

ISSN 0132-0890

www.rudmet.ru

ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Издается с 1961 года
(№ 1093)

01.2023

ИНЖИНИРИНГОВЫЙ ЦЕНТР КФУ

*Тема номера:
40 лет кафедре «Машиностроение»
Набережночелнинского института
Казанского федерального университета (стр. 15-37).*

ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Издательский дом
«Руда и Металлы»

№ 1 (1093), январь 2023 г.

Издается с 1961 г.

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения

Учредители:

Акционерное общество
«Издательский дом
«Руда и Металлы»

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Национальный исследовательский
технологический университет «МИСиС»

Федеральное бюджетное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Магнитогорский государственный технический
университет им. Г. И. Носова»

При участии:

ПАО «ММК»
ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия»
имени С. П. Королева»
ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК»
ФГБУК «Государственный Эрмитаж»

Официальный информационный орган
Федерального УМО
«Технологии материалов»

Редакционный совет:

Главный редактор: В. М. Колокольцев
Первый зам. главного редактора: К. Л. Косырев
Зам. главного редактора: Е. В. Цирульников, А. Г. Воробьев
А. М. Беленький, В. Блек (Германия), Ю. Л. Бобарикин (Беларусь), О. И. Борискин, И. В. Буторина,
Р. М. Валеев, Е. П. Волынкина, А. В. Выдрин, С. П. Галкин, Е. А. Голи-Оглу (Дания), Я. М. Гордон (Канада),
Д. Г. Еланский, Н. А. Зюбан, И. Е. Илларионов, Л. М. Капуткина, А. А. Казаков, А. П. Коликов,
А. Г. Корчунов, А. В. Кушнарев, И. О. Леушин, И. П. Мазур, Т. Н. Матвеева, А. Е. Пелевин,
Ю. Ю. Пиотровский, И. М. Потравный, А. Н. Савенок (Беларусь), А. В. Серебряков, Е. Ю. Сидорова,
И. А. Султангузин, С. С. Ткаченко, А. Я. Травянов, Н. А. Чиченев, М. В. Чукин, П. Шеллер (Германия),
Е. А. Яценко

Редакция:

Зам. главного редактора: Е. В. Цирульников
Ответственный секретарь: Е. Ю. Рахманова

Издатель — АО «Издательский дом «Руда и Металлы»
Адрес издателя: 119049, Москва, Ленинский просп., 6,
стр. 2, МИСиС, оф. 622

Адрес редакции:

• фактический: 119049, Москва, Ленинский проспект 6,
стр. 2, МИСиС, оф. 617
• почтовый: 119049, Москва, а/я № 71
Телефон/факс: (495) 955-01-75
Эл. почта: chermet@rudmet.ru, tsirulnikov@rudmet.ru

www.rudmet.ru

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения
«Черные металлы» № 1 (1093), январь 2023 г.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций
(Свидетельство ПИ № ФЦ77-48681 от 28.02.2012 г.)

Товарный знак и название «Черные металлы» являются исключительной
собственностью Издательского дома «Руда и Металлы»
Отпечатано с предоставленных готовых файлов
в типографии «Канцлер»
150044, Россия, Ярославль, ул. Полушкина Роща, 16. стр. 66А.
Тел. (4852) 58-76-33

Дата выхода в свет: 10.02.2023. Формат 60x90/8.
Печ. л. 11. Офсетная печать. Бумага офсетная.
Тираж 800 экз. Цена свободная

За достоверность рекламной информации ответственность несет рекламодатель
За достоверность научно-технической информации ответственность несет автор
Перепечатка материалов возможна только с письменного разрешения редакции
При перепечатке ссылка на «Черные металлы» обязательна
«Реклама» — материал публикуется на правах рекламы
Публикуемые материалы не обязательно отражают точку зрения редакции
и редсовета журнала

Подписной индекс:
12985 («Пресса России»)

ISSN 0132-0890



9 770132 089006 >

СОДЕРЖАНИЕ

Производство чугуна

- Д. Р. Ганин, А. Ю. Фукс.* Взаимосвязь газодутьевых параметров доменных печей и основных качественных показателей кокса в условиях АО «Уральская сталь» 4

Прокатка и металловедение

- И. С. Васильев, П. Ю. Жихарев, А. В. Пересторонин, В. В. Мухин.* Разработка технологии производства новых материалов на традиционных широкополосных станах горячей прокатки с применением современных методов численного и физического моделирования. Часть 2 8

