печи № 5 ОАО «ММК им. Ильича», расход кокса на которой снизился на 30 – 40 кг/т чугуна после перехода с украинского кокса (CSR = 36 %) на алтайский (CSR = 62 %). Требования к «горячей» прочности кокса возрастут в связи с перспективой применения угольной пыли в доменных печах. Использование кокса средней крупности 50 мм с CSR более 60 % позволит увеличить расход угольной пыли до 150 - 180 кг/т чугуна и более [3].

С августа 2005 г. на ОАО «МК «Азовсталь» проводится регулярный анализ изменения индексов CRI и CSR кокса. Целью комплексного исследования явились:

- статистический анализ взаимосвязи различных показателей качества кокса;
- исследование влияния состава угольных шихт на реакционную способность и «горячую» прочность кокса;
- анализ влияния различных показателей качества кокса на работу доменной печи;
- выбор рационального состава угольной шихты, обеспечивающего снижение себестоимости чугуна.

Анализ проводился по результатам исследований 165 проб кокса в период с августа по декабрь 2005 г.

Установлено, что между показателями CSR и CRI существует тесная, практически функциональная связь (коэффициент корреляции $\gamma = -0,83$)

$$CSR = -1,70 CRI + 101,85. \quad (1)$$

С уменьшением реакционной способности увеличивается прочность после реакции (рис. а).

