

Значение и характеристики качества кокса в современной доменной плавке

С использованием нормативной документации произведено сравнение резервов улучшения показателей доменной плавки от повышения качества железорудных материалов и кокса. Отмечено подавляющее преимущество кокса как материального фактора воздействия на эффективность и результативность доменного процесса. На основе анализа производственных данных показана достижимость однозначного изменения характеристик холодной и горячей прочности кокса, а также изучена взаимосвязь этих характеристик.

Ключевые слова: доменная плавка, резервы, сравнение, качество, эффективность, железорудные материалы, кокс.

Введение. Качество шихты является фактором, определяющим производительность доменной печи и удельный расход кокса.

Особо остро вопрос о качестве доменной шихты встал в результате повсеместного внедрения технологии вдувания пылеугольного топлива (ПУТ). Замена измельченным углем более 15-20% кокса вызывает существенные нарушения хода доменного процесса, преодоление которых возможно при создании специальных шихтовых и дутьевых условий [1]. Согласно принципу компенсации воздействия ПУТ на ход процесса, мероприятия должны быть направлены, прежде всего, на улучшение качества железорудных материалов [2]. Это касается богатства, офлюсованности и гранулометрического состава железорудного сырья. В работе [3], опубликованной в середине прошедшего десятилетия, потери выплавки чугуна в Украине из-за использования железорудной шихты низкого качества оценивались в 7 млн. т чугуна в год при перерасходе кокса 5 млн. т. Вместе с тем, свойства кокса, как второй неотъемлемой составляющей доменной шихты, также играют важную роль, поскольку кокс выполняет несколько важных функций – от энергообеспечения процесса до создания каркаса столба шихтовых материалов в рабочем пространстве печи и обеспечения дренажа расплавленных продуктов плавки. Поэтому сравнение компенсационных возможностей железорудного сырья и кокса является своевременным и целесообразным.

Накопленный десятилетиями опыт эксплуатации доменных печей малого и среднего объема с умеренными рудными нагрузками (обычно до 3,5-4,0) свидетельствовал о положительном влиянии холодной прочности кокса на показатели плавки, что отразилось в справочной информации и технологических инструкциях. Однако процесс интенсивного укрупнения доменных печей в конце XX века и динамическое наращивание рудной нагрузки поставили под вопрос пригодность критериев холодной прочности для полноценной оценки качества кокса.

Каротажные зондирования горна показали существенные отличия скипового и горнового коксов по

всем характеристикам. Поэтому усилия технологов сконцентрировались на поиске более надежных методов оценки качества кокса. Одним из таких методов, получивших широкое распространение, является оценка реакционной способности кокса по потере его массы, прореагировавшей с углекислым газом (CRI) и оценке горячей прочности кокса по массе оставшегося в барабане остатка после термохимической (до барабана) и механической обработки (CSR).

С появлением резко отличающихся между собой способов определения свойств кокса, возникли определенные противоречия в оценке влияния его характеристик на работу доменных печей. Так, если, в работах, представляющих опыт работы доменных печей комбинатов «Северсталь» [4] и «Новолипецкого» [5], отмечается положительное влияние кокса с повышенной горячей прочностью, то в работах, отражающих опыт доменного производства комбината «АрселорМеттал Кривой Рог» [6,7], приводятся противоположные результаты. В частности, в публикации [7] сообщается, что при существенном увеличении CSR кокса, загружаемого в печи № 7, 8 и 9, ни на одной из доменных печей в опытных периодах увеличить рудную нагрузку на кокс не удалось. Возможно, причиной создавшейся ситуации явилась обратная зависимость между характеристиками горячей и холодной прочности кокса, произведенным местным коксохимическим производством.

Постановка задач. Первой задачей настоящего исследования является сравнение компенсационных резервов железорудных материалов и кокса, исходя из реальных и перспективных предпосылок улучшения их качества.

Второй задачей исследования является изучение возможностей достижения однозначного изменения свойств кокса в холодном и горячем состоянии на предприятиях Украины и ближнего зарубежья, а также оценка тесноты связи между различными характеристиками доменного кокса.