40 лет кафедре «Машиностроение» Набережночелнинского института

Казанского федерального университета

- В. Г. Шibaков.* Кафедре «Машиностроение» Набережночелнинского института Казанского (Приволжского) федерального университета — 40 лет 15
- В. Г. Шibaков, Д. Л. Панкратов, А. М. Валиев, Р. В. Шibaков.* Штампуемость заготовок из горячекатаного толстолистового проката из микролегированной стали с высоким пределом текучести 19
- В. И. Астащенко, Г. Ф. Мухаметзянова, В. Е. Орлянский, И. Ж. Харисов.* Упрочнение длинномерных стальных изделий методом дробеструйной обработки 26
- Н. Н. Сафронов, Л. Р. Харисов, Д. Р. Афлятонов.* Технология и аппаратурное оформление переплава чугуновой стружки электрошлаковым процессом 32

Прокатка и другие процессы ОМД

- А. В. Цуканов, К. В. Лицин.* Разработка автоматизированной системы машины пакетной резки прокатного производства 38
- А. Р. Фастыковский, А. И. Мусатова, С. М. Кулаков, Н. В. Мартюшев, А. И. Карлина.* Разработка ситуационных моделей длительности производственных циклов изготовления партий готового проката. Сообщение 1 44

Порошковая металлургия

- С. И. Богодухов, Е. С. Козик, В. С. Гарипов.* Планирование экспериментов термической обработки изделий из порошковых сталей в электролитах. 52

Физика металлов

- С. А. Зайдес, Хо Минь Куан.* Оптимизация режимов маятникового поверхностного пластического деформирования для интенсификации напряженно-деформированного состояния деталей из углеродистой стали. 58

Машиностроительные технологии

- В. В. Максаров, М. А. Попов, В. П. Захарова.* Влияние параметров магнитно-абразивной обработки на керамический режущий инструмент для технологического обеспечения качества прецизионных изделий из хладостойких сталей. 67
- А. Н. Малышев, В. Д. Кухарь, А. В. Черняев, В. А. Коротков.* Испытание на растяжение образца из разнотолщинного листового материала 74

Экономика и финансы

- В. С. Васильцов, М. С. Ныш, А. В. Соловьева.* Управление развитием металлургической компании на основе алгоритма предынвестиционного анализа 80

Хроника

- Владимир Яковлевич Осадчий** 51

Журнал «Черные металлы» по решению ВАК Министерства образования и науки РФ включен в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук» по металлургии

Журнал «Черные металлы» включен в Международную базу данных Chemical Abstracts Service

Журнал «Черные металлы» включен в Международную базу данных Scopus, II квартал (2021)

(по версии SCIMAGO)

Взаимосвязь газодутьевых параметров доменных печей и основных качественных показателей кокса в условиях АО «Уральская Сталь»

Д. Р. Ганин, доцент кафедры металлургических технологий и оборудования¹, канд. техн. наук, эл. почта: dmrgan@mail.ru

А. Ю. Фукс, главный специалист по аглодоменному производству технической дирекции²

¹Новотроицкий филиал ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский технологический университет «МИСиС», Новотроицк, Россия.

²АО «Уральская Сталь», Новотроицк, Россия.

Исследована взаимосвязь между газодутьевыми параметрами доменной печи (ДП) и качественными показателями кокса CRI (реакционная способность, Coke Reactivity Index) и CSR (прочность, Coke Strength after Reaction), разработаны рекомендации по повышению CSR и уменьшению CRI с целью увеличения производительности ДП и снижения удельного расхода кокса. Объект исследования — ДП № 1 АО «Уральская Сталь» полезным объемом 1007 м³, работавшая в период исследования со стабильно высокими технико-экономическими показателями. Представлены результаты анализа данных о влиянии на газодутьевые параметры (расход и давление дутья) ДП № 1 значений показателей реакционной способности кокса CRI и горячей прочности кокса CSR за трехлетний период. Исследованиями установлено, что значения показателей CRI и CSR кокса, используемого на предприятии, не соответствуют рекомендуемым.

Ключевые слова: доменная печь, качество кокса, горячая прочность кокса, реакционная способность кокса, газодутьевые параметры, расход дутья, давление дутья.