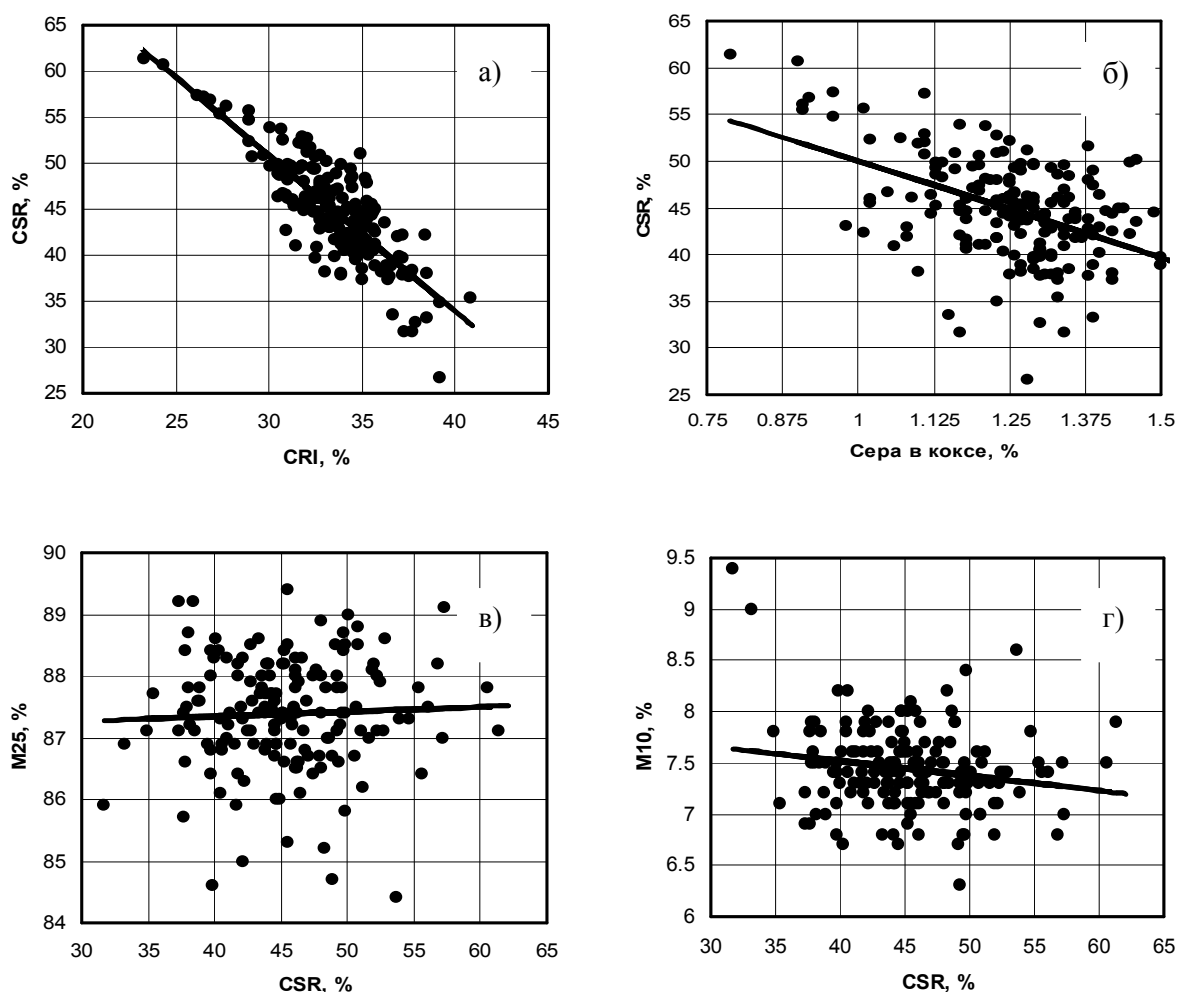


Рис. – Связь показателей качества кокса: а – реакционной способности и «горячей» прочности; б – содержания серы и «горячей» прочности; в - «горячей» и ударной прочности; г - «горячей» прочности и прочности на истирание

Коэффициенты при членах первой степени X_i уравнения (7) характеризуют влияние угля соответствующей марки на реакционную способность кокса. Чем меньше значение коэффициента b_i , тем положительнее влияние угля на металлургические свойства кокса. В порядке возрастания положительного влияния на «горячую» прочность и реакционную способность кокса марки угля располагаются в следующем порядке: спекающиеся угли КОС, КСК, КС и ОС ($b_5 = 213,078$); газовые угли Г, ГЖ и ГЖЖ ($b_1 = 76,48$); жирные Ж ($b_2 = 43,35$); коксующиеся К ($b_3 = 20,83$); угли марки КО ($b_4 = 13,28$).

Оценку влияния индекса CSR кокса на технико-экономические показатели работы доменной печи проводили с помощью множественного корреляционного анализа данных о работе доменной печи № 5 ОАО «МК Азовсталь» в течение 2005 года. Недостающие фактические данные о «горячей» прочности кокса в первые семь месяцев 2005 г. были дополнены результатами расчётов по формулам (1 и 7).

Определено влияние показателей качества кокса: «горячей» прочности CSR, содержания золы A_K , содержания серы S_K , показателей барабанной пробы M25 и M10, - на его расход и производительность печи. С увеличением «горячей» прочности кокса его удельный расход на выплавку чугуна уменьшался ($\gamma = - 0,572$), а производительность печи увеличивалась ($\gamma = 0,222$). По степени влияния на расход кокса показатели его качества расположились в следующем порядке убывания: M10, зола кокса, «горячая» прочность, содержание серы в коксе, M25. Влияние каждого показателя значительно и должно учитываться. Влияние A_K и S_K искажено действием сопутствующих факторов. Корреляционное уравнение для расчёта расхода кокса (PK) имеет вид (коэффициент множественной корреляции $R = 0,858$):

$$PK = 950,5 - 1,287 CSR - 16,52 A_K - 59,4S_K - 12,04M25 + 122,61M10. \quad (8)$$

На производительность доменной печи влияние факторов ослабевало в следующем порядке: M10, M25, CSR. Характеристики технического анализа кокса A_K и S_K практически не оказывали влияния на производительность печи в 2005 г. Увеличение прочности кокса M25 сопровождалось снижением производительности печи вопреки ожидаемым результатам. Уравнение зависимости производительности ПП от факторов имеет вид ($R = 0,670$):

$$PP = 47058,2 + 16,48 CSR + 31,14A_K - 113,27S_K - 453,27M25 - 733,7M10. \quad (9)$$

Расчётные коэффициенты влияния «горячей» прочности на показатели доменной плавки для условий ОАО «МК «Азовсталь» в соответствии с формулами (8 и 9) составили: снижение расхода кокса 0,25 % на 1 % увеличения CSR, увеличение производительности доменной печи - 0,63 % на 1 % увеличения CSR.

Выбор рационального состава угольной шихты для производства кокса (см. табл.) выполнен на основе сравнительного анализа себестоимости чугуна и кокса в базовом периоде, в апреле 2006 года, и расчётном по формулам (1 и 7), в котором за счет соответствующего подбора состава углей достигается лучшее качество кокса по показателю CSR.