Основная часть. Для сопоставления уровней влияния качества железорудных материалов и кокса использовали нормативную документацию, отраженную

в известном справочнике [8, с. 250]. Перечень учетных факторов и количественное воздействие последних на показатели плавки представлены в таблице.

В процессе сравнения не были учтены по железорудным материалам такие параметры, как усреднение по химическому и гранулометрическому составам. По коксу были упущены показатели колеблемости по техническому и гранулометрическому составам, замусоренность фракцией < 10 мм, горячая прочность и реакционная способность.

Расчет показывает, что использование потенциала улучшения качества агломерата по учетным характеристикам позволяет повысить производительность доменных печей на 15%, а использование потенциала улучшения качества кокса – на 24,5%. При этом

резерв улучшения качества агломерата в снижении удельного расхода кокса составил 10%, а резерв улучшения качества кокса – 24,8%. Резерв улучшения показателей доменной плавки за счет подготовки окатышей составил по производству «+» 5,4% и по расходу всего кокса «-» 2,7%.

Таким образом, по величине резерва улучшения показателей доменной плавки, кокс существенно превосходит лучшее железорудное сырье – агломерат (рис. 1). Следовательно, совершенствованию подготовки и контролю качества кокса следует уделять первоочередное внимание.

Представляет интерес, в какой мере показатели холодной прочности кокса связаны с показателями термохимических и механических испытаний (CRI

Влияние качества шихты на производительность печи и удельный расход кокса по данным [8]

Наименование факторов	Изменение (+ увеличение; - уменьшение), %	
	Производительность	Удельный расход кокса
I. Агломерат и окатыши		
Повышение содержания железа на 1% в полностью окискованной и офлюсованной рудной части шихты:		
шихта состоит из 100% агломерата с содержанием железа в пределах, %		
от 50 до 52	+ 2,2	- 1,3
от 52 до 54	+ 2,1	- 1,2
от 54 до 56	+ 2,0	- 1,1
от 56 до 58	+ 1,8	- 1,0
от 58 до 60	+ 1,7	- 0,9
шихта состоит из 100% окатышей с содержанием железа в пределах, %		
от 56 до 58	+ 1,9	- 1,0
от 58 до 60	+ 1,8	- 0,9
от 60 до 62	+ 1,7	- 0,8
Снижение содержания фракции 0-5 мм, %		
от 20 до 15	+ 2,5	- 2,0
от 15 до 10	+ 2,0	- 1,5
от 10 до 5	+ 1,5	- 1,0
II. Доменный скиповой кокс		
Изменение технического состава кокса:		
уменьшение содержания золы в коксе в пределах		
от 11 до 10	+ 1,2	- 1,3
от 10 до 9	+ 1,0	- 1,2
уменьшение содержания серы в коксе на каждую 0,1%	+ 0,3	- 0,3
Изменение физических свойств кокса:		
повышение прочности кокса по показателю M25 на каждый 1% в интервале с 72 до 86%	+ 0,6	- 0,6
уменьшение истираемости кокса по показателю M10 на каждый 1% в интервале с 10 до 6%	+ 2,8	- 2,8

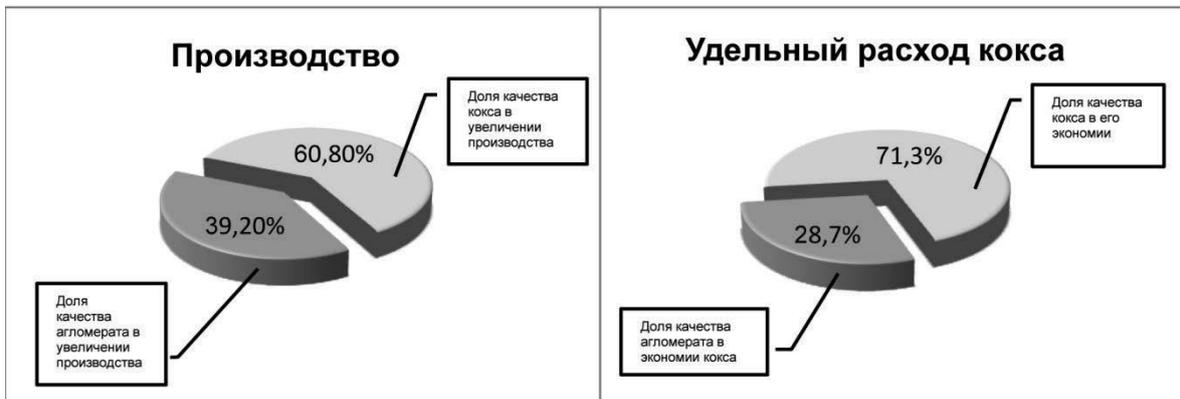


Рис. 1. Резервы улучшения основных показателей доменного процесса при условно полном использовании средств усовершенствования подготовки агglomerата и кокса к плавке