DOI: 10.17580/chm.2023.01.01

Введение

Производительность доменной печи (ДП) определяется количеством кислорода (воздуха), подаваемого в единицу времени на сжигание углерода кокса у фурм, и удельным расходом кокса [1, 2]. От качества кокса, который является основной статьей затрат в себестоимости чугуна и влияет на производительность ДП в большей степени, чем остальные показатели, зависят результаты работы печей [3]. Качество кокса определяется совокупностью показателей, зависящих от качества исходного сырья и условий его переработки [4]. Для объективной оценки качества кокса применяют взаимосвязанные показатели горячей прочности кокса CSR (выход фракции >9,5 мм после барабанных испытаний, %, Coke Strength after Reaction) и его реакционной способности CRI (потеря массы кокса, %, в результате реакции газификации ($\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$) Coke Reactivity Index) [5–11].

Целью исследования являлись определение зависимости между газодутьевыми параметрами ДП и качественными показателями кокса CSR, CRI и разработка рекомендаций по использованию мероприятий для повышения CSR и снижения CRI с целью увеличения производительности ДП и уменьшения удельного расхода кокса.

Материал и методика исследования

В состав доменного цеха АО «Уральская Сталь» входят четыре ДП № 1–4 полезным объемом 1007, 1232, 1648, 2015 м³ соответственно.

В качестве объекта исследования для оценки взаимосвязи между газодутьевыми параметрами и показателями CSR и CRI была выбрана ДП № 1 полезным объемом 1007 м³, работавшая в период исследования со стабильно высокими технико-экономическими показателями. Основные параметры работы ДП № 1 приведены ниже [12].

Параметр	Значение
Производство чугуна, т/сут	1538–2050
Расход дутья, м ³ /мин	1730–2102
Давление дутья, МПа	0,259–0,301
Температура дутья, °С	980–1020
Давление газов под колошником, МПа	0,186–0,216
Число работающих фурм	16
Диаметр воздушных фурм, мм	150

Каменноугольный кокс сухого и мокрого тушения, используемый в доменном производстве предприятия, производится из низкосернистых углей (0,3–1,0 % S) Кузнецкого, Печорского и Южно-Якутского бассейнов [12].

Качественные показатели кокса за трехлетний период [12, 13] приведены ниже.

Параметр	Значение
Содержание в коксе, %:	
зола А	11,1–12,2
летучие вещества V	1,1–1,2
сера S	0,29–0,56
влаги W	2,5–5,2
Коэффициент однородности кокса K	1,34–3,74
Холодная прочность кокса, %:	
M ₂₅	80,7–85,7
M ₁₀	8,6–11,7
Реакционная способность кокса после его высокотемпературного взаимодействия с CO ₂ CRI, %	30,5–39,7
Горячая прочность кокса CSR, %	42,6–53,9

Главным отрицательным фактором, нарушающим тепловую работу ДП, являются значительные колебания содержания влаги в коксе, которые находятся в пределах 2,5–5,2 %.

На производстве АО «Уральская Сталь» в ДП № 1 снижение влажности кокса на 1,0 % приводит к уменьшению его удельного расхода на 14,717 кг/т чугуна (рис. 1) и к увеличению производительности ДП № 1 на 105,79 т/сут чугуна (рис. 2).

Значения коэффициента однородности кокса находятся в пределах K = 1,34–3,74, что свидетельствует о том, что гранулометрический состав используемого на предприятии кокса весьма различен, а увеличение его однородности снижает удельный расход кокса и увеличивает производительность ДП [14].

Качество кокса, используемого в доменном производстве АО «Уральская Сталь», соответствует рекомендуемым в научной литературе требованиям по содержанию золы А, летучих веществ V и значениям показателя M₂₅.

Наблюдается значительная нестабильность содержания влаги в коксе W и неоднородность его гранулометрического состава, при этом качество кокса не соответствует рекомендуемым в научной литературе требованиям по значениям показателей истираемости кокса M₁₀ (кокс высокого качества для печей объемом 1000 м³ должен удовлетворять требованиям M₁₀ ≤ 8 %).

Показатели CSR и CRI не соответствуют рекомендуемым значениям, которые для печей объемом 1000 м³ должны отвечать условиям: CSR ≥ 58 % и CRI ≤ 28 % [15, 16].