Таблица – Результаты определения рационального состава угольной шихты, обеспечивающего повышение прочности кокса CSR и снижение себестоимости чугуна

Марка углей	Стоимость угля, грн/т	Состав угольной шихты (%), свойства и расход кокса, изменение себестоимость чугуна	
		Фактический	Предлагаемый
Газовые (X1)	361,04	14,1	20,0
Жирные (X2)	468,4	31,3	10,0
Коксующие (X3)	531,26	16,1	10,0
Уголь марки КО (X4)	545,34	26,0	60,0
Угли спекающиеся (X5)	533,12	12,5	–
Реакционная способность кокса CRI, %		35,28	28,45
«Горячая» прочность кокса, CSR, %		41,87	53,49
Стоимость 1 т кокса, грн/т		690,81	702,33
Расход кокса на 1 т чугуна, кг		509,2	494,4
Изменение себестоимости 1 т чугуна, грн.		0	- 7,10

За счёт повышения качества кокса и снижения его удельного расхода на 14,8 кг/т чугуна себестоимость металла при переходе к рациональному составу шихты для коксования снизится на 7,10 грн., несмотря на увеличение стоимости углей и кокса. Годовой экономический эффект в доменном цехе ОАО «МК Азовсталь» за счёт повышения прочности кокса CSR составит 29,4 млн. грн.

Выводы

1. Показатели реакционной способности кокса CRI и его прочности после реакции CSR связаны между собой: с уменьшением CRI увеличивается «горячая» прочность CSR. Повышению CSR способствует снижение содержания серы в угольной шихте и коксе. Связь между CSR и традиционными показателями прочности кокса M10 и M25 проявляется слабо, или практически полностью отсутствует.
2. Наиболее сильное положительное влияние на увеличение «горячей» прочности и снижение реакционной способности кокса оказывает уголь марки КО шахты «Красноармейская западная». Для получения кокса, отвечающего европейским стандартам (CRI < 25 % и CSR > 55 %), необходимо иметь в составе угольной шихты более 50 % угля марки КО.
3. С применением способа обработки данных, сочетающего приёмы метода наименьших квадратов и моделей «состав-свойство», получена зависимость, позволяющая по составу угольной шихты прогнозировать величину реакционной способности и «горячую» прочность кокса.
4. Установлено, что увеличение прочности кокса по показателю CSR на 1 % в условиях ОАО «МК Азовсталь» приводит к увеличению производительности доменной печи на 0,63 % и снижению удельного расхода кокса на 0,25 %.
5. Предложен рациональный состав угольной шихты, включающий: газовые угли – 20 %; жирные – 10 %; коксующиеся – 10 %; уголь марки КО – 60 %. Кокс из шихты такого состава имеет следующие показатели качества: CRI = 28,45 %, CSR = 53,49 %. Это на 6,83 % меньше базового показателя CRI и на 11,68 % больше базового показателя CSR. Работа с новыми показателями качества кокса экономически выгодна, несмотря на увеличение его стоимости на 11,52 грн: удельный расход кокса на выплавку чугуна сокращается на 14,8 кг/т, себестоимость 1 т чугуна снижается на 7,10 грн. Годовой экономический эффект в доменном цехе ОАО «МК «Азовсталь» может составить 29,4 млн. грн.

Перечень ссылок

1. Доменное производство: Справочник в 2 т. – Т.1. Подготовка руд и доменный процесс. – М.: Металлургия, 1989. – 496 с.
2. *Дышлевич И.И.* Доменное производство Украины: новый подход к оценке качества кокса / *И.И. Дышлевич, Н.Н. Изюмский* // Сборник докладов 8-го международного семинара «Уголь в металлургии и энергетике». – Ялта, 2002. – С. 20 – 33.
3. *Ухмылова Г.С.* Повышение качества кокса на металлургическом заводе в Порт Кембла, Австралия / *Г.С. Ухмылова* // Новости черной металлургии за рубежом. – 2001. - № 2. – С. 29 - 39.
4. *Рубинштейн Ю.Б.* Математические методы в обогащении полезных ископаемых / *Ю.Б. Рубинштейн., Л.А. Волков.* – М.: Недра, 1987. – 296 с.
5. *Ковшов В.Н.* Постановка инженерного эксперимента / *В.Н. Ковшов.* – Киев – Донецк: Вища школа, 1982. – 120 с.

Рецензент: О.В.Носоченко
д-р технич. наук, проф., ПГТУ

Статья поступила 12.03.2007