и CSR). Статистическое оценивание произвели для трех комбинатов, имеющих в своем составе коксохимическое производство.

Для анализа в первой выборке использованы данные о характеристиках кокса, произведенного Алчевским металлургическим комбинатом за календарный год. Продолжительность единичного периода – один месяц. Назначение кокса – использование в технологии вдувания пылеугольного топлива. Диапазон изменения CSR 58,8-64,4%.

Массив второй выборки получен по данным о качестве кокса ОАО «Новолипецкий металлургический комбинат», использованного в 2012-2013 гг. на доменных печах № 4 и 5 [5]. Диапазон изменения индекса CSR составил от 48,9 до 58,9%. Массив выборки представлен 11 единичными периодами (7 для ДП № 4 и 4 для ДП № 5).

В третьей выборке анализ взаимосвязей между показателями прочности кокса, произведенного в 2013 г. в двух коксохимических цехах ОАО «ЕВРАЗ Нижнетагильский металлургический комбинат» произвели по данным работы [9]. Массив выборки по каждому цеху составил 9 единичных периодов продолжительностью каждого один календарный месяц.

Результаты статистической оценки, приведенные на рис. 2, свидетельствуют о значимой связи холодной прочности кокса (M_{40} , M_{25}) с индексом CRI для двух производств НЛМК и НТМК 2. Как и следовало бы ожидать, с улучшением холодной прочности кокса показатель CRI снижается. В то же время, за исключением кокса АМК, значимой связи между истираемостью кокса и его реакционной способностью не обнаружено, хотя по существующим представлениям эта связь должна бы существовать.

Особо важно для эффективной организации доменного процесса существование прямой зависимости холодной и горячей прочности кокса, обеспечивающей нормальное протекание процессов как в «сухой», так и в «расплавной» зонах печи. Результаты анализа (рис. 3) указывают на существование значимой связи между показателями CSR и M_{40} (M_{25}). Заслуживает внимания тот факт, что CSR и показатель истираемости кокса (M_{10}) на много более тесно связаны между собой, чем M_{10} и CRI, что свидетельствует о предпочтительной оценке качества кокса индексом CSR.

Таким образом, показано, что при необходимости создания условий для вдувания пылеугольного топлива (комбинаты АМК и НТМК) или интенсификации доменной плавки за счет повышения параметров газодинамического режима и комбинированного дутья (НЛМК), достижимо одновременное улучшение характеристик холодной и горячей прочности кокса. Разумеется, что эта достижимость в результате изменений в технологии производства кокса должна быть экономически оправданной, способствуя снижению себестоимости чугуна или, более точно, себестоимости продукции предприятия.

Что касается опыта работы Криворожского комбината на коксе с пониженными значениями CSR и повышенными CRI, то нельзя не согласиться с авторами обобщения опыта [6] утверждающими, что повышение реакционной способности кокса обеспечивает снижение удельного расхода кокса, если при этом удастся избежать расстройств хода печи и загромождения горна. Данные, приведенные в указанной работе, убедительно подтверждают это суждение – работа ДП № 9 на коксе с пониженным индексом CSR сопровождалась ростом простоев на 45% (отн.), ДП № 8 – на 18% (отн.), а простои на ДП № 5 возросли в 13 раз.

С суждением [5] о том, что величина CSR предопределяет размер кусков кокса и газопроницаемость столба шихты в «сухой» части шахты можно согласиться в том случае, если величины характеристик горячей (CSR) и холодной прочности изменяются однозначно. При таком условии, непосредственное влияние кокса на газодинамику через его гранулометрический состав будет максимальным.