На рис. 3 представлена взаимосвязь между расходом дутья в ДП № 1 и показателем реакционной способности, из которой видно, что с уменьшением значений показателя CRI в интервале 30,5–39,7 % на 1 % значения расхода дутья увеличиваются на 21,701 м³/мин.

Низкая реакционная способность определяет уменьшение степени развития реакций прямого восстановления железа, что снижает расход углерода кокса как теплоносителя

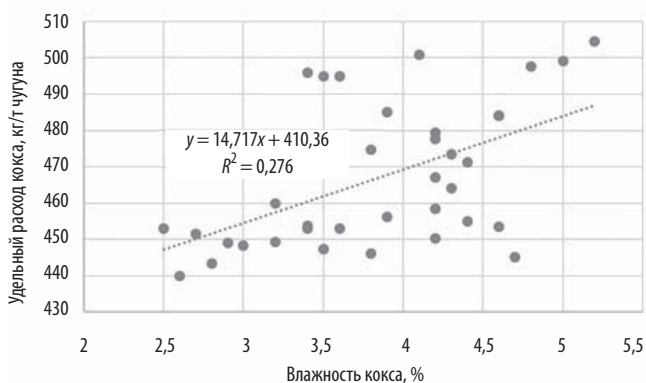


Рис. 1. Влияние влажности кокса на его удельный расход в ДП № 1

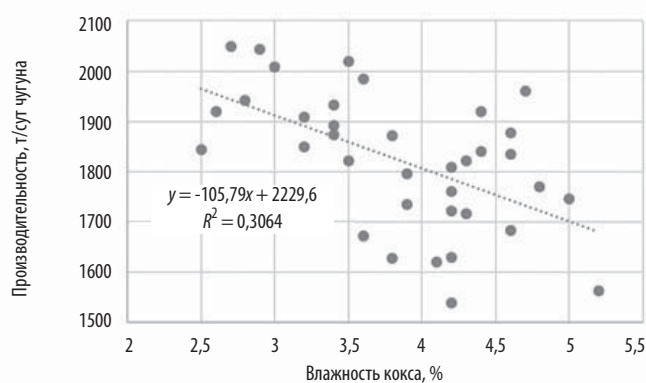


Рис. 2. Влияние влажности кокса на производительность ДП № 1

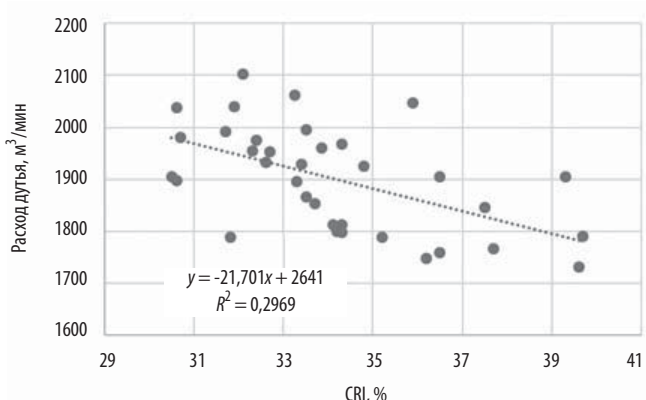


Рис. 3. Зависимость расхода дутья в ДП № 1 от показателя CRI

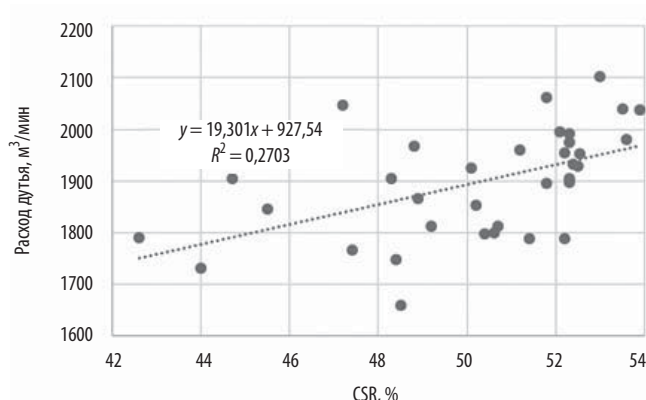


Рис. 4. Зависимость расхода дутья в ДП № 1 от показателя CSR

и восстановителя. Уменьшение значений показателя CRI позволяет повысить эффективность доменной плавки. Значения показателя CRI зависят от доли щелочных оксидов золы кокса: чем она ниже, тем меньше величина CRI.

На **рис. 4** показана взаимосвязь между расходом дутья в ДП № 1 и показателем CSR, свидетельствующая об увеличении расхода дутья в ДП № 1 на 19,301 м³/мин при росте значений показателя CSR в интервале 42,6–53,9 % на 1 %.

С ростом значений показателя CSR (зависящего от содержания золы кокса и ее химического состава) снижается разрушение кокса в доменной печи, улучшается проницаемость для газов и жидкостей в зоне плавления печи, повышается производительность печи, сокращаются выбросы вредных веществ в атмосферу. Горячая прочность кокса тем больше, чем больше показатель отражения витринита (при этом величина 1,3–1,4 считается оптимальной). Увеличить значения показателя CSR можно правильным выбором состава угольной шихты и условий коксования, так как значения CSR зависят от категории углей и свойств минеральных составляющих угольной шихты (необходимо сокращать долю более дешевых газовых и слабоспекающихся углей в шихте для коксования).

На **рис. 5** представлена взаимосвязь между давлением дутья в ДП № 1 и показателем CRI, из которой видно, что с уменьшением значений CRI в интервале 30,5–39,7 % на 1 % давление дутья увеличивается на 1,2233 кПа

На **рис. 6** показана взаимосвязь между давлением дутья в ДП № 1 и показателем CSR, свидетельствующая об увеличении давления дутья в печи на 1,0235 кПа при росте значений показателя CSR в интервале 42,6–53,9 % на 1 %.

Для улучшения показателей кокса CSR (повышения) и CRI (снижения) в условиях АО «Уральская Сталь» рекомендуется использовать следующие мероприятия.

1. Уменьшение числа марок и шахтогрупп угольных концентратов, используемых для составления шихт, при обеспечении требуемых свойств шихты по зольности, сернистости, степени метаморфизма.

2. Улучшение подготовки угольной шихты для коксования:

- увеличение в угольной шихте доли фракции <3 мм до 80 % в результате предварительного выделения данной фракции из материала питания на валково-дисковом грохоте CRS (Китай) и смешивание углей правильной крупности, что решает проблему неравномерного утолщения кокса и улучшает его

качество (при модернизации участка дробления доля фракции <3 мм в угольной шихте увеличится с 75,4 до 77,4 %, снижение CRI составит 0,5 %, что приведет к снижению удельного расхода кокса на 1,2 кг/т чугуна (экономический эффект составит 39,4 млн руб/год) и увеличению производства чугуна на 8849 т/год (экономический эффект составит 34,9 млн руб/год));

- уплотнение угольной шихты трамбовкой;
- термическая подготовка угольной шихты для повышения ее спекаемости путем нагрева шихты перед коксованием до 130–140 °С газовым теплоносителем в трубе-сушилке (производительность коксовой батареи повысится до 40 %, расход тепла на коксование снизится на 10–12 %, а в состав шихты может быть включено до 20–25 % слабоспекающихся углей).

3. Подбор условий и параметров коксования (температуры, давления, периода коксования, скорости нагрева), на которые влияют гранулометрический состав углей, плотность и способ загрузки, температура простенков; при этом скорость нагрева угольной шихты должна быть небольшой, чтобы образующаяся пластическая масса успела пропитать спекаемый слой; период коксования необходимо увеличить.

4. Замена мокрого тушения кокса сухим (при этом повышение значений показателя M₂₅ составит 0,25 %, что приведет к снижению удельного расхода кокса на 3,3 кг/т чугуна (экономический эффект составит 108,5 млн руб/год) и увеличению производства чугуна на 36110 т/год (экономический эффект составит 140,5 млн руб/год)).

В качестве еще одного возможного мероприятия, направленного на снижение показателя CRI и повышение показателя CSR, в условиях предприятия рекомендуется использовать обработку готового кокса при помощи химических веществ (водного раствора пентабората натрия, калия или кальция и др.), предварительно проведя лабораторные испытания.

Реализация снижения значений показателя CRI и повышения значений показателя CSR кокса позволит увеличить производительность доменных печей и уменьшить удельный расход кокса.