Выводы

Показано, что по величине резерва улучшения показателей доменной плавки, кокс существенно превосходит лучшее железорудное сырье – агglomerат. Резерв снижения расхода кокса, в результате улучшения качества агglomerата в 2,5 раза, меньше по сравнению с резервом снижения удельного расхода кокса от улучшения его качественных характеристик (10% против 24,8%). В меньшую сторону так же отличается резерв повышения производительности доменных печей от улучшения качества агglomerата –

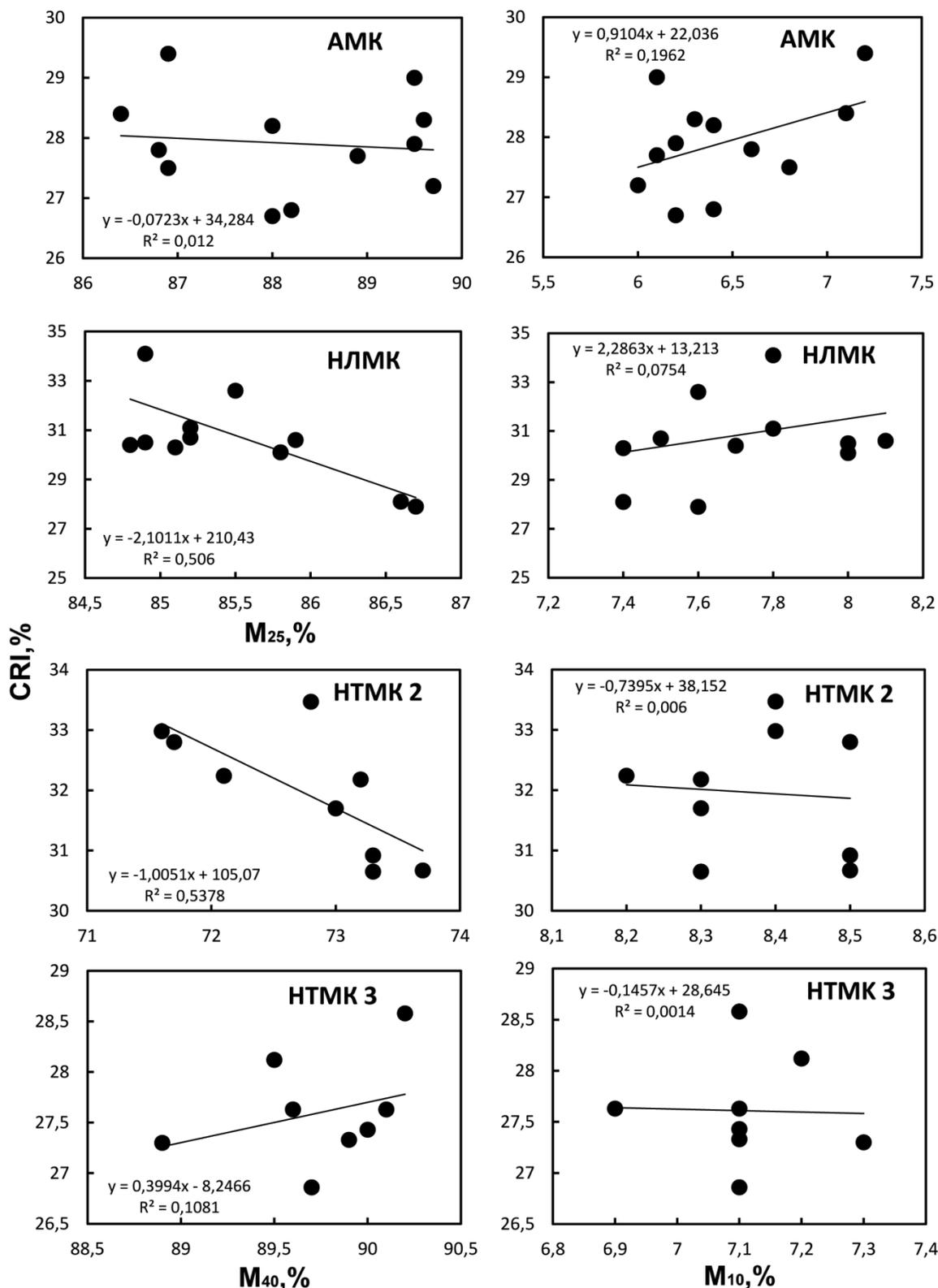


Рис. 2. Взаимосвязь реакционной способности (CRI) с показателями холодной прочности кокса (M_{40} , M_{25} , M_{10}) по данным трех металлургических комбинатов (МК): АМК-Алчевский МК; НЛМК-Новолипецкий МК; НТМК 2, НТМК 3 – цехи №2 и №3 Нижнетагильского МК