Выводы

1. В условиях производства АО «Уральская Сталь» установлена связь между газодутьевыми параметрами ДП (расход и давление дутья) и качественными показателями кокса (CSR, CRI).

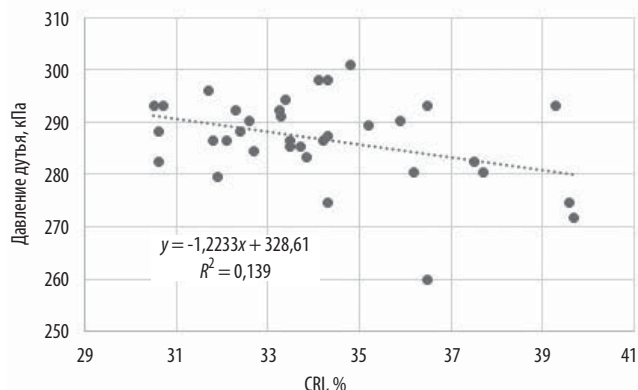


Рис. 5. Зависимость давления дутья в ДП № 1 от показателя CRI

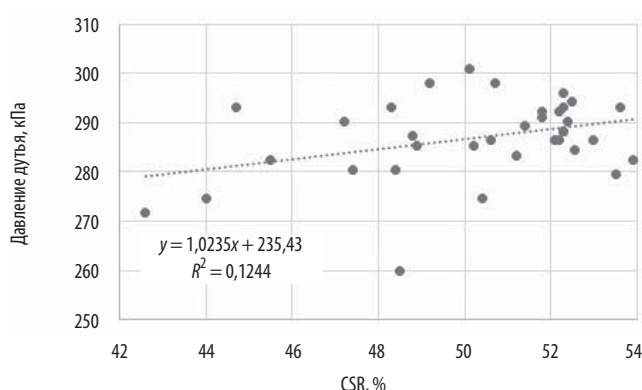


Рис. 6. Зависимость давления дутья в ДП № 1 от показателя CSR

2. Значения показателей горячей прочности кокса CRI на предприятии составляют 30,5–39,7 % и не соответствуют рекомендуемым. С уменьшением реакционной способности кокса CRI повышается его горячая прочность CSR. Снизить значения показателя CRI можно уменьшив долю щелочных оксидов в золе кокса.

3. Значения показателей горячей прочности кокса CSR в условиях предприятия составляют 42,6–53,9 % и не соответствуют требуемым. С увеличением значений CSR уменьшается разрушение кокса в доменной печи, улучшается проницаемость для газов и жидкостей в зоне плавления печи, повышается производительность печи, сокращаются выбросы вредных веществ в атмосферу. Увеличить значения показателя CSR можно правильным подбором состава угольной шихты по ее основным показателям, подготовкой угольной шихты для коксования (увеличение в шихте доли фракции <3 мм до 80 %; термическая подготовка шихты; уплотнение угольной шихты трамбовкой), подбором условий и параметров коксования, заменой мокрого тушения кокса сухим тушением.

4. Реализация снижения значений показателя CRI и повышения значений показателя CSR кокса позволит увеличить производительность доменных печей и уменьшить удельный расход кокса. ЧМ

Библиографический список

1. Дмитриев А. Н., Шумаков Н. С., Леонтьев Л. И., Онорин О. П. Основы теории и технологии доменной плавки. — Екатеринбург: УрО РАН, 2005. — 545 с.
2. Дружков В. Г., Коноплев А. Д., Прохоров И. Е., Макарова И. В. Проектирование доменного цеха. — Магнитогорск: Изд-во МГТУ им. Г. И. Носова, 2020. — 323 с.
3. Гилева Л. Ю., Каплун Л. И., Загайнов С. А. Металлургия чугуна. — Екатеринбург: Изд-во Уральского университета, 2021. — 128 с.

"Chernye metalli", 2023, No. 1, pp. 4–7
DOI: 10.17580/chm.2023.01.01

Interrelation of gas blowing parameters of blast furnaces and the main quality indicators of coke in the conditions of JSC "Ural Steel"

Information about authors

D. R. Ganin, Cand. Eng., Associate Prof., Dept. of Metallurgical Technologies and Equipment¹, e-mail: dmrgan@mail.ru;

A. Yu. Fuks, Chief Specialist for Sintering and Blast Furnace Production, Technical Directorate²

¹ Novotroitsk branch of the National University of Science and Technology "MISIS", Novotroitsk, Russia

² Ural Steel, Novotroitsk, Russia

Abstract: The aim of the study was to establish the relationship between the gas blowing parameters of a blast furnace (BF) and the quality indicators of coke CRI, CSR and to develop recommendations on the use of measures to increase CSR and reduce CRI in order to increase BF productivity and reduce coke specific consumption. For an objective study, BF No. 1 was chosen with a useful volume of 1007 m³, which worked during the study period with consistently high technical and economic indicators. The results of the analysis of data on the effect on the gas-blast parameters (flow rate and blast pressure) of blast furnace No. 1 of the values of coke reactivity CRI and coke hot strength CSR over a three-year period are presented. Research has revealed that the CRI and CSR values of the coke used at the enterprise do not correspond to the recommended values. A relationship has been established between the gas blowing parameters of a blast furnace and the indices of coke reactivity CRI and hot strength of coke CSR. Measures are proposed to improve coke CRI (decrease) and CSR (increase) in the conditions of Ural Steel JSC, the implementation of which will increase the productivity of blast furnaces and reduce the specific consumption of coke.

Key words: blast furnace, coke quality, coke hot strength, coke reactivity, gas-blast parameters, blast consumption, blast pressure.

References

1. Dmitriev A. N., Shumakov N. S., Leontyev L. I., Onorin O. P. Fundamentals of the theory and technology of blast-furnace smelting. Yekaterinburg: UrO RAN, 2005. 545 p.
2. Druzhkov V. G., Konoplev A. D., Prokhorov I. E., Makarova I. V. Blast-furnace shop design. Magnitogorsk: Izdatelstvo MGTU imeni G. I. Nosova, 2020. 323 p.

4. Cheng Y., Zhang Q., Fang Cha., Ouyang Y., Liu D. Co-carbonization behaviors of petroleum pitch/waste SBS: influence on morphology and structure of resultant cokes // J. Anal Appl Pyrol. 2018. Vol. 129. P. 154–164.
5. Zhang W., Shi T., Zhang Q., Cao Y. et al. Coke texture, reactivity and tumbler strength after reaction under simulated blast furnace conditions // Fuel. 2019. Vol. 251. P. 218–223.
6. Ghosh B., Sahoo B. K., Chakraborty B., Manjhi K. K., Das S. K., Sahu I. N., Varma Atul K. Influence of coke structure on coke quality using image analysis method // International Journal of Coal Science & Technology. 2018. Vol. 5. P. 473–485. DOI: 10.1080/197392699.2017.1340883.
7. Sarenčičova J., Klika Z., Kolomaznik I., Bartoňnová L., Baran P. Relationships among coking and related cokes characteristics: a statistical evaluation // Acta Geodyn. Geomater. 2018. Vol. 15. No. 3 (191). P. 311–322. DOI: 10.13168/AGG.2018.0023.
8. Kardas E., Pustějovska P. Quality of coke used in blast furnace process – analysis of selected parameters // QPI. 2019. Vol. 1, Iss. 1. P. 602–609.
9. Степанов Е. Н., Мезин Д. А., Шашков О. А., Мельников И. И., Рослый А. Ю., Чуйкина О. В. Оценка факторов, влияющих на формирование показателей качества кокса CSR и CRI // Сталь. 2009. № 10. С. 9–11.
10. Лялюк В. П. Технология подготовки шихты при производстве качественного кокса для доменной плавки. — Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. — 212 с.
11. Лялюк В. П., Мучник Д. А., Кассим Д. А., Шмельцер Е. О. Качество кокса и перспективы доменной плавки. — Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2020. — 229 с.
12. Ганин Д. Р., Фуks А. Ю. Анализ влияния качества кокса на производство чугуна в условиях АО «Уральская Сталь» // Черные металлы. 2021. № 2. С. 4–9. DOI: 10.17580/chm.2021.02.01.
13. Ганин Д. Р., Дружков В. Г., Панычев А. А., Фуks А. Ю. Анализ показателей и условий улучшения работы доменного цеха АО «Уральская Сталь» // Черная металлургия. Бюллетень научно-технической и экономической информации. 2018. № 12. С. 46–54. DOI: 10.32339/0135-5910-2018-12-46-54.
14. Sibagatullin S. K., Kharchenko A. S., Savchenko G. Yu., Beginyuk V. A. Blast furnace performance improved through optimum radial distribution of materials at the top while changing the charging pattern // CIS Iron and Steel Review. 2018. Vol. 16. P. 11–14. DOI: 10.17580/cisirs.2018.02.02.
15. Малыгин А. В., Мальцев В. А., Видуцкий М. Г. Рудоподготовительные процессы в плавильном производстве. — Екатеринбург: ООО АМК «День РА», 2016. — 445 с.
16. Мучник Д. А., Бабанин В. И. Возможности улучшения качества кокса вне печной камеры. — М.: Инфра-Инженерия, 2014. — 368 с.