15% против 24,5% от улучшения качества кокса. Следовательно, производству, подготовке и контролю качества кокса следует уделять первоочередное внимание.

Особо важно для эффективной организации доменного процесса применять кокс с однозначно из-

меняемыми характеристиками холодной и горячей прочности. Приведенные данные и мировая практика коксового производства свидетельствует о возможности и целесообразности получения такого кокса.

Показано, что истираемость кокса M_{10} и показатель горячей его прочности CSR на много более

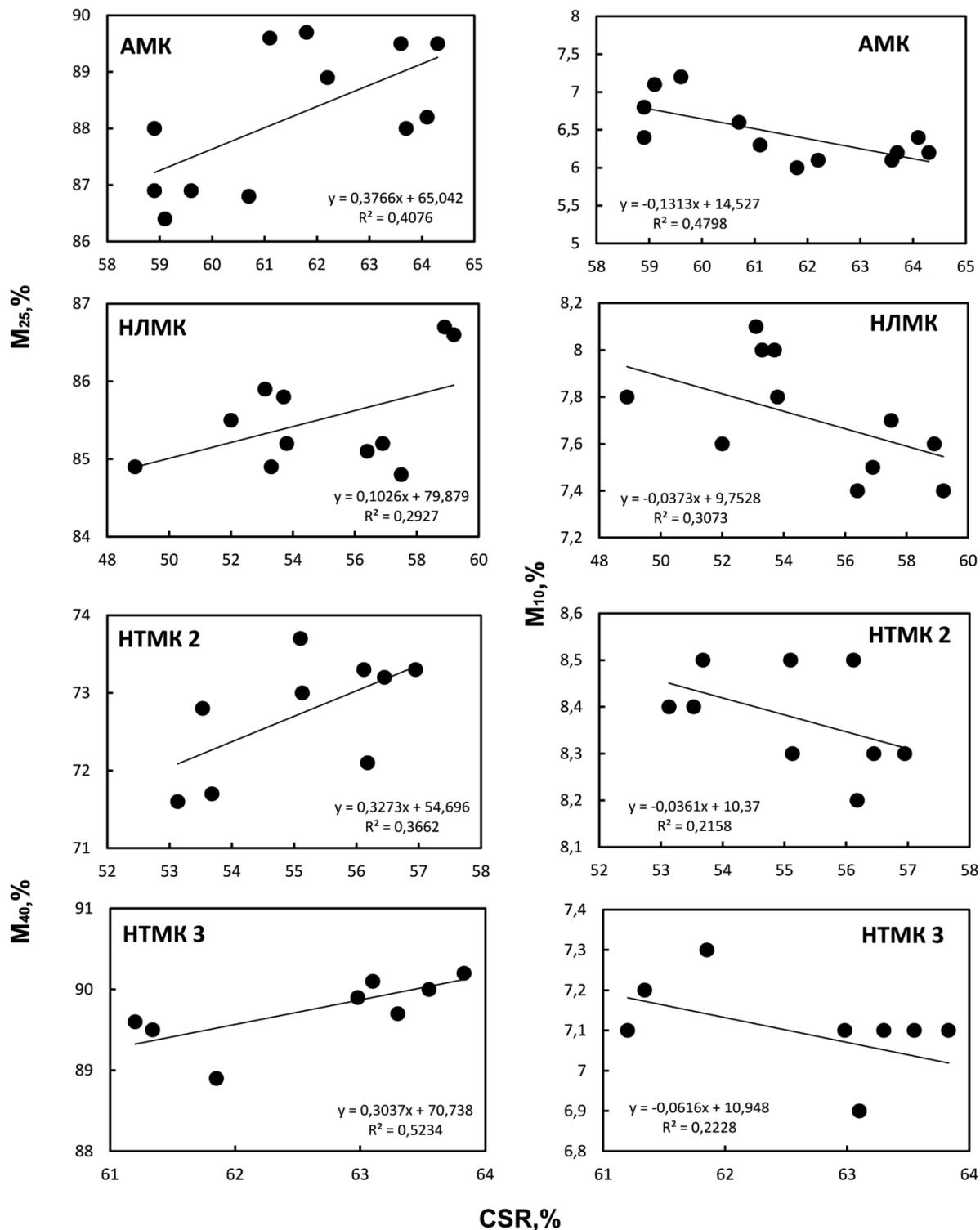
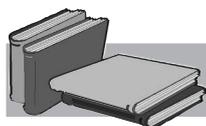