3. Gileva L. Yu., Kaplun L. I., Zagaynov S. A. Iron metallurgy. Yekaterinburg: Izdatelstvo Uralskogo universiteta, 2021. 128 p.
4. Cheng Y., Zhang Q., Fang Cha., Ouyang Y., Liu D. Co-carbonization behaviors of petroleum pitch/waste SBS: influence on morphology and structure of resultant cokes. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2018. Vol. 129. pp. 154–164.
5. Zhang W., Shi T., Zhang Q., Cao Y. et al. Coke texture, reactivity and tumbler strength after reaction under simulated blast furnace conditions. *Fuel*. 2019. Vol. 251. pp. 218–223.
6. Ghosh B., Sahoo B. K., Chakraborty B., Manjhi K. K., Das S. K., Sahu I. N., Varma Atul K. Influence of coke structure on coke quality using image analysis method. *International Journal of Coal Science & Technology*. 2018. Vol. 5. pp. 473–485. DOI: 10.1080/197392699.2017.1340883.
7. Sarenčičova J., Klika Z., Kolomaznik I., Bartoňnová L., Baran P. Relationships among coking and related cokes characteristics: a statistical evaluation. *Acta Geodynamica et Geomaterialia*. 2018. Vol. 15. No. 3 (191). pp. 311–322. DOI: 10.13168/AGG.2018.0023.
8. Kardas E., Pustějovska P. Quality of coke used in blast furnace process – analysis of selected parameters. *QPI*. 2019. Vol. 1. Iss. 1. pp. 602–609.
9. Stepanov E. N., Mezin D. A., Shashkov O. A., Melnikov I. I., Rosly A. Yu., Chuykina O. V. Evaluation of factors influencing the formation of CSR and CRI quality indicators of coke. *Stal*. 2009. No. 10. pp. 9–11.
10. Lyalyuk V. P. Technology of charge preparation in the production of high-quality coke for blast-furnace smelting. Moscow; Vologda: Infra-Inzheneriya, 2020. 212 p.
11. Lyalyuk V. P., Muchnik D. A., Kassim D. A., Shmel'tser E. O. Coke quality and prospects for blast-furnace smelting. Moscow; Vologda: Infra-Inzheneriya, 2020. 229 p.
12. Ganin D. R., Fuks A. Yu. Analysis of the influence of coke quality on the production of pig iron in the conditions of JSC "Ural Steel". *Chernye Metalli*. 2021. No. 2. pp. 4–9. DOI: 10.17580/chm.2021.02.01.
13. Ganin D. R., Druzhkov V. G., Panychev A. A., Fuks A. Yu. Analysis of indicators and conditions for improving the work of the blast furnace shop of JSC "Ural Steel". *Chernaya metallurgiya. Byulleten naučno-tehnicheskoy i ekonomicheskoy informatsii*. 2018. No. 12. pp. 46–54. DOI: 10.32339/0135-5910-2018-12-46-54.
14. Sibagatullin S. K., Kharchenko A. S., Savchenko G. Yu., Beginyuk V. A. Blast furnace performance improved through optimum radial distribution of materials at the top while changing the charging pattern. *CIS Iron and Steel Review*. 2018. Vol. 16. pp. 11–14. DOI: 10.17580/cisirs.2018.02.02.
15. Malygin A. V., Maltsev V. A., Viduetskiy M. G. Ore preparation processes in smelting production. Yekaterinburg: ООО АМК «Ден РА», 2016. 445 p.
16. Muchnik D. A., Babanin V. I. Possibilities for improving coke quality outside the furnace chamber. Moscow: Infra-Inzheneriya, 2014. 368 p.