Рис. 3. Данные о зависимости между показателями горячей и холодной прочности кокса. Обозначения те же, что и на рис. 2

тесно связаны между собой, чем M₁₀ и показатель реакционной способности CRI, что убедительно сви-

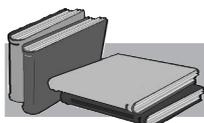
детельствует о предпочтительной оценке качества кокса индексом CSR.



ЛИТЕРАТУРА

1. Ярошевский С. Л., Минаев А. А., Кузин А. В., Мишин И. В., Кузнецов А. М. Ресурсы и эффективность полной и комплексной компенсации при использовании пылеугольного топлива (ПУТ) в доменной плавке // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2013. – № 3. – С. 41–47.

2. Ярошевский С. Л. Резервы эффективности комбинированного дутья в доменных цехах Украины / в сб. Познание процессов доменной плавки: Коллективный труд / Под редакцией Большакова В. И. и Товаровского И. Г. – Днепр: Пороги. – 2006. – С. 366-387.
3. Мищенко И. М., Хлапонин Н. С., Шаповалова Н. Г. Направление развития агломерационного производства Украины // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 12-16.
4. Логинов В. Н., Афанасьев А. С., Коновалова Ю. В., Третьяк А. А., Изюмский Н. Н. Влияние качества кокса на технологические показатели доменной плавки // Бюллетень «Черная металлургия». – 2003. – № 5. – С. 39-44.
5. Филатов С. В., Курунов И. Ф., Титов В. Н., Логинов А. М. Анализ влияния горячей прочности кокса (CSR) на показатели работы доменных печей // Сталь. – 2014. – № 10. – С. 10-14.
6. Лялюк В. П., Шеремет В. А., Тараканов А. К., Листопадов В. С., Колесник А. А., Дмитренко К. А., Кассим Д. А. Влияние высокорекреакционного кокса на работу доменных печей // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 2. – С. 22-25.
7. Лялюк В. П., Кассим Д. А., Тараканов А. К., Оторвин П. И. Влияние послереакционной прочности кокса на его удельный расход в доменной плавке // Metallургическая и горнорудная промышленность. – 2013. – № 3. – С. 37-40.
8. Волков Ю. П., Шпарбер Л. Я., Гусаров А. К. Технолог – доменщик. – М.: Металлургия, 1986. – 263 с.
9. Загайнов С. А., Тлеугабулов Б. С., Михалев В. А., Кушнарев А. В., Фомичев М. С., Филиппов В. В., Миронов К. В., Баранов Е. Н. Пылеугольное топливо может успешно применяться в доменной плавке титаномагнетитов // Бюллетень «Черная металлургия». – 2014. – № 3. – С. 42-46.



REFERENCES

1. Yaroshevskii S. L., Minaev A. A., Kuzin A. V., Mishin I. V., Kuznetsov A. M. (2013). Resursy i effektivnost' polnoi i kompleksnoi kompensatsii pri ispol'zovanii pyleugol'nogo topliva (PUT) v domennoi plavke. [Resources and efficiency of the complete and integrated compensation for the use of pulverized coal injection (PCI) in blast furnaces]. Metallurgicheskaiia i gornorudnaia promyshlennost', no. 3, pp. 41-47. [in Russian].
2. Yaroshevskii S. L. (2006). Rezervy effektivnosti kombinirovannogo duti'a v domennykh tsekhakh Ukrainy. [Efficiency reserves of combined blowing in the blast furnaces of Ukraine]. V sb. Poznanie protsessov domennoi plavki. Pod. red. Bolshakova V. I., Tovarovskogo I. G. Dnepropetrovsk: Porogi, pp. 336-387. [in Russian].
3. Mishchenko I. M., Khlaponin N. S., Shapovalova N. G. (2006). Napravlenie razvitiia aglomeracionnogo proizvodstva Ukrainy. [Sinter production development in Ukraine]. Metallurgicheskaiia i gornorudnaia promyshlennost', no. 2, pp. 12-16. [in Russian].
4. Loginov V. N., Afanas'ev A. S., Konovalova Ju. V., Tretiak A. A., Iziumskii N. N. (2003). Vliianie kachestva koksa na tehnologicheskie pokazateli domennoi plavki. [Influence of coke quality on the technological parameters of blast furnace smelting]. Chernaia metallurgiiia, no. 5, pp. 39-44. [in Russian].
5. Filatov S. V., Kurunov I. F., Titov V. N., Loginov A. M. (2014). Analiz vliianiia goriachei prochnosti koksa (CSR) na pokazateli raboty domennykh pechei. [Analysis of the impact of hot coke strength (CSR) on the performance of the blast furnace]. Stal', no. 10, pp. 10-14. [in Russian].
6. Lialuk V. P., Sheremet V. A., Tarakanov A. K., Listopadov V. S., Kolesnik A. A., Dmitrienko K. A., Kassim D. A. (2011). Vliianie vysokoreaktsionnogo koksa na rabotu domennykh pechei. [The effect of highly reactive coke on operation of blast furnaces]. Metallurgicheskaiia i gornorudnaia promyshlennost', no. 2, pp. 22-25. [in Russian].
7. Lialuk V. P., Kassim D. A., Tarakanov A. K., Otorvin P. I. (2013). Vliianie poslereaktsionnoi prochnosti koksa na ego udel'nyi raskhod v domennoi plavke. [The effect of a post-reactive of coke stability on its specific mass in blast furnace process]. Metallurgicheskaiia i gornorudnaia promyshlennost', no. 3, pp. 37-40. [in Russian].
8. Volkov Yu. P., Shparber L. Ya., Gusarov A. K. (1986). Tekhnolog – domenshchik. [Technologist – blast-furnace operator]. Metallurgiiia, 263 p. [in Russian].
9. Zagainov S. A., Tleugabulov B. S., Mikhalev V. A., Kushnarev A. V., Fomichev M. S., Fillipov V. V., Mironov K. V., Baranov E. N. (2014). Pyleugol'noe toplivo mozhet uspeshno primeniat'sia v domennoi plavke titanomagnetitov. [Pulverized coal can be successfully used in blast furnaces during titanomagnetites' melting]. Chernaia metallurgiiia, no. 3, pp. 42-46. [in Russian].

Анотація

Крячко Г. Ю., Кузнецов М. С., Лебідь Ю. К.

Значення і характеристики якості коксу в сучасній доменній плавці

Використовуючи нормативну документацію, здійснено порівняння резервів поліпшення показників доменної плавки від підвищення якості залізрудних матеріалів і коксу. Відзначено значну перевагу коксу як матеріального фактора впливу на ефективність і результативність доменного процесу. На основі аналізу виробничих даних показано досяжність однозначної зміни характеристик холодної і гарячої міцності коксу, а також вивчено взаємозв'язок цих характеристик.

Ключові слова

Доменна плавка, резерви, порівняння, якість, ефективність, залізрудні матеріали, кокс.

Summary

Kriachko G., Kuznetsov M., Lebed' Yu.

The role and characteristics of coke quality in modern blast furnace melting process

On the basis of standard documentation a comparison of reserves to improve blast furnace performance by increasing the quality of iron ore materials and coke is made. Coke noted to be the overwhelming advantage as a material factor to impact on the efficiency and effectiveness of the blast furnace process. Having analyzed the production data we can state a clear change in the attainability of the characteristics of cold and hot strength of coke as well as the relationship between these characteristics.

Keywords

Blast-furnace smelting, reserves, comparison, quality, efficiency, iron materials, coke.

Поступила 25.01